

基于生长类型的棉花不同果枝产量贡献率的模拟模型研究

陈溪源¹,朱淼良¹,陈金湘^{2*}

(1. 浙江大学计算机学院, 杭州 310027; 2. 湖南农业大学棉花研究所, 长沙 410128)

摘要:在 2004—2005 年对湖南省华容县、安乡县、大通湖区和澧县的杂交抗虫棉生长状况进行大田调查的基础上,系统分析了不同生长发育类型棉花果枝产量构成的特点和产量贡献率,构建了基于不同生长发育类型的棉花果枝产量贡献率分布的指数递减曲线、右偏态、左偏态和正态单峰曲线,以及双峰曲线和波动曲线 6 个模拟模型。2006—2009 年在四县以及湖南农业大学进行了模型校验的小区试验,根据多年多点小区试验数据对不同果枝产量贡献率分布的模拟模型进行了校正和检验,使得模型与生长类型匹配较好,各模型的模拟值与观测值的符合度良好, RMSE 值较小,在 0.3419~0.7092 之间,模型具有较好的精准性和适应性。

关键词:棉花;生长发育类型;果枝;产量贡献率;模拟模型

中图分类号:S562 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2010)04-0326-07

Simulation Model for Percentage of Total Yield by Fruiting Branch Based on Different Growth and Development Type of Cotton

CHEN Xi-yuan¹, ZHU Miao-liang¹, CHEN Jin-xiang^{2*}

(1. College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China; 2. Institute of Cotton, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract:Field investigation was conducted in Huarong County, Anxiang County, Datonghu District and Li County of Hunan Province from 2004 to 2005 to analyze the characteristic of yield constitution and the percentage of total seed-cotton yield by fruiting branch according to different types of growth and development of transgenic hybrid cotton. The different growth and development types were studied and classified into normal type, early-development and early-aging, early-development and early-maturing, late-development and late-maturing, two phase-growth. Six simulation models of percentage of total yield by fruiting branch corresponding to the different growth type were developed. Six simulation models were exponential-decrease, positive-skewness, negative-skewness, normal-distribution, double-peak and fluctuation-distribution, respectively. Test plots were conducted to study different growth and development types in the four counties and Hunan Agricultural University from 2006 to 2009. Models were validated by the data collected from test plots in different survey sites in different years. Models matched the different growth and development types well, and the simulated values agreed well with the observed values. The result showed that the model was accurate and applicable under different conditions, with the root mean square errors (RMSE) between simulated and observed values of the six simulation models varied from 0.3419 to 0.7092.

Key words: cotton; growth type; fruiting branch; percentage of total yield; simulation model

栽培陆地棉品种具有无限生长习性和株型可控性,在不同的生态环境和栽培条件下可形成不同的生长发育类型,大体上可分为正常型、早发早衰型、早发早熟型、迟发迟熟型、二次发育型等 5 种类型。不同生长发育类型棉株各果枝成铃数和产量贡献率存在差异^[1]。对棉花果枝成铃的

研究,主要包括果枝成铃的时空分布和蕾铃脱落情况,如按时间序列将棉株的成铃划分为伏前桃、伏桃和秋桃;按着生部位将棉株上的果枝分为上、中、下 3 个部位,或者分为内围铃和外围铃^[2]。而对不同果枝产量贡献率 (percentage of total yield by fruiting branch, PTYFB) 的研究较少。在

收稿日期:2009-12-23 作者简介:陈溪源(1982-),女,在读博士生;* 通讯作者,jinxiangc@163.com

基金项目:863 计划(2003AA0110010138);棉花栽培生理生态行业计划(南京)

模型研究方面,对棉花形态发生规律、干物质积累、光合生理、营养生理和蕾铃脱落率等方面进行了许多研究^[5-14],但基于不同果枝产量贡献率分布规律的模型研究未见报道。Fred 等虽然从最小成本生产的角度讨论了果枝贡献率的问题^[15],但没有涉及到不同生长类型,也未建立相应模型。因此,本文试图通过大田调查、多年多点小区模拟试验系统分析不同生长发育类型棉花果枝产量构成特点和产量贡献率的分布,建立棉花果枝产量贡献率分布的模拟模型,探明棉花果枝产量分布的基本规律,为棉花高产高效栽培提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 数据采集

1.1.1 大田调查。2004—2005 年对湖南省华容县、安乡县、大通湖区和澧县的杂交抗虫棉生长状况进行大田调查,采集不同生长发育类型棉株果枝产量贡献率分布的信息。调查品种有农杂 62、金农棉 1 号、湘杂棉 3 号和中棉所 48。调查时间为每年的 9 月下旬到 10 月上旬。根据棉花大田生长发育状况,选取生长发育的正常型、早发早衰型、早发早熟型、迟发迟熟型、二次发育型 5 种类型的典型丘块,调查果枝数和各果枝的成铃数。果枝的编号规则为:以主茎上着生在最下部的果枝为第一果枝,随主茎节位上升由下至上依次编号(下同)。调查田块密度为 1.5 万~1.82 万株·hm⁻²,每块田调查面积在 0.1 hm² 以上。按 5 点取样法调查,每点调查 2 行,每行连续调查 10 株。成铃计数规则为:当幼铃的直径≥2 cm 时,按 1 个成铃计算,当幼铃直径<2 cm 时,3 个幼铃折算为 1 个成铃。在调查田随机采摘 100 个棉铃,晒干后称重,计算平均单铃子棉重,再根据各果枝的成铃数和单铃子棉重获得理论产量,以及不同果枝的产量贡献率(%)。为了确保调查丘块的典型性,各县只调查 2 种类型,其中一种为正常生长发育型,另一种为各县最具代表性的生长发育类型。华容县、安乡县、大通湖区和澧县的调查类型分别为二次发育型、早发早衰型、迟发迟熟型和早发早熟型。

调查资料采用 Microsoft Excel 电子表格软

件和 SAS 统计软件进行统计分析。利用统计分析后的数据建立不同生长发育类型棉株果枝产量贡献率分布的初始模型。

1.1.2 小区试验。在大田调查结果的基础上,于 2006—2009 年在各调查点模拟生长类型进行田间小区试验,试验设计方案见表 1。

表 1 不同试验地点试验方案表

Table 1 Design of experiments in different experimental sites

试验地点	生长发育类型			试验品种
华容县	正常	二次发育	—	湘杂棉 3 号
安乡县	正常	早发早衰	—	中棉所 48
大通湖区	正常	迟发迟熟	—	金农棉 1 号
澧县	正常	早发早熟	—	农杂 62
湖南农业大学	正常	二次发育	迟发迟熟	金农棉 1 号

华容县、安乡县、大通湖区、澧县各试验点的小区面积为 66.7 m²,3 次重复,相间排列,密度为 1.5 万~1.82 万株·hm⁻²。正常型按湖南省 2006 栽培技术标准(DB43/T286-2006)进行栽培管理;二次生长发育型采用提早播种(3 月下旬播种)、保温育苗、早施肥、地膜覆盖促进早发,两段施用花铃肥,6 月底、8 月初各施一次,分别各占 50%,促进第二次生长;其余生长发育类型均模仿调查点的生长环境,套用调查点的栽培管理,通过调节肥、水供应建立与调查点相符合的生长发育类型。湖南农业大学试验点设在校内科研基地,土壤肥力中等偏上,小区面积为 30 m²,3 次重复,随机区组排列,密度为 1.8 万株·hm⁻²。通过育苗移栽、肥水运筹、化学调控和打顶整枝等方法予以调控,建立棉花 3 种生长发育类型的小区试验。

8 月下旬至 11 月中旬,分别于第 4、8、12、16、20、24 果枝第一果节吐絮时,按果枝采摘棉铃。每小区采收 4 行,每行连续采收 10 株,3 次重复。采摘时将铃壳一同采回,晒干后称重,统计各果枝的成铃数和子棉产量,分析棉株不同果枝产量贡献率的分布,修正和检验初始模型。

1.2 建模及检验

大田调查资料用于构建不同生长发育类型棉株果枝产量贡献率分布的模拟模型,小区试验数据用于模型的测试和校验。对采集的数据进行 LSD 检验,重复间无显著差异后,取 3 次重复的平均值建立果枝产量贡献率分布的数学模型,采

用最小二乘法和试错法等确定模型参数,通过协方差分析检验模型的显著性。

根据大田调查的数据资料建立不同果枝贡献率分布的模拟模型后,采用小区试验的观测结果来对模型进行校验^[6],若模型的模拟值与观测结果存在偏差,则采用反复迭代法调整模型参数,直至模拟值与观测结果相吻合。

利用建立的数学模型经迭代系统拟合运算获得不同生长发育类型棉株果枝产量贡献率分布的拟合结果,用标准化均方根差 *RMSE* (root mean square error, *RMSE*)评价模型模拟值与实测值的符合度。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}$$

其中, OBS_i 为观察值, SIM_i 为模拟值, M 为样本容量。

RMSE 值越小,则模拟值与实测值的一致性越好,表明模型的预测精确度高。

2 结果与分析

2.1 不同生长发育类型棉株果枝产量贡献率分布的特点

大田调查结果表明,果枝产量贡献率的分布曲线与生长发育类型相匹配的有以下 6 种类型(图 1):分别为负指数曲线、右偏态单峰曲线、左偏态单峰曲线、正态单峰曲线、双峰曲线和波动曲线。1)早发早衰型。棉株果枝产量贡献率分布为负指数曲线,最下部的果枝贡献率最大,随着果枝着生节位的上升而下降,到中部果枝后下降趋缓。调查中发现这种类型的棉花前期生长旺盛,棉株开花结铃后肥水严重匮乏,中上部果枝发育不良,果枝短、果节少、成铃率低,一般有效果枝数不超过 20 个。安乡县 2004—2009 年有近 20% 的棉田出现了这种现象。2)早发早熟型。果枝产量贡献率的分布符合右偏态单峰曲线。这种类型表现为随着果枝在主茎上着生节位的上升果枝产量贡献率增大,上升到果枝总数的 30%~40% 时出现峰值,随后下降。该类型前期生长发育稳健,盛花期后开始衰退,单株有效果枝数 20~23 个。多属于花铃肥施用量不够或花铃肥比例过小。3)迟发迟熟型。果枝产量贡献率的分布

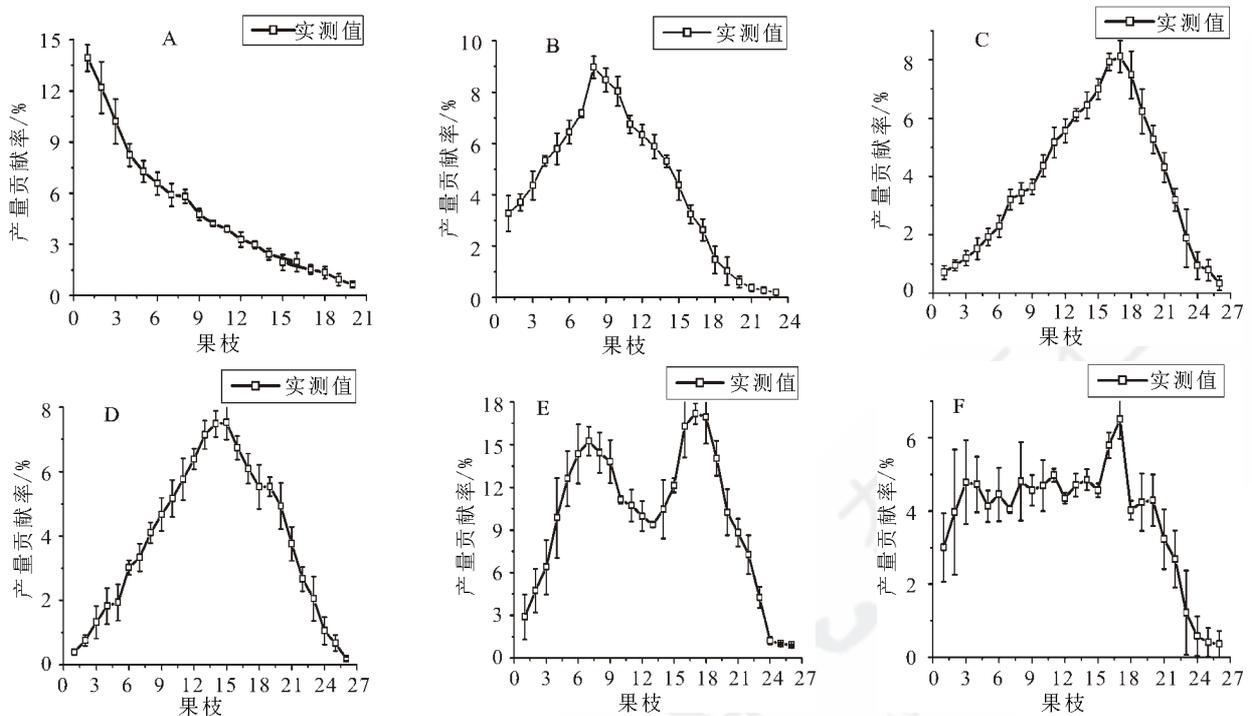
符合左偏态单峰曲线,表现为随着果枝在主茎上着生节位的上升果枝产量贡献率增大,上升到果枝总数的 60% 以上时,才出现峰值。这种类型苗、蕾期生长缓慢,大暑以后才进入盛花期,成熟期偏迟。一般是由苗、蕾期肥水不够,花铃期后肥水过量所引起的。4)正常型。果枝产量贡献率的分布符合正态单峰曲线,这种类型表现为随着果枝在主茎上着生节位的升高,果枝产量贡献率增大,上升到果枝总数的 50% 左右时,出现峰值。这种类型生长发育稳健,不早衰,不贪青晚熟,棉株上中下三个部位的果枝成铃率高,分布均匀。5)二次生长发育型。果枝产量贡献率的分布符合双峰曲线,这种类型表现为果枝产量贡献率的分布有两个峰,第一个峰出现在主茎中部偏下,一般为第 6~8 个果枝,第二个峰出现在上部第 16~18 个果枝,在中部第 11~13 个果枝产量贡献率最低。该类型发育早,前期生长发育旺盛,中期脱力衰退,在后期遇充足的肥水,生长发育转旺,形成第二次结铃高峰。调查中发现这种类型大多属于播种较早的地膜移栽棉,一般 6 月中旬始花,7 月上旬进入盛花期,单果枝产量贡献率 7 月底达到第一个高峰。随后生长发育开始衰退,单果枝产量贡献率减少,至 8 月上旬跌入低谷,随后开始上升,9 月初形成第二个高峰,接着又开始急剧下降。6)波动型。果枝产量贡献率的分布表现为随着果枝在主茎上着生节位的上升果枝的产量贡献率增大,并很快上升到一个较高的水平,随后进入波动阶段,形成多个峰,到顶部几个果枝产量贡献率逐步下降。这种类型属于正常生长发育类型,其生育期长,有效果枝数多,一般可达 26 个左右,从中下部到中上部果枝产量的贡献率在高位波动,形成多峰曲线。

2.2 模型的描述

2.2.1 指数递减曲线模型。该类型的果枝贡献率初始值最大,随着果枝节位的升高迅速衰减,符合指数函数曲线特征。因此,指数递减曲线型的果枝贡献率分布可拟合为负指数函数模型(1):

$$ED_PTYFB(FB) = EDa \times EXP(-EDb \times FB) \quad (1 \leq FB \leq 20) \quad (1)$$

式(1)中, FB 为果枝着生在主茎节位上的编号,从主茎果枝始节起进行顺序编号(下同);



A. 指数递减曲线; B. 右偏态单峰曲线; C. 左偏态单峰曲线; D. 正态单峰曲线; E. 双峰曲线; F. 波动曲线。

图 1 果枝产量贡献率分布

Fig.1 Different types for distribution of percentage of total yield by fruiting branch

$ED_PTYFB(FB)$ 定义为指数递减(exponential decrease, ED)曲线分布中第 FB 果枝的产量贡献率; EPX 表示以 e 为底的指数函数。田间调查和小区试验表明,指数递减曲线型的有效果枝数一般少于 20 个,因此 FB 的有效取值范围为第 1 果枝到第 20 果枝。 EDa , EDb 为方程系数,通过对大田调查的数据分析, EDa 和 EDb 分别取值为 15.5049 和 -0.1352。

2.2.2 右偏态单峰曲线模型。基于右偏态单峰曲线型的曲线趋势,可采用二次曲线来进行拟合。但由于峰值显著偏左,频数向右拖尾,两侧不对称,根据多项式方程的拟合原理,拟合为一元三次回归模型(2):

$$PS_PTYFB(FB) = PSa + PSb \times FB + PSc \times FB^2 + PSd \times FB^3 \quad (1 \leq FB \leq 22). \quad (2)$$

式(2)中, $PS_PTYFB(FB)$ 定义为右偏态单峰(positive skewness, PS)曲线分布中第 FB 果枝的产量贡献率。 FB 的有效取值范围为第 1 果枝到第 22 果枝。方程系数 PSa , PSb , PSc 和 PSd 分别取值为 0.0191、2.1909、-0.1861 和 0.0039。

2.2.3 左偏态单峰曲线模型。与右偏态单峰曲线类似,左偏态单峰曲线拟合为一元三次回归模型

(3):

$$NS_PTYFB(FB) = NSa + NSb \times FB + NSc \times FB^2 + NSd \times FB^3 \quad (1 \leq FB \leq 25). \quad (3)$$

式(3)中, $NS_PTYFB(FB)$ 定义为左偏态单峰(negative skewness, NS)曲线分布中第 FB 果枝的产量贡献率。 FB 的有效取值范围为第 1 果枝到第 25 果枝。方程系数 NSa , NSb , NSc 和 NSd 分别取值为 0.2383、0.1566、0.0535 和 -0.0024。

2.2.4 正态单峰曲线模型。正态单峰曲线型采用二次曲线来进行拟合,拟合为一元二次回归模型(4):

$$ND_PTYFB(FB) = NDa + NDb \times FB + NDc \times FB^2 \quad (2 \leq FB \leq 25). \quad (4)$$

式(4)中, $ND_PTYFB(FB)$ 定义为正态单峰(normal distribution, ND)曲线分布中第 FB 果枝的产量贡献率。因正态单峰曲线型下部第 1 果枝平均成铃数少于 1,贡献率过低,经校正, FB 的有效取值范围为第 2 果枝到第 25 果枝。方程系数 NDa , NDb 和 NDc 分别取值为 -2.1175、1.2296 和 -0.0446。

2.2.5 双峰曲线模型。双峰曲线型的果枝产量贡献率分布有两个高峰。根据多项式方程的拟合原

理, 需采用4阶以上的曲线方程来进行模拟, 为避免多项式拟合产生病态, 采取分段低次拟合。双峰曲线型的果枝贡献率分布可用分段函数(5)来动态模拟:

$$\begin{cases} DP_PTYFB(FB) = DP_{a_1} + DP_{b_1} \times FB + DP_{c_1} \times FB^2 + DP_{d_1} \times FB^3 & (1 \leq FB \leq 12) \\ DP_PTYFB(FB) = DP_{a_2} + DP_{b_2} \times FB + DP_{c_2} \times FB^2 + DP_{d_2} \times FB^3 & (13 \leq FB \leq 26) \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, $DP_PTYFB(FB)$ 定义为双峰(double peaks, DP)曲线分布中第 FB 果枝的产量贡献率。 FB 的有效取值范围为第1果枝到第26果枝。分段函数1的方程系数 DP_{a_1} 、 DP_{b_1} 、 DP_{c_1} 和 DP_{d_1} 分别取值为-0.7292、1.5416、-0.0842 和 -0.0012。分段函数2的方程系数 DP_{a_2} 、 DP_{b_2} 、 DP_{c_2} 和 DP_{d_2} 分别取值为-116.6454、18.7996、-0.9266 和 0.0145。

2.2.6 波动曲线模型。波动曲线型的果枝产量贡献率很快上升到一个较高的水平, 随后进入波动阶段, 形成多个峰, 到顶部几个果枝产量贡献率逐步下降。此类型贡献率的变化较难采用常规曲线回归方程进行拟合, 尝试采用二次曲线方程来

进行模拟。波动曲线型的果枝贡献率分布拟合为一元二次回归模型(6):

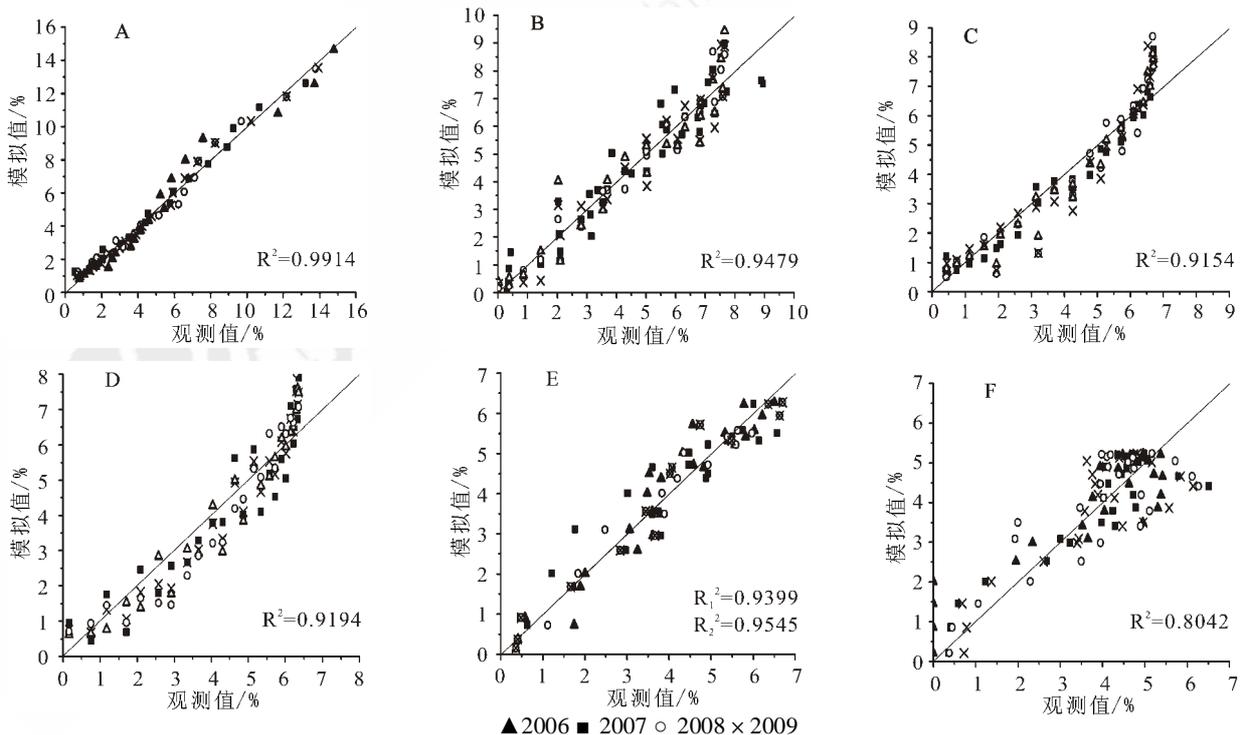
$$F_PTYFB(FB) = Fa + Fb \times FB + Fc \times FB^2 \quad (1 \leq FB \leq 26). \quad (6)$$

式(6)中, $F_PTYFB(FB)$ 定义为波动型(Fluctuation, F)分布中第 FB 果枝的产量贡献率。 FB 的有效取值范围为第1果枝到第26果枝。方程系数 Fa 、 Fb 和 Fc 分别取值为 2.6290、0.4782 和 -0.0220。

2.3 模型的检验

2.3.1 模型的显著性检验。对6种模型进行回归方程显著性检验, 模型决定系数 R^2 指数递减型为 0.9896, 右偏态单峰型为 0.9479, 左偏态单峰型为 0.9154, 正态单峰型为 0.9194, 双峰型为 0.9399、0.9545, 波动型为 0.8042, 回归方程达极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.3.2 模型的拟合度检验。以小区试验的数据检验6种模型的拟合度, 并做出模拟值与观测值的1:1关系图(图2)。结果表明6种生长发育类型的果枝模拟值和观测值之间具有较好的一致性和符合度。指数递减型、右偏态单峰型、左偏态单峰型、正态单峰型、双峰型和波动型的 $RMSE$ 值



A.指数递减型分布(n=80);B.右偏态单峰型分布(n=88);C.左偏态单峰型分布(n=100);D.正态单峰型分布(n=100); E.双峰型分布(n=104);F.波动型分布(n=104)。

图2 不同类型产量贡献率分布的模拟值与观测值间的比较

Fig.2 Comparison of simulated with observed values

分别为:0.3419、0.6188、0.7092、0.6651、0.4234 和 0.6906 ($P \geq 0.99$),模型的预测精确度高。

3 结论与讨论

试验模型是依据棉花生长发育类型的典型丘块构建的,要获得重复性好的试验结果和适应性好的模型,需进行多年多点小区模拟试验,通过多次重复试验,反复修正和校验模型参数,才能应用于生产模拟和预测。

左偏态三次曲线回归模型、右偏态三次曲线回归模型和正态二次曲线回归模型均属于单峰曲线回归模型,果枝产量贡献率在高峰段模拟值与观察值有一定的差异,说明果枝产量贡献率峰值的出现存在不稳定性,这与生产实际情况的多变性是一致的。另外,波动曲线型是棉花生产中最普遍的一种类型,但难以建立适应性好、精确度高的回归模型,虽然采用 LOWESS 稳健回归法可拟合出理想的变化曲线,获得高度相关的 R^2 值,但却无法获得可靠性好的模型参数^[17]。本文将拟合为二次曲线模型,尽管模型的决定系数 R^2 达显著水平,但与其它类型相比,模型的精准性有待进一步提高。

棉花是长生育期作物,特别是开花结铃时间可长达 90 d 以上,受栽培因子和环境因子的共同影响,可形成果枝产量贡献率分布的多种类型。而本研究仅根据常见的生长发育类型,建立了棉花不同果枝产量贡献率分布的 6 个数学模型,这些模型远不能涵盖生产中出现的多种生长发育类型,因而,其它类型果枝产量贡献率分布的数学模型有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1983: 337-359.
Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agriculture Science. Cotton culture science in China[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983: 337-359.
- [2] 陈金湘. 棉铃形成过程中花器形态量变规律的研究[J]. 棉花学报, 2002, 14 (4) : 204-208.
CHEN Jin-xiang. Studied on floral organ quantitative change rules in progressive development of cotton boll[J]. Cotton Science, 2002, 14(4): 204-208.
- [3] 华鹤良, 陈德华, 周桂生, 等. 转 Bt 基因抗虫棉杂交种成铃分布及棉铃发育动态的研究[J]. 扬州大学学报:自然科学版, 1999, 2(3):51-53.
HUA He-liang, Chen De-hua, Zhou Gui-sheng, et al. The studies on the boll retained distribution and development of BT transgenic cotton hybrid[J]. Journal of Yangzhou University: Natural Science Edition, 1999, 2(3):51-53.
- [4] 刘爱玉, 陈金湘, 张志刚, 等. 栽培因子对抗虫杂交棉棉铃形成时空分布的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2004, 30(1):9-13.
LIU Ai-yu, Chen Jin-xiang, Zhang Zhi-gang, et al. Effects of cultural factors on spatio-temporal distribution of bolls in boll worm-resistant hybrid cotton[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2004, 30(1):9-13.
- [5] 马富裕, 曹卫星, 张立贞, 等. 棉花生育时期及蕾铃发生发育模拟模型研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4):626-630.
MA Fu-yu, Cao Wei-xing, Zhang Li-zhen, et al. A physiological development time-based simulation model for cotton development stages and square and boll formation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (4) :626-630.
- [6] MCKINION J M. Application of the GOSSYM/ COMAX system to cotton crop management[J]. Agricultural System, 1989, 31:55-65.
- [7] JALLAS E, Martin P, Sequeira R, et al. Virtual cottons, the firstborn of the next generation of simulation model [J]. Virtual World, 2000, 1834: 235-244.
- [8] HANAN J S, Hearn A B. Linking physiological and architectural models of cotton[J]. Agricultural System, 2003, 75:47-77.
- [9] 陈兵林, 曹卫星, 周治国. 棉花单铃干物质积累分配的分期动态模拟及检验[J]. 中国农业科学, 2006, 39(3):487-493.
CHEN Bing-lin, Cao Wei-xing, Zhou Zhi-guo. Simulation and validation of dry matter accumulation and distribution of cotton bolls at different flowering stages[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(3):487-493.
- [10] 罗宏海, 李俊华, 勾玲, 等. 膜下滴灌对不同土壤水分棉花花铃期光合生产、分配及子棉产量的调节[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7):1955-1962.
LUO Hong-hai, Li Jun-hua, Gou Ling, et al. Regulation of under-mulch-drip irrigation on production and distribution of photosynthetic assimilate and cotton yield under different soil moisture contents during cotton flowering and boll-setting stage [J]. Scientia Agricultura Sinica. 2008, 41(7):1955-1962.
- [11] 张立贞, 曹卫星, 张思平, 等. 棉花蕾铃生长发育和脱落的模拟研究[J]. 作物学报, 2005, 31(1):70-76.
ZHANG Li-zhen, Cao Wei-xing, Zhang Si-ping, et al. A simulation model for boll growth, development and abscission in cotton[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(1):70-76.
- [12] 张立贞, 曹卫星, 张思平, 等. 棉花形态发生和叶面积指数的

- 模拟模型[J]. 棉花学报,2004,16(2): 77-83.
- ZHANG Li-zhen, Cao Wei-xing, Zhang Si-ping, et al. A simulation model for morphogenesis and LAI in cotton[J]. Cotton Science, 2004, 16(2): 77-83.
- [13] 蔡红涛,汤一卒,刁品春,等. 棉花花铃期土壤持续干旱胁迫对产量形成的调节效应[J]. 棉花学报,2008,20(4):300-305.
- CAI Hong-tao, Tang Yi-zu, Diao Pin-chun, et al. Regulating effects of soil progressive drought on yield of cotton during blooming and bolling periods [J]. Cotton Science, 2008, 20(4): 300-305.
- [14] 马溶慧,许乃银,张传喜,等. 氮素水平对棉铃干物质分配和纤维品质性状的影响[J]. 棉花学报,2009,21(2):115-120.
- MA Rong-hui, Xu Nai-yin, Zhang Chuan-xi, et al. Effects of nitrogen rates on dry matter accumulation and distribution of bolls and fiber quality characteristics in cotton [J]. Cotton Science, 2009, 21(2): 115-120.
- [15] FRED T C, David W P. Minimizing cost of production per pound: the law of diminishing returns and price [C]// Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, 2000:12-14.
- [16] MAAS S J. Parameterized model of gramineous crop growth:II. Within-season simulation calibration[J]. American Society of Agronomy, 1993,85:354-358.
- [17] 张 萌,黄思静,谢国刚,等. LOWESS 在锶同位素地层学中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2004,26(2):1-5.
- ZHANG Meng, Huang Si-jing, Xie Guo-gang, et al. Application of LOWESS fit to strontium isotope stratigraphy [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004,26(2):1-5. ●

中国棉花杂志
China Cotton Magazine

