

棉花成铃时、空分布的优化设计方法研究

廖树华^① 黄金龙 朱虹 李连录
(植物科学技术学院)

摘要 棉花生产中棉铃的重量及其纤维品质存在时空上的差异,这是客观事实。抓好优质铃期的生产管理是提高棉花生产效益的关键途径。本文提出了一套定量分析优质铃群体结构的方法,其分析结果与实际生产管理情况基本相符。与试验设计和模拟分析方法不同,本文的分析从棉花的成铃规律入手,以田间调查数据资料为基本依据,运用模拟分析与优化设计方法相结合的方式实现产量构成及棉铃分布的设计。

关键词 棉花; 优化设计; 产量结构; 棉铃分布

中图分类号 O221;S562

Designing Optimal Temporal and Spatial Distribution of Cotton Boll

Liao Shuhua Huang Jinlong Zhu Hong Li Lianlu
(College of Plant Science and Technology)

Abstract It is true that there is temporal and spatial difference for weight and fibre quality of cotton bolls. The key way of raising benefit lies in paying a special attention to the stage of high quality boll forming in field management. The quantitative method, analysing the population structure of the high quality bolls, was suggested. the result was in accord with the actual situation. Out of the ways of experiment design or simulation model analysis, combining optimization method with simulation analysis, the method was proposed on the basis of the boll forming pattern and field inspection. Also, the temporal and spatial optimization model, analysing cotton yield and boll distribution, was proposed.

Key words cotton; optimum design; yield structure; boll distribution

产量目标及结构的设计是农作物生产管理中首先遇到的问题。本文试图通过利用棉花成铃规律来研究这一设计过程,我们称之为棉花成铃时、空分布的优化设计。为了研究蕾铃分布的设计方法,首先分析一下单株蕾铃的基本分布结构(见示例1):一株棉花有多个果枝,每果枝长数个果节,每果节结一蕾铃。同株棉花的蕾铃有上下、内外层次之分。相邻果枝发生的时间有两、三天间隔,同果枝上相邻果节发生的时间有五、六天间隔。因此,同株上蕾铃可按发生时间进行分类。照这种分类法,同类蕾铃在空间上呈一锥形,生产中以第一圆锥体、第二圆锥体等等,来区分这种不同类的蕾铃。同株蕾铃的这种时空上的差别,使得它们在各生育阶段所处的环境条件(如:光、温、降雨、干旱、冰雹等气象条件、病虫害发生程度等等)、养分供应状况等存有明显的差异。造成它们在群体的重量、纤维品质、成铃率方面的明显差别。为此生产上将棉桃

收稿日期: 1996-11-19

^①廖树华,北京市海淀区圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

分为伏前桃、伏桃、早秋桃和晚秋桃。棉桃的重量、纤维品质表现为中部果枝内围铃比其它部位要好；伏桃、早秋桃比伏前桃、晚秋桃好。棉花现出的蕾有60%~70%左右是要脱落的，也就是说单株成铃数仅占其总蕾数的少部分比例。粗略看，一个铃从花原基开始到吐絮大约需90 d时间，其中外观达到现蕾约16 d，从现蕾到开花约20 d，开花后一两天完成受精，开花到吐絮约45 d，开花后10 d左右时间是棉铃脱落的敏感时期。棉花的现蕾是一个断断续续的过程，要持续较长时间，成铃规律表现为：前期所结的棉桃多，当前所结的棉桃就可能少；前期少，当前结铃就可能多，表现出很强的自我调节能力。利用这一调节能力，生产中我们可根据需要和环境条件适当调整棉花成铃的时、空结构，达到趋利避害的目的，多结优质铃。

棉铃的形成需要4个条件，即有机营养、多种矿质元素、水分和良好的光、温条件，其中矿质营养与水分通过肥、水供应保证。有机营养要通过改善和增强群体光合性能解决。光、温的变化是客观规律，只有通过调节生育进程来适应，根本目标就是让更多的棉铃处于最适的光、温条件下。生产上，适宜优质棉铃生长光、温条件要求的时间段较有限，为了在这段时间内多结铃，可以通过：提高花蕾数量，包括调整播期、选择品种和密度；提高成铃率，包括改进养分状况、通过摘早蕾等改进蕾铃的竞争环境。本文试图从优化的角度来研究定量分析棉铃结构协调的方法问题。

1 时空分布的优化设计方法

与试验设计方法和模拟分析方法不同，本研究首先从棉花的成铃规律入手，建立起棉花成铃关系模型。根据对棉花的产量结构分析，建立起产量结构模型。以“三桃”间的纤维品质差异为依据，建立模型的评价目标函数。这样，我们就得到一个完成优化设计过程的模型，称之为棉铃时、空分布优化设计模型。结合气象资料，我们还建立棉花发育进程模型，用于模型中一些参数的估计。

1.1 棉铃时、空分布设计模型

在棉铃时、空分布的设计中，本文建立了一组数学模型，并用严格的数学优化理论方法对其进行求解。其模型描述如下：

$$\text{Max } w_1(x)c_1n_1x_1x + w_2(x)c_2n_2x_2x + w_3(x)c_3n_3x_3x$$

$$\text{满足: } w_1(x)n_1x_1x + w_2(x)n_2x_2x + w_3(x)n_3x_3x \geq y \quad (1)$$

$$f_1(x) - x_1 \geq 0 \quad (2)$$

$$f_2(x_1n_1, x) - x_2 \geq 0 \quad (3)$$

$$f_3(x_1n_1 + x_2n_2, x) - x_3 \geq 0 \quad (4)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i, i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$a \leq x < b \quad (6)$$

式中： x_i 为第*i*期桃的成铃率； n_i 为第*i*期果节数； $w_i(x)$ 为第*i*期铃重密度关系函数； c_i 为目标函数系数，由第*i*期桃的衣份及品质级别确定； L_i, U_i 是分别第*i*期成铃率上下界， L_i 通常取0值； f_i 是第*i*期成铃率与密度、前期铃数的关系函数。 $i=1, 2, 3$ 分别表示伏前期、伏期和秋后。 x 为密度， y 为籽棉产量水平要求， a, b 是密度上下限。

模型(1)的目标函数实际上是“三桃”皮棉产量的加权和，其权重就是相应的品质级别。

(1)的约束方程②是籽棉产量目标要求(乘上各期棉桃衣分就可转化为皮棉产量);约束方程③表示伏前桃(下部铃)的成铃率不超过它可达到的最大成铃率 $f_1(x)$;约束方程④表示伏桃(中部)的成铃率不超过它可达到的最大成铃率 $f_2(x)$;约束方程⑤表示晚秋桃(最上部)的成铃率不超过它可达到的最大成铃率 $f_3(n_1x_1+n_2x_2, x)$ 。本模型中,未考虑肥水的投入,主要基于以下几点考虑:肥水投入实际上是养分平衡供应的问题;棉花是工业生产的初级原料,投入与报酬问题不能简单地按生产者角度考虑。此外,模型是在一定的生产管理水平下考虑的(因模型中的一些参数是与生产水平紧密相关)。

1.2 模型(1)的简化和参数估计

c_i 值可以用衣分与品质级别之积作估计,而衣分与品质级别可根据生产经验估计或参考杨保祝、常显明硕士论文中的方法^[1,2]。 $w_i(x)$ 是铃重与密度的关系函数,可从田间调查资料中找出。模型中的 L_i, U_i 成铃率约束可通过田间调查和气象条件做估计; a, b 是密度可选范围,较易确定。下面讨论(1)的约束方程②、③和④的建立依据。我们知道,棉花的成铃有很强的自我调节能力,这种能力反映到铃重上就是前后两期铃的总重应近似为特定值。用数学语言描述:

$$f_i n_i w_i + f_{i+1} n_{i+1} w_{i+1} \approx W_{\text{总}} \quad (2)$$

(2)式表明前后期的成铃率关系可近似地线性化,即

$$f_{i+1} = b_0(x) + b_1(x) f_i \quad (3)$$

其中 $b_0(x), b_1(x)$ 表示该系数是还与其它因素有关。在一定的生产条件与管理水平下,密度对成铃影响是最主要的,这种影响我们用三次多项式来近似,即 $b_0(x), b_1(x)$ 都是三次多项。整理后得到了下述成铃率关系描述模型:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \\ f_2(z_1, x) &= a_0 + (z_1 + z_2)(a_1 + a_2 x + a_3 x^2) + a_4 x^3 \\ f_3(z_1 + z_2, x) &= a_0 + (z_1 + z_2)(a_1 + a_2 x + a_3 x^2) + a_4 x^3 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $z_1 = f_1 n_1, z_2 = f_2 n_2, a_i$ 为参数,(2)~(4)各变量含义与(1)相同。这样就得到了式(1)中的约束方程②、③和④。模型(1)中还有一个果节参数的估计,这在本文的第三部分棉花生育进程的模拟中作讨论,品种、播期和气象资料对该参数值的大小直接影响。

1.3 模型(1)的算法实现

我们将(4)中和 f_1, f_2 和 f_3 代入(1)中,得到模型(1)'

$$\text{Max } w_1(x)c_1 z_1 + w_2(x)c_2 z_2 + w_3(x)c_3 z_3$$

$$\text{满足: } w_1(x)z_1 x + w_2(x)z_2 x + w_3(x)z_3 x \geq y \quad (1)'$$

$$a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 - x_1 \geq 0 \quad (2)$$

$$a_0 + (z_1 + z_2)(a_1 + a_2 x + a_3 x^2) + a_4 x^3 - x_2 \geq 0 \quad (3)$$

$$a_0 + (z_1 + z_2)(a_1 + a_2 x + a_3 x^2) + a_4 x^3 - x_3 \geq 0 \quad (4)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i, i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$a \leq x < b \quad (6)$$

其中: $z_i = x_i n_i, i = 1, 2, 3$

直接求解(1)'是比较困难的。简单分析一下模型便可发现,若密度值给定,则(1)'就是一

个变量有界的线性规划问题,且有很好的算法^[3]。这样就很容易找到求解(1)'的方法,我们的处理是首先给定密度的值 x ,求解(1)',得其最优值及其相关成铃率 x_i ,这样每给定一 x 我们就容易找到一个(1)'的最优值,从而建立起(1)'的最优值与 x 间一维的函数关系,记为 $\rho(x)$ 。这就将求解(1)'转化为求解 $\rho(x)$ 最优解的一维非线性优化问题,由于 $\rho(x)$ 无明确表达式,但可求其值,可用二次插值的寻优方法来求解^[4,5],应注意的是 $\rho(x)$ 的值由本文(1)'模型求得。经反复迭代,最后找出模型(1)'的最优解 $(x^*, x_1^*, x_2^*, x_3^*)$,它们分别对应于密度和“三桃”的成铃率。

2 棉花生育进程的模拟

关于棉花生长发育的研究比较多^[1,2,6]。本文主要讨论如何利用这些研究结果来估计模型(1)中果节参数 n_1, n_2, n_3 。最简单的估计方法就是等日法——3d一果枝,6d一个果节;其次就是积温法(包括活动积温、有效积温);还有就是利用生育进程的统计模型: $D = a_0 + (a_1 + a_2 T)T$

其中 D 为所用的天数, T 为间期的平均温度。当模型算出的天数大于该间期的实际天数时,便完成一个生育进程。当然,还有其它许多模型,但这种模型估计较简单,有3个播期试验,就可建立起全生育期的生育进程模型。棉花整个生育进程的描述由以下5个模型构成:a. 出苗到现蕾天数;b. 现蕾到开花天数;c. 开花至吐絮天数;d. 果枝发生间隔天数;e. 果节发生间隔天数。无论哪种估计方法,都要注意“三桃”的划分时间,这样才能估计出果节参数 n_1, n_2, n_3 。除了等日法,其它估计方法都应有当地逐日气象资料作依据。

3 示例与讨论

为了更直观地展现本文研究思路,我们提供了一组分析结果,由于数据资料来源问题,运行结果只起示例作用。蕾铃分布模拟分析结果是作者提取GOSSYM模拟系统的发育模块程序的运行结果,程序中增加了对“三桃”的划分和数量的统计,为简化,有关输入未列其中。在进行蕾铃时空分布设计方法的检验时,我们引用文献[7]中的数据资料进行方程(4)的建模工作,为简化,未将密度对铃重的影响考虑进来,其它参数输入中已作说明。为了直观,分析结果用“三桃”的数量表示。

表1 例2的运行结果

方案						hm ²	
	伏前桃 /千个	伏、秋桃 /千个	晚秋桃 /千个	密度 /千个	目标值	皮棉产量 /kg	
1	57.160 5	559.507 5	237.234	46.626	694.014	1 609.869	
2	65.539 5	658.648 5	179.403	54.888	777.171	1 737.025	
3	78.409 5	856.932	6.981	71.410 51	918.918	1 895.67	

例 1. 蕾铃分布模拟分析结果, 见下图(显示的是各铃位的开花时间);

19 枝 8-19 Δ
 18 枝 8-17 Δ
 17 枝 8-15 Δ
 16 枝 8-12 Δ 8-19 Δ
 15 枝 8-10* 8-16 Δ
 14 枝 8-8* 8-13 Δ
 13 枝 8-6* 8-12 Δ 8-19 Δ
 12 枝 8-4* 8-11 Δ 8-17 Δ
 11 枝 8-3* 8-9* 8-16 Δ
 10 枝 8-1* 8-7* 8-13 Δ
 9 枝 7-30* 8-5* 8-11 Δ 8-17 Δ
 8 枝 7-28* 8-3* 8-9* 8-16 Δ
 7 枝 7-26* 8-1* 8-7* 8-13 Δ
 6 枝 7-23* 7-30* 8-5* 8-11 Δ 8-17 Δ
 5 枝 7-21* 7-28* 8-3* 8-9* 8-16 Δ
 4 枝 7-20* 7-26* 8-1* 8-7* 8-13 Δ
 3 枝 7-18* 7-23* 7-30* 8-5* 8-11 Δ 8-17 Δ
 2 枝 7-15 \times 7-21* 7-28* 8-3* 8-9* 8-16 Δ
 1 枝 7-13 \times 7-20* 7-26* 8-1* 8-7* 8-13 Δ

有效果节数 = 66; 优质期果节 = 39; 总果枝 = 30。
 带 * 区域为优质花, \times 为伏前桃, Δ 为秋桃

有关输入:

伏前, 伏秋, 伏后品质级别 2.0, 1.0, 3.0

3, 2, 4

伏前, 伏秋, 伏后铃重: 5.0, 5.4, 4.2

5.9, 5.6, 4.3

伏前, 伏秋, 伏后衣分: 0.34, 0.36, 0.37

0.34, 0.36, 0.36

伏前, 伏秋, 伏后果节数: 2.0, 40, 14

2, 40, 18

伏前, 伏秋, 伏后成铃率上限: 0.9, 0.4, 0.3

0.9, 0.3, 0.3

籽棉产量, 密度下, 上限(千): = 200, 0, 8.0

250, 1, 6

运算结果(见表 1);

该分析结果为我们有效地调整棉铃时、空分布结构提供重要的参考依据。为达到该方法的分析结果, 生产中要注意采取三种管理措施: 一是密度满足要求; 二是要适当摘除早蕾; 三是抓好优铃期管期。这与实际生产管理是一致的。分析结果中伏前桃数量比实际可成铃数量要低, 应适当摘除早蕾, 约摘伏前桃总蕾数的 45% 左右。而优铃期的成铃要求较高, 因此, 要注意管理。生产中可选的品种、播期都有限, 可对各品种和播期利用文中的分析方法进行逐一设计, 将设计结果根据达到的最优目标值和生产中的可行性进行排队、挑选。因品种和播期还受其它客观因素制约, 模型以参数的形式来体现它们的作用, 用果节参数来建立起与气象条件的关系。一句话, 模型(1)的分析结果与品种、播期及气象条件紧密相关, 当然也和生产管理技术条件有关。实际上, 任何的优化分析方法都是根据一定的技术条件下考虑, 我们俗称硬件。这些条件在一定的时期内相对较稳定, 这是进行优化设计的前提。分析结果还表明, 提高种植密度有利棉花的早熟, 从而提高霜前花率。

参 考 文 献

1. 杨保祝. 棉铃发育与温度的关系及计算机预测系统. [硕士学位论文]. 北京: 北京农业大学, 1991
2. 常显民. 温度的光照对棉纤维品质的影响及计算机模拟预测. [硕士学位论文]. 北京: 北京农业大学, 1993
3. 章学仁. 线性规划. 上海: 上海交通大学出版社, 1988, 205~225
4. 张莹. 运筹学基础. 北京: 清华大学出版社, 1995, 133~134
5. 赵瑞安, 吴方. 非线性最优化理论和方法. 浙江: 浙江科学技术出版社, 1992
6. 潘学标, 蒋国柱. 高产优质棉花的生长发育模拟模型. 见: 作物生产计算机调控系统的研究, 北京农业大学农业系统工程室主编. 北京: 北京农业大学出版社, 1990
7. 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 1983