

春小麦新品种“吉麦2号” 最佳农艺措施的研究

乔春贵 何立宗

(吉林农业大学农学系)

摘 要

本试验采用二次回归正交旋转组合设计研究了密度, 氮肥和磷肥对吉麦2号小麦新品种产量的影响并建立了诸因素对产量的生产函数回归模式。在此基础上, 通过数学模拟的方法初步确定了吉麦2号的最优高产综合农艺措施及其丰产潜力。

“吉麦2号”春小麦新品种是1986年由吉林省品种审定委员会审定通过并确定推广的。为了充分发挥该品种在生产中的作用, 有必要对其增产潜力和丰产的最适综合栽培措施进行系统的研究。常规栽培试验包括复因子试验固然可以提供这方面的一些信息, 但只能对各种栽培措施与产量间的关系作一般性的了解, 难以确定它们之间量的关系, 不能建立模型。当然对品种的丰产潜力及最适农艺措施也不可能做出恰如其分的评价。解决这一问题的最好办法就是探索新的试验设计方法和实施方法, 那就是回归正交旋转组合设计。

回归正交旋转组合设计最初被广泛应用于工业上确定最佳综合工艺条件的研究⁽¹⁾, 它把回归与正交方法有机地结合起来, 克服了二者以及常规试验设计的不足, 可以利用很小的处理组合获得大量的信息, 对诸试验处理与依变量之间的关系可同时进行质与量的研究, 建立回归模型并进行寻优。随着这种方法的不断完善, 国内外农业科技工作者已经开始在各个领域加以应用了⁽²⁻⁵⁾。但应用这一方法定量地研究小麦品种的综合农艺措施, 目前尚未见报道。本试验拟在这方面做一尝试, 以便为吉麦2号的进一步鉴定和推广提供科学依据。

材 料 与 方 法

表1 密度(万株/公顷)与肥料(公斤/公顷)施用设计水平及编码

编码值 ($r=1.682$)	三因素设计水平		
	密度 X_1	磷酸二氢铵 X_2	硝酸铵 X_3
r	800	300.000	300.000
1	719	251.344	251.344
0	600	180.000	180.000
-1	481	108.656	108.656
$-r$	400	60.000	60.000
间距 Δi	119	71.344	71.344

以春小麦新品种“吉麦2号”为试材, 于1987年在吉林农业大学试验站进行小区试验, 研究密度, 氮肥和磷肥对产量的影响。

采用三因素二次回归正交旋转组合设计, 共设23个处理, 重复3次。6行区, 行长4.5米, 行距0.3米, 小区面积8.1平方米。除密度和施肥外, 其他田间管理措施按常规田间试验进行。在收获时, 在每小区的中间4行取不缺苗的1平方米区段测产并折算成每公顷产量, 进行统计分析。

表 2

密度与肥料三因素二次回归正交旋转组合设计试验实施方案

小区号	编 码 值			密 度 X_1		磷酸二氢铵 X_2		硝 酸 铵 X_3	
	X_1	X_2	X_3	万株/公顷	株/区	公斤/公顷	克/区	公斤/公顷	克/区
1	1	1	1	719	6267.3	251.344	203.589	251.344	203.589
2	1	1	-1	719	6267.3	251.344	203.589	108.656	88.011
3	1	-1	1	719	6267.3	108.656	88.011	251.344	203.589
4	1	-1	-1	719	6267.3	108.656	88.011	108.656	88.011
5	-1	1	1	481	3904.5	251.344	203.589	251.344	203.589
6	-1	1	-1	481	3904.5	251.344	203.589	108.656	88.011
7	-1	-1	1	481	3904.5	108.656	88.011	251.344	203.589
8	-1	-1	-1	481	3904.5	108.656	88.011	108.656	88.011
9	r	0	0	800	3482.3	180.000	145.800	180.000	145.800
10	-r	0	0	400	3241.1	180.000	145.800	180.000	145.800
11	0	r	0	600	4864.9	300.000	243.000	180.000	145.800
12	0	-r	0	600	4864.9	60.000	48.600	180.000	145.800
13	0	0	r	600	4864.9	180.000	145.800	300.000	243.000
14	0	0	-r	600	4864.9	180.000	145.800	60.000	48.6000
15	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
16	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
17	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
18	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
19	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
20	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
21	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
22	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800
23	0	0	0	600	4864.9	180.000	145.800	180.000	145.800

密度，磷肥和氮肥的施用量的设计水平及编码见表 1，各处理组合的实施方案列于表 2。数学回归模型的优化采用数学模拟法。

结果与讨论

由各处理组合 3 次重复的具体产量结果计算出 23 个试验小区的平均产量（表 3），并以此作为原始数据，进行试验结果的统计分析。

表 3 吉麦 2 号春小麦密度和肥料三因素二次回归正交设计试验结果（公斤/公顷）

小区号	1	2	3	4	5	6	7	8
产 量	3390.00	3585.00	3045.00	2175.00	3675.00	4012.50	3806.25	2943.75
小区号	9	10	11	12	13	14	15	16
产 量	3096.00	3077.25	3541.50	2700.00	3050.25	2703.75	3648.00	3444.75
小区号	17	18	19	20	21	22	23	
产 量	3660.75	3392.25	3823.00	3652.50	3442.50	3531.75	3825.00	

(一) 吉麦 2 号生产函数模型的建立

利用“三因素二次回归正交旋转组合设计电算程序”(自编)在本校Apple II 微型电子计算机上进行了数据处理。现将结构矩阵(表略)中各项的平方和d, 乘积和B, 回归偏差平方和Q以及回归系数b的计算结果列于表4。

表4 回归正交设计矩阵中各项有关统计数的估算

变异项 统计数	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²
$\frac{23}{1} = \sum X_i^2$	23.00	13.66	13.66	13.66	8.00	8.00	8.00	15.89	15.89	15.89
$B = \sum X_i X_j$	76221.75	-2210.96	4107.90	1782.81	817.50	150.00	-2265.00	-1186.27	-992.26	-2370.91
Q = b · B	—	357904.99	1235507.44	232710.83	83538.28	2812.50	641278.13	88427.99	61973.36	353822.52
b = B / d	3313.99	-161.88	300.76	130.53	102.19	18.75	-283.13	-74.61	-62.46	-149.24

据此, 可得产量Y的回归模型:

$$\hat{Y}' = 3313.99 - 161.88X_1 + 300.76X_2 + 130.53X_3 + 102.19 X_1X_2 + 18.75X_1X_3 - 283.13X_2X_3 - 74.61X_1^2 - 62.46X_2^2 - 149.24X_3^2$$

将上式中的中心化变异项还原得产量, 各自变量编码值的三元二次回归模型如下:

$$\hat{Y} = 3484.00 - 161.88X_1 + 300.76X_2 + 130.53X_3 + 102.19X_1X_2 + 18.75X_1X_3 - 283.13X_2X_3 - 74.61X_1^2 - 62.46X_2^2 - 149.24X_3^2 \dots \dots \dots (1)$$

(二) 生产函数回归模型的可靠性鉴定

利用式(1)来表示各自变量与依变量Y之间的数量关系并进行预测的可信度如何, 尚需进行统计学假设测验。

1. 回归方程的显著性测定

为了判断生产函数模型的可靠性, 对回归方程进行显著性测定, 结果见表5。

表5 生产函数模型的方差分析

变异来源	自由度	平方和	均方	F值及显著性
回归	9	3057976.03	339775.11	F ₂ = 3.40*
剩余	13	1298559.00	99889.15	
失拟	5	645329.50	129065.90	F ₁ = 1.58
误差	8	653229.50	81653.69	
总和	22	4356535.03		

注: F_{0.10}(5, 8) = 2.73 F_{0.10}(9, 13) = 2.18
 F_{0.05}(5, 8) = 3.69 F_{0.05}(9, 13) = 2.71
 F_{0.01}(5, 8) = 6.63 F_{0.01}(9, 13) = 4.19

由方差分析结果可见, 即使取10%的显著水平, 仍有F₁ = 1.58 < F_{0.10}(5, 8) = 2.73, 即失拟平方和对误差平方和的F测验不显著, 意味着失拟性变异基本上是由试验中的随机误差造成的。说明本试验基本上保证了环境条件的一致性, 排除了其他干扰因素对试验的影响, 结果较为准确。因此, 将失拟均方与误差均方合并为剩余均方, 对回归项变异进一步进行F测验, 统计量F₂ = 3.40 > F_{0.05}(9, 13) = 2.71, 也达到了显著水平(α =

0.05), 说明种植密度和化肥施用量与春小麦品种产量之间的响应关系是符合二次曲线型的, 回归方程式(1)的拟合效果较佳, 可以用来进行产量预测以及产量潜力和丰产栽培

措施的确定。

2. 回归系数的显著性测定

虽然回归方程总体上显著，但各变量对产量的作用不尽相同，须对各项的偏回归系数进行测验，才能明确其对产量形成的相对重要性。具体测验结果列于表6。

表6 生产函数模型中各回归系数的显著性测验

变异来源	自由度	偏差平方和	均方	F 值	显著性
X ₁	1	357904.99	357904.99	4.38	(*)
X ₂	1	1235507.44	1235507.44	15.13	**
X ₃	1	232710.83	232710.83	2.85	
X ₁ X ₂	1	83538.28	83538.28	1.02	
X ₁ X ₃	1	2812.50	2812.50	0.03	
X ₂ X ₃	1	641278.13	641278.13	7.85	*
X ₁ ²	1	89427.99	89427.99	1.08	
X ₂ ²	1	61973.36	61973.36	0.76	
X ₃ ²	1	353822.52	353822.52	4.33	(*)
误差	8	653229.50	81653.69		
总和	22	4356535.03			

注: F_{0.10}(1,8)=3.46 F_{0.05}(1,8)=5.32
F_{0.01}(1,8)=11.3

(*)表示在10%水平上显著; *表示在5%水平上显著; **表示在1%水平上显著。

出，产量的一小部分变异可能是由水分供应情况，土壤基础肥力状况和气候条件所决定，这方面尚需今后进一步深入研究。

(三) 模型的优化与解析

生产函数模型(1)是各自变量取无量纲的编码值的回归模型。考虑到对方程的理解和模型在生产实践中应用的方便，有必要将方程中的编码值转换为实际值，即实际密度

X₁(万株/公顷)，实际磷酸二氢铵施用量X₂(公斤/公顷)和实际硝酸铵施用量X₃(公斤/公顷)。根据编码值与实际值的数量关系⁰¹²得如下各自变量取实际值的生产函数回归模型:

$$\hat{Y} = -296.0197687 + 2.3979800X_1 + 11.4238230X_2 + 21.0723646X_3 + 0.0120366X_1X_2 + 0.0022085X_1X_3 - 0.0556251X_2X_3 - 0.0052687X_1^2 - 0.0122712X_2^2 - 0.0293204X_3^2 \dots \dots \dots (2)$$

式(2)可直接用来预测吉麦2号的产量以及进行播量和施肥量的确定。根据经验，在模型中包括不显著的各项要比剔除它们之后的回归模型精确度高。因此，建议以式(2)作为指导吉麦2号生产实践的参考或依据。在模型的具体利用方面最重要的内容就是最佳农艺措施的确定和产量潜力的研究，下面就此予以讨论。

F测验结果表明，磷酸二氢铵和硝酸二氢铵——硝酸铵交互项的回归系数均分别达极显著和显著水平；而密度与硝酸铵的二次项回归系数在10%概率水平上显著；硝酸铵的一次项回归系数在10%水平上接近显著。其余各项的回归系数不显著。这表明磷酸二氢铵即氮磷复合肥料和氮、磷肥的相互作用对产量的形成起着最为重要的作用，密度和硝酸铵也起着较为重要的作用。在所建立的生产函数回归模型中，三因素缺一不可。这表明本试验所选用的三种因素确实起着控制春小麦产量的决定性作用，研究结果具有实用价值。

另外，回归方程的复相关系数 $R = \sqrt{\frac{305976.03}{4356535.03}} = 0.8378$ ，较大，说明

本试验中各因素基本决定了产量的大部分变异，可靠性较强。但另一方面也应看

1. 最佳方案的寻求和数学模拟

采用二次回归正交旋转设计的重要目的，就是希望在获得回归方程后，能找到各自变量的最佳取值，即最佳方案。所谓最佳方案，就是对应产量的极大值的三种农艺措施的取值，也即极大值点。不过，这种点应是多维空间中的点，由于并不是所有的多元二次回归方程都有极值，有时甚至难以判断是否有极值，因此用微积分的知识来寻求多元二次回归方程的极大值点不一定奏效。因此，采用数学模拟法来寻求极值点。这种方法不仅能寻找极值点，而且也能从自变量的变化趋势看因变量的变化趋势，而了解这种趋势具有重要的实际意义。

所谓数学模拟法，常常是在设计的诸自变量取值范围内，用设计的诸自变量取值点的所有可能组合代入回归方程，计算因变量的理论值。对于本试验，即三因素各五水平的回归设计试验，所有可能的自变量取值组合数为 $5^3 = 125$ 个。利用计算机完成这种模拟之后，就可以比较诸理论因变量值而找到最佳方案。

按这种数学模拟法用 Apple II 电子计算机上进行了模拟试验，得 125 个产量数据，仅就极值点进行讨论，理论产量极大值和极小值分别为 3943.78 和 533.18 公斤/公顷。产量达极大值所需采取的综合农艺措施应为密度 481 万株/公顷，磷酸二氢铵 300 公斤/公顷、硝酸铵 109 公斤/公顷。而使产量最低的农艺措施则为密度 800 万株/公顷、磷酸二氢铵和硝酸铵各为 60 公斤/公顷，可见，作物产量的高低在很大程度上取决于密度，施肥等管理措施。如果方法不当，如密度过大，施肥量又少，即使象吉麦 2 号这样的新品种也会大幅度减产。反之，在本试验现有的环境条件下，适量少施氮肥，大量增施氮磷复合肥，密度适中可使产量达到相当高的水平。

模拟得出的理论产量极大值高达 3943.78 公斤/公顷，说明吉麦 2 号品种的增产潜力是非常大的。只要辅以良法，此品种还能在原来基础上进一步大幅度增产。吉麦 2 号在 1983—1985 年 3 年的全省联合区域试验中，18 点次的平均产量为 3243.00 公斤/公顷；在 1985 年的生产示范试验中，最高产示范点（前郭县平凤乡临江村）的产量是 3219.80 公斤/公顷。而本试验所得的最高理论产量分别比这两项产量提高 20% 以上。如果再进行灌水等农艺措施，产量还有可能突破 3943.78 公斤/公顷。另外，从历史上看，吉麦 2 号 1983 年在吉林省农科院，1984 年在吉林农大，1985 年在长春农科所的区域试验中产量曾分别达到 3796.50、3796.50 和 3996.80 公斤/公顷。这说明，本试验建立的数学模型以及由此所得出的结论是符合生产实际的。每公顷保苗 481 万株，施磷酸二氢铵 300 公斤，硝酸铵 109 公斤是最佳的农艺方案。

2. 数学模拟单因子效应分析

表 7 数学模拟单因子效应分析 (其他因子取零水平)

因子 \ 产量 (r)	-1.682	-1	0	1	1.682
密度 (X_1)	3545.21	3571.28	3484.00	3247.52	3000.66
磷酸二氢铵 (X_2)	2801.42	3120.78	3484.00	3722.31	3813.19
硝酸铵 (X_3)	2842.25	3204.24	3484.00	3465.30	3281.35

从数学模拟的结果，还可以对多元二次回归方程进行降维分析，即将部分因子的取值固定，看其余的因子取不同值时因变量的变化。这样，就可以找到在某些限制条件下，部分因子的最佳取值。特别是可以看出其他因子取零水平时，另一因子在不同水平的模拟值。它能反应出这一因子对因变量的单独影响。现从125个模拟值中选出其他二个因子取0水平时，另一因子5个不同水平的产量见表7和图。

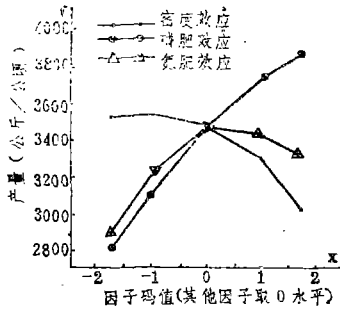


图 吉麦2号三因素回归设计试验数学模拟单因子效应分析

本研究是在1986年密，肥试验的基础上，为进一步明确吉麦2号的适宜综合农艺措施和增产潜力而进行的。结果基本上肯定了该试验施肥的增产效果，建立了产量对各因素的生产函数模型并进行了优化与解析。至于此模型是否还受到不同年份自然气候条件差异的影响，尚有待于进一步研究。

小 结

(一) 本试验所研究的三种因素都对吉麦2号的产量形成起重要作用，而以氮磷复合肥的增产效果最明显。

(二) 回归方程式(2)可以作为吉麦2号产量的生产函数模型指导生产实践。

(三) 吉麦2号高产的最佳综合农艺措施为每公顷保苗481万株，施磷酸二氢铵300公斤，硝酸铵109公斤。

(四) 吉麦2号在旱种条件下的产量潜力可达3943.78公斤/公顷，超过该品种生产示范阶段最高产记录的20%以上。如果有水浇条件，产量还可进一步提高。

参 考 文 献

- (1) 苑诗松等: <回归分析与试验设计>, 1981, 华东师大出版社。
- (2) R.J.Harder, et al; 1958, Soil Sci.Soc.Am.Proc, 22: 59.
- (3) G.S.Soofi et al. 1964, Soil Sci.Soc.Am, proc.23: 76.
- (4) H.D.Fuching et al; 1966, Soil Sci.Soc.Am, proc, 30: 439.
- (5) 张瑞忠等: <大豆科学>, 1981, 3(4): 302-310.

(下转第36页)

其余性状亲子间均达到极显度程度，相关系数为 0.595^{**} — 0.839^{**} 。我们初步认为，利用双亲的生育期、株高、穗长、千粒重的平均值来估算其 F_1 代的表现是基本可行的。即亲本生育期平均值每增加1天，株高和穗长每增加1厘米，千粒重每增加1克， F_1 代则分别增加生育期1天，株高0.57厘米，穗长1.4厘米，千粒重0.94克。

讨 论

(一) 国内外育种实践表明，高粱不同品种间杂交，不同性状优势表现也不同。生育期在多数组合中表现中间型，但也有少数比双亲都表现晚熟或早熟。株高在多数组合中也表现优势，同类型品种间杂交，优势较弱，不同类型品种间杂交，杂种一代优势较强。与产量性状密切相关的穗粒数、千粒重在多数组合中也表现明显优势，但也有些组合表现劣势的。高粱18个组合的6个性状，除生育期介于双亲之外，其余5个性状在 F_1 代均有超亲表现。优势最强的是单穗粒重和单穗粒数，余则依次为株高、穗长和千粒重。这同已有研究的结论是吻合的。

(二) 初步分析认为单穗粒重、单穗粒数、千粒重、穗长等性状的变异系数高，在遗传上变异幅度大，而株高、生育期等性状变异系数低，在遗传上变异幅度小，通过双亲可以预测一代表现。在育种上有参考意义。

(三) 从相关分析中看出，杂种一代的产量（单穗粒重）主要决定于粒数，其次是千粒重和生育期。

(四) 根据亲子间相关与回归，在生育期、株高、穗长和千粒重等性状方面，均达到极显著或显著的程度。据此，可以通过双亲平均值来估算其 F_1 代的表现。

参 考 文 献

- [1] 西北农学院主编：《作物育种学》，1936，农业出版社。
- [2] 南京农学院主编：田间试验和统计方法，第九章194~214，1979，农业出版社。
- [3] 沈阳市农业科学研究所高粱组：高粱穗部产量性状与杂交优势的关系，1931，1，23。
- [4] 张文毅：高粱主要性状遗传力和相关的初步研究，《遗传学报》，1973，4。

(上接第33页)

THE BEST AGRONOMIC PRACTICES OF NEW SPRING WHEAT VARIETY "JIMAI No. 2"

Qiao Chungui et al.

(Agronomy Department, Jilin Agricultural University)

ABSTRACT

An experiment was conducted in the Experimental Station in 1987 to investigate relationships of plant stands, P and N fertilizer with wheat yield. A quadratic regression orthogonal design was employed and productive function model of wheat yield to doses of the three factors was established. The optimal agronomic practices and yield potential of "JIMAI No. 2" was found and estimated, based on the Method of Mathematic Imitation.