

百棉 1 号产量结构模型的建立及 高产密、肥效应分析

王清连, 陈荣江, 董娜, 张金宝

(河南科技学院 棉花研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 为探明百棉 1 号产量构成因素的优化组合及其此长彼消相互影响的变化规律, 探讨高产田产量构成因素的密、肥效应参数, 利用百棉 1 号 2006—2007 年黄河流域棉区常规春棉品种区试 A 组及 2008 年黄河流域棉区中熟常规品种生产试验 A 组共 37 个点的观测资料, 采用偏相关、多元线性回归、通径分析, 产量构成因素互变模型, 多元多项式曲线回归及模拟选优等方法, 研究了该品种产量构成因素对皮棉产量的影响以及产量构成因素间的相关性, 并利用所建密、肥效应模型进行了模拟研究。结果表明: 对于百棉 1 号, 应在适当控制密度的前提下, 力求促使产量构成因素的协调发展, 方可实现理想的产量结构; 从产量目标性状密、肥因子效应多项式回归模型模拟得出, 在平均密度 48 838 株/hm², 施 N 216.96 kg/hm², P₂O₅ 147.94 kg/hm², K₂O 115.59 kg/hm² 条件下, 皮棉期望产量可达 1 615.58 kg/hm², 其理想产量结构为单株铃数 17.23 个、单铃质量 6.32 g、衣分 41.33%。

关键词: 百棉 1 号; 产量结构模型; 密肥效应; 回归分析

中图分类号: S562 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)02-0046-05

Study on Mathematical Model of Baimian 1 Yield Components and Density-fertilizer Effect in High-yield Field

WANG Qing-lian, CHEN Rong-jiang, DONG Na, ZHANG Jin-bao

(Cotton Research Institute, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: In order to ascertain the optimal combination of Baimian 1 yield components, its rising-falling and interactive influence change rules, density-fertilizer effect parameter of yield components, observation data from 37 points of the conventional spring cotton variety regional test group A in 2006—2007 and the mid-maturation conventional variety production test group A in 2008 of the Yellow River area cotton region were analyzed, using partial correlation, multiple linear regression, path analysis and yield factors interconversion model and multivariate polynomial curve regression and simulation optimization methods, to study the influence of the variety yield factors on lint outputs and the correlation among yield factors. And a density-fertilizer effect model was constructed for the simulation study. Results showed that this variety should be set under proper density, to promote the coordinated development of production factors, and then the ideal yield structure could be realized. From the polynomial regression model simulation of the production target character density-fertilizer factorial effects, under the condition of average

收稿日期: 2013-09-01

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA101108, 2011AA10A102); 国家转基因生物新品种培育科技重大专项(2011zx08005002-003, 2013zx08005002-003); 河南省重点科技攻关项目(112102110089)

作者简介: 王清连(1956-), 男, 河南浚县人, 教授, 博士, 主要从事棉花育种研究。E-mail: wangql985@163.com

density 48 838 plants/ha, application of N 216.96 kg/ha, P_2O_5 147.94 kg/ha, K_2O 115.59 kg/ha, expected output would be up to 1 615.58 kg/ha, and the ideal output structure was 17.23 bolls, boll weight of 6.32 g and lint percentage of 41.33%.

Key words: Baimian 1; yield structure model; density-fertilizer effect; regression analysis

百棉 1 号是由河南科技学院育成的已通过国家审定的转基因抗虫棉新品种,在国家黄河流域棉花区域试验、生产试验中,皮棉、霜前皮棉产量连续 3 a 排名第 1 位。该品种高产、稳产,适应性广,铃大,结铃性强,衣分高,开花吐絮集中,早熟不早衰,抗病、抗虫、抗逆性强。棉花铃数、单铃质量、衣分是构成棉花产量的关键因素,高产皮棉取决于各产量构成因素的优化组合。前人关于高产棉花产量构成因素方面的研究报道不少^[1-4],种植密度与施肥水平对产量构成因素的影响研究亦屡见不鲜^[5-9],研究成果为指导棉花生产、实现理想的产量结构提供了有益信息。但从产量构成因素对产量影响的数学模型角度进行研究的报道并不多见。鉴于此,运用统计建模方法建立百棉 1 号产量构成因素对皮棉产量的回归模型、皮棉产量的密(密度)肥(肥料)效应数学模型,并利用模拟选优因素取值的频率分析方法,探讨了该品种高产田的产量结构和相应的密肥因子效应参数以及各产量构成因素相互制约的变化规律,以便为百棉 1 号在生产中充分发挥高产潜能提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 数据来源

数据来源于全国春棉品种 2006—2007 年黄河流域区试 A 组及 2008 年黄河流域棉区中熟常规棉生产试验 A 组共 37 个试点有关百棉 1 号的数据资

料,主要涉及籽棉产量、皮棉产量、霜前皮棉产量、密度、果枝数、单株铃数、总铃数、单铃质量、衣分以及 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量 12 个项目。

1.2 方法

采用偏相关、多元线性回归、通径分析、产量因素互变模型方法分析产量构成因素对皮棉产量的影响、产量构成因素间的相互关系,利用多元二次多项式回归及模拟选优^[10-11]方法建立密、肥因素对皮棉产量的效应模型,并对所建模型进行检验和分析。数据处理在 SAS 9.1^[12]和 Matlab 7.0^[13]环境下完成。

2 结果与分析

2.1 百棉 1 号产量及产量构成因素的统计分析

将百棉 1 号 2006、2007 年 2 a 黄河流域棉花区域试验(A 组)及 2008 年全国黄河流域棉区生产试验(A 组)中的产量及各产量构成因素进行统计,结果见表 1。从表 1 可以看出,各试点平均皮棉产量 1 480.70 kg/hm²,霜前皮棉产量 1 378.82 kg/hm²,单铃质量 6.14 g,衣分 41.14%,单株铃数 16.68 个,单铃质量和衣分两性状的变异系数较低,分别为 8.41%和 6.52%,表明这 2 个性状较稳定;单株铃数变异系数高达 23.19%,表明该性状具有较大伸缩性;各试点霜前皮棉的变异系数(19.24%)也较大,表明其早熟性较易受地域和气候影响。

表 1 百棉 1 号产量及产量构成因素的统计分析结果

项目	籽棉产量/ (kg/hm ²)	皮棉产量/ (kg/hm ²)	霜前皮棉/ (kg/hm ²)	单株铃数/ 个	总铃数/ (×10 ³ 个/hm ²)	单铃质量/g	衣分/%	果枝数/台
变幅	2 157.00~4 908.00	907.50~1 860.00	846.00~1 909.50	9.30~25.10	441.80~993.60	4.50~7.40	31.20~47.20	11.70~17.30
平均值 \bar{x}	3 628.91	1 480.70	1 378.82	16.68	734.205	6.14	41.14	14.04
标准差 s	596.19	229.91	265.26	3.87	123.034	0.52	2.68	1.50
变异系数/%	16.43	15.53	19.24	23.19	16.76	8.41	6.52	10.68

2.2 百棉 1 号产量构成因素间的偏相关分析

偏相关分析系数是在控制其他变量影响的条件下,衡量多个变量中某 2 个变量之间的线性相关程度的指标,用偏相关系数来描述 2 个变量之间的内在联系更为合理。为探讨密度、单株铃数、单铃质量和衣分四大产量构成因素与皮棉产量之间的本质相关关系,采用偏相关分析,计算结果列于表 2。表 2 表明,除衣分与皮棉的偏相关系数达 0.10 显著水平

外,密度、单株铃数、单铃质量与皮棉的偏相关系数均达极显著水平,表明百棉 1 号在这 2 a 区域试验及生产试验中 4 大产量构成因素比较协调,发挥了综合的增产作用。值得注意的是,密度与单株铃数、单铃质量的负相关系数分别达 0.01、0.05 显著水平,而单株铃数与衣分的负相关系数亦达显著水平。这一结果启示,在生产实践中,必须注意处理好各产量构成因素相互制约的矛盾,只能在合理密植的基

基础上,力争单株铃数、单铃质量和衣分协同发展,方可实现理想产量结构的预期目的。

表 2 百棉 1 号产量构成要素间的偏相关系数

性状	单株铃数	单铃质量	衣分	皮棉产量
密度	-0.740 3**	-0.411 7*	-0.249 8	0.563 9**
单株铃数		-0.207 8	-0.371 7*	0.507 1**
单铃质量			-0.172 8	0.465 6**
衣分				0.319 3△

注: **、*、△分别表示相关性在 0.01、0.05、0.10 水平上显著,下同。

2.3 百棉 1 号产量构成因素对皮棉产量影响的回归分析

为探讨密度(x_1)、单株铃数(x_2)、单铃质量(x_3)、衣分(x_4)4 个产量构成因素对皮棉产量(y)的影响,采用多元线性回归分析皮棉产量与 4 个产量构成因素的关系,经统计计算得到回归方程:

$$\hat{y} = -2131.5244 + 0.0204x_1 + 36.6085x_2 + 185.9650x_3 + 22.7630x_4 \quad (F = 5.99, P = 0.001),$$

通过检验,回归方程达极显著水平。方程表明,在 4 个产量构成因素中,固定其中任意 3 个因素与某一水平,另一因素的增产效应为:密度每增(减)100 株/hm²,皮棉增(减)2.04 kg/hm²;单株铃数每增(减)1 个,皮棉增(减)36.61 kg/hm²;单铃质量每增(减)1 g,皮棉增(减)185.97 kg/hm²;衣分每增

(减)1 个百分点,皮棉增(减)22.76 kg/hm²。据此可知,百棉 1 号在一定的密度范围内依靠增密实现增产的潜力不大,而应控制密度不可太高,以力争单株铃数和单铃质量、保衣分为主攻方向。

2.4 百棉 1 号产量构成因素对皮棉产量影响的通径分析

通径分析可以将简单相关系数剖分为直接通径系数(即标准回归系数)和间接通径系数,从而进一步明确各产量性状对产量影响的直接效应与间接效应。由于产量构成因素间存在相互促进与制约的矛盾,为探讨密度(x_1)、单株铃数(x_2)、单铃质量(x_3)、衣分(x_4)4 个因素对皮棉产量(y)影响的直接效应与间接效应,进行了通径分析(表 4)。结果表明:4 个产量构成因素的直接通径系数为密度($p_{x_1 \rightarrow y} = 0.7072$) > 单株铃数($p_{x_2 \rightarrow y} = 0.6158$) > 单铃质量($p_{x_3 \rightarrow y} = 0.4179$) > 衣分($p_{x_4 \rightarrow y} = 0.2657$)。由于诸因素分别受到另外 3 个因素的间接效应(以负为主)影响,其最终增产效应值均受到严重削弱,其中尤以密度、单株铃数的削弱程度最明显。除单铃质量与皮棉产量的相关系数($r_{x_3y} = 0.3284$)达 0.05 显著水平外,其他均不显著。该结果表明,如果密度过高,将会严重削弱单株铃数、单铃质量的增产效应,最终难以实现理想的产量结构,达到预期的增产目的。

表 4 主要产量构成因素对皮棉产量影响的通径分析

产量因素	直接通径 $p_{x_i \rightarrow y}$	间接通径				相关系数 r_{x_iy}
		$p_{x_i \rightarrow x_1 \rightarrow y}$	$p_{x_i \rightarrow x_2 \rightarrow y}$	$p_{x_i \rightarrow x_3 \rightarrow y}$	$p_{x_i \rightarrow x_4 \rightarrow y}$	
密度(x_1)	0.707 2*		-0.408 4	-0.126 2	0.031 3	0.203 9
单株铃数(x_2)	0.615 8*	-0.469 0		0.097 4	-0.071 8	0.172 5
单铃质量(x_3)	0.417 9*	-0.213 5	0.143 5		-0.019 5	0.328 4*
衣分(x_4)	0.265 7△	0.083 3	-0.166 3	-0.030 6		0.152 1

2.4 产量构成因素互变模型的建立

为进一步探讨 4 个产量因素相互制约此长彼消的数量关系,采用 $\hat{x}_i = b_0 + b_{iy} + \sum_{j \neq i} b_{ij} x_j$ 模型,利用试验数据进行拟合,结果得出:

$$\hat{x}_1 = 94889 - 1475552.3x_2 - 4540985.3x_3 - 4918163x_4 + 155678y \quad (F=14.00, P<0.0001)$$

$$\hat{x}_2 = 45.2358 - 0.00037x_1 - 1.1500x_3 - 0.3672x_4 + 0.0070y \quad (F=12.63, P<0.0001)$$

$$\hat{x}_3 = 7.9986 - 0.000037x_1 - 0.0376x_2 - 0.0309x_4 + 0.0012y \quad (F=3.27, P=0.0234)$$

$$\hat{x}_4 = 52.4701 - 0.000127x_1 - 0.3765x_2 - 0.9688x_3 + 0.0045y \quad (F=1.69, P=0.1772)$$

上述方程表明,在试验密度 30 000~62 500

株/hm²的范围内,密度每增(减)1 000 株/hm²,单株铃数减(增)0.37 个,单铃质量减(增)0.037 g,衣分减(增)0.13%;单株铃数每增(减)1 个,单铃质量减(增)0.038g,衣分减(增)0.38%;单铃质量每增(减)1 g,衣分减(增)0.97%。

2.5 不同产量水平的模拟产量结构

为进一步探讨百棉 1 号不同产量水平的产量结构,以不同产量水平分别代入以上产量构成因素互变模型,导出不同产量水平的产量结构指标(表 5)。结果表明:当产量水平从 1 350 kg/hm² 增至 1 850 kg/hm² 时,铃质量和衣分的增幅变动不大,在适当增加有限密度的基础上,力争单株铃数是取得高产的主攻目标。

表 5 不同产量水平的模拟产量结构

皮棉产量/ (kg/hm ²)	密度/ (株/hm ²)	单株铃数/ 个	单铃质量/ g	衣分/%
1 350	43 728	16.46	6.11	40.86
1 450	44 411	16.76	6.20	41.04
1 550	45 094	17.05	6.27	41.22
1 650	45 778	17.34	6.35	41.40
1 750	46 461	17.63	6.43	41.56
1 850	47 144	17.92	6.51	41.75

2.6 产量目标性状的密、肥效应模型及高产田产量结构

为进一步探讨百棉 1 号高产田的密、肥增产效应及高产田的理想产量结构,以皮棉产量(y)为目标性状,以密度(x_1 ,株/hm²),N(x_2 ,kg/hm²),P₂O₅(x_3 ,kg/hm²),K₂O(x_4 ,kg/hm²)为自变量建立 4 元 2 次多项式回归模型,经 SAS 系统编程计算,得回归方程:

$$\hat{y} = 1\ 108\ 336.4 + 2.91 \times 10^{-4} x_1 + 5\ 834.1 x_2 - 6\ 755.9 x_3 + 4\ 736.7 x_4 + 9.65 \times 10^{-8} x_1^2 - 8.18 \times 10^{-5} x_1 x_2 - 0.0057 x_2^2 + 1.01 \times 10^{-4} x_3 x_1 + 0.0141 x_3 x_2 -$$

$$0.0077 x_3^2 - 2.89 \times 10^{-5} x_4 x_1 - 0.0168 x_4 x_2 + 0.0048 x_4 x_3 - 0.0062 x_4^2 (R^2 = 0.8751, P < 0.0001)$$

通过对上述回归模型模拟因素取值的频率分析,求解高产的密、肥效应参数。根据区域试验资料中观测数据,给出约束条件:密度 30 000~62 500 株/hm²、N 225~435 kg/hm²、P₂O₅ 75~225 kg/hm²、K₂O 75~225 kg/hm²;以各因素的最小取值为始点,最大取值为终点,各因素取值的步长分别为:密度 4 500 株/hm²、N 30 kg/hm²、P₂O₅ 30 kg/hm²、K₂O 30 kg/hm²。皮棉产量在 1 575~1 875 kg/hm² 时,通过计算机模拟,在所有可能的 2 304 个样点中,满足目标要求的有 306 个,占 13.28%。模拟结果列于表 5。表 5 显示,在平均密度 48 838 株/hm²,施 N 261.96 kg/hm²、P₂O₅ 147.94 kg/hm²、K₂O 115.59 kg/hm² 时,皮棉期望产量可达 1 615.58 kg/hm²。将此结果代入产量构成因素互变模型,求得高产田的理想产量结构为单株铃数 17.23 个、单铃质量 6.32 g、衣分 41.33%。

表 6 皮棉产量 1 575~1 875 kg/hm² 的密度及肥料因素模拟

项目	密度/(株/hm ²)	N/(kg/hm ²)	P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	K ₂ O/(kg/hm ²)	模拟产量/(kg/hm ²)
平均值	48 838	261.96	147.94	115.59	1 615.58
标准误	680	2.72	2.91	2.43	1.96
95%的置信区间	47 506~50 170	256.63~267.29	142.23~153.65	110.83~120.34	1 611.74~1 619.42

3 结论与讨论

产量因素的变化受密度、肥料因素的影响很大,本研究根据全国棉花区域试验及生产试验观测数据及密、肥数据所建数学模型经模拟优选得出密、肥效应参数、期望产量与产量结构,当密、肥因素超出前述限定条件时,所建模型不能反映试验结果的真实信息,需另行建模分析。

单株铃数、单铃质量和衣分是构成棉花产量的三大要素,高产皮棉取决于三大产量构成因素的优化组合。产量构成因素中的衣分决定于棉花品种的遗传特性,受栽培环境的影响较小;单株铃数及单铃质量受密、肥因素影响较大,不同的种植密度和施肥水平棉铃数量和质量不同,同一密、肥水平的棉株不同部位和不同时期所结棉铃的产量和品质也有所差异。因此,在生产实践中,应力争棉花群体在最佳成铃时期和部位多结优质铃。在运筹上,应立足于促使群体早发、中稳、后健不早衰。在栽培措施上,应控制百棉 1 号在 45 000 株/hm² 左右的前提下,做到适时播种,施足底肥,早施轻施苗肥,稳施蕾肥,重

施花铃肥,补施盖顶肥,防止早衰,进行全程化控,搭好丰产架,塑造理想株型,力争在最佳成铃时期及部位,多结伏桃、早秋桃,提高棉铃质量,以实现理想的产量结构。

产量构成因素对皮棉产量影响的偏相关、多元线性回归与通径分析表明,对于百棉 1 号应在控制密度的基础上,促使其他产量构成因素协调发展,方可实现理想的产量结构。

从产量结构互变模拟模型提供的信息可知,各产量构成因素相互影响此长彼消的互变规律为:在密度 30 000~62 500 株/hm² 的前提下,密度每增(减)1 000 株/hm²,单株铃数减(增)0.37 个,单铃质量减(增)0.037 g,衣分减(增)0.13%;单株铃数每增 1 个,单铃质量减(增)0.038 g,衣分减(增)0.38%;单铃质量每增(减)1 g,衣分减(增)0.97%。从不同产量水平模拟产量结构得出,当产量水平从 1 350 kg/hm² 增至 1 850 kg/hm² 时,单铃质量和衣分的增幅不大,应在适当增加有限密度的基础上力争单株铃数夺高产定为主攻目标。

通过产量目标性状密、肥因素效应的多元多项

式回归模型,模拟选优得出的密、肥效应参数为:在平均密度 48 838 株/hm²,施 N 261.96 kg/hm²、P₂O₅ 147.94 kg/hm²、K₂O 115.59 kg/hm² 条件下,皮棉期望产量可达 1 615.58 kg/hm²,其理想产量结构为株铃 17.23 个、铃质量 6.32 g、衣分 41.33%。

参考文献:

- [1] 王振宇,郭小平,马奇祥,等.河南省杂交棉产量构成因素研究[J].中国棉花,2009(5):18-19.
- [2] 周汉章,刘环,李吉朝,等.棉花品种万丰 201 的选育及其栽培技术[J].天津农业科学,2011,17(2):148-152.
- [3] 刘昌文,张燕,宋义前.新疆早熟棉花主要农艺性状相关性及其多项式趋势分析[J].天津农业科学,2008,14(3):11-16.
- [4] 孙长法,田土星,陈荣江,等.棉花新品种锦科杂 1 号产量构成因素分析[J].河南农业科学,2012,41(8):66-69.
- [5] 杨六六,曹美莲,李朋波,等.高产优质多抗棉花杂交种杂 208 的选育[J].山西农业科学,2011,39(8):786-787,793.

- [6] 卢合全,李振怀,董合忠,等.杂交棉种植密度与留叶枝对产量及其构成因素的互作效应研究[J].山东农业科学,2009(11):11-15.
- [7] 陈超,潘学标,张立祯,等.种植密度对棉花产量构成、成铃和棉铃性状分布的影响[J].中国棉花,2012,39(1):16-30.
- [8] 张冬梅,李维江,唐薇,等.种植密度与留叶枝对棉花产量和早熟性的互作效应[J].棉花学报,2010,22(3):224-230.
- [9] 王汉霞,华含白,李召虎,等.供钾水平对棉花产量构成及其与产量相关性的影响[J].棉花学报,2011,23(6):581-586.
- [10] 邓忠,白丹,翟国亮,等.施肥方式和施氮量对棉花地上部分干物质积累、产量和品质的影响[J].华北农学报,2011,26(3):224-230.
- [11] 朱明哲,郭昆玉,陈荣江.高产优质杂交春棉数量性状定量选育模式的探讨[J].河南科技学院学报:自然科学版,2008,36(2):1-3,23.
- [12] 高惠漩.SAS 系统 SAS/STAT 软件使用手册[M].北京:中国统计出版社,2003.
- [13] Hanselman D, Littlefield B.精通 Matlab 7[M].朱仁峰,译.北京:清华大学出版社,2006.

(上接第 45 页) 下部烟叶居多, X2F 占薄类样品总数的 82.35%, 占稍薄类的 51.85%。在厚、稍厚和中等这 3 类中, 上部和中部烟叶占的比例较大, B2F 占厚类样品总数的 100%, 占稍厚类的 65.22%, 占中等类的 38.46%。C3F 占稍厚类样品总数的 30.43%, 占中等类的 53.85%。B2F、C3F 的烤烟叶片相对较厚, 而 X2F 的叶片相对较薄, 这与理论预期是相符的。快速聚类分析的类别数与烟叶分级过程中厚度值的档次划分一致, 每类中的样品信息可为河南烟区烟叶原料的收购提供一定参考。

参考文献:

- [1] 王浩雅,王理珉,张强,等.烟叶单层厚度与层积厚度测定方法的对比分析[J].安徽农业科学,2011,39(16):9585-9586.
- [2] 简永兴,伍厚国,邹国林,等.不同采收方式对烤烟上部

烟叶厚度与烟碱含量的影响[J].作物杂志,2007(5):31-33.

- [3] 王能如,李章海,徐增汉,等.烘烤过程中上部叶片厚度及解剖结构的变化[J].烟草科技,2005(9):29-31.
- [4] 魏春阳,薛超群,金立锋,等.县级区域尺度下烤烟烟叶厚度的区域特征[J].中国烟草科学,2010,31(4):52-55.
- [5] 程贵敏,张长云,周淑平,等.贵州烟叶与津巴布韦烟叶的质量差异[J].贵州农业科学,2011,39(2):27-29.
- [6] 薛超群,王建伟,奚家勤,等.烤烟烟叶理化指标与浓香型风格程度的关系[J].烟草科技,2012(1):52-56.
- [7] 王艳丽,刘国顺.磷肥用量对烟叶细胞壁物质含量和烟叶厚度的影响[J].烟草科技,2005(5):41-44.
- [8] 李晓,刘文锋,张碰元.河南烤烟烟叶叶片厚度的研究[J].农产品加工学刊,2008(3):16-17,28.
- [9] 张文彤.SPSS 统计分析高级教程[M].北京:高等教育出版社,2004:247.