

棉纤维主要品质性状的气象生态模型研究

赵文青, 任晓明, 张丽娟, 孟亚利, 王友华, 陈兵林, 周治国*

(南京农业大学, 农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)

摘要:通过分析 1994—1995 年在陕西杨陵和山东的鄄城、泰安、东营以及 2001—2002 年在长江流域棉花品种试验区域进行的试验资料,在不考虑土壤、栽培调控等因素的前提下,确定棉花铃期日均最低温、日均最高温和相对湿度、夜均温和日均降水量分别是影响棉纤维长度、比强度、麦克隆值的关键气象因子,并建立了基于铃期关键气象因子对棉纤维长度、比强度和麦克隆值的气象生态模型。上述模型既强调了遗传性对棉纤维品质性状的决定作用,也体现了气象生态因子的作用。棉纤维长度、比强度和麦克隆值气象生态模型 RMSE 分别为 0.985 mm、1.003 cN·tex⁻¹ 和 0.233,模拟值与观测值 1:1 直方图吻合度好,模型具有较好的预测性。

关键词:棉花;纤维;品质;模型

中图分类号:S562.035.3

文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2008)02-0116-07

Study on the Key Meteorologic Factors-Based Model for Main Characters of Cotton Fiber Quality

ZHAO Wen-qing, REN Xiao-ming, ZHANG Li-juan, MENG Ya-li, WANG You-hua, CHEN Bing-lin, ZHOU Zhi-guo*

(Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China)

Abstract: Cotton fiber length, strength and micronaire are the main quality characters determined by cultivar characteristics, environment and cultivation, and could be used to making sure cotton fiber quality. The objective of this research was to determine the effects of meteorology on fiber properties of cotton and found key meteorologic factors-based model of fiber length, strength and micronaire. Experiments were random block design with three replications with different cultivars and conducted in different places. Data was collected from 1994—1995 in Shanxi and Shandong province which use three cultivars, and from 2001—2002 in 37 places including cotton variety test region of the Yangtze river, Shanxi and Shandong province which involves 20 cultivars. All experiments are the same in treatments so that experimental errors of soil and environment can be reduced. Based on known research achievement in relationship of cotton fiber quality and cultivars and meteorologic factors, by analyzing experimental data above, the key meteorology factors which significantly affected fiber length, strength, micronaire was determined. The results showed that fiber length was significantly affected by daily average minimum temperature during bolling stage, and so as fiber strength was daily average maximum temperature and relative humidity, and fiber micronaire was daily night temperature and daily average precipitation, respectively. Then, key meteorologic factors-based models of fiber length, strength and micronaire were set up, respectively. These non-linear models calculate both

收稿日期:2007-09-30 **作者简介:**赵文青(1984-),女,硕士; *通讯作者, giscott@njau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771277)

quality of cultivar variables (fiber length, strength, micronaire) and environmental variables (temperature, solar radiation, relative humidity). The RMSE (Root Mean Square Error) of key meteorologic factors-based models of fiber length, strength and micronaire were 0.985 mm, 1.003 cN · tex⁻¹ and 0.233, respectively. Meanwhile, the 1:1 figs of simulated and observed fit well. All results showed that the models could make good prediction. Furthermore, compared to existing models, these models was proved the best in not only emphasizing conclusive effects of cultivar characters but also embodying influence of meteorologic factors on the main cotton fiber quality characters. Finally, the conceptual limits of the models are discussed.

Key words: cotton; fiber; quality; model

衡量棉纤维品质的重要指标有纤维长度、比强度和麦克隆值,三者对环境的敏感性不尽相同,众多学者的研究结论也不统一。纤维长度通常被认为主要由品种遗传性决定,受环境影响较小^[1-6];但也有研究认为纤维长度受环境尤其是铃期温度的显著影响^[7-8],如 Kelly 和 Car 研究发现,棉纤维伸长随温度由 21.8℃ 降至 14.7℃ 时而减慢^[9],因此认为棉纤维伸长最低温度不能低于 14.7℃。国内学者如马富裕认为日均温在 25.4℃ 时,棉纤维长度达到最长^[10],单世华等认为夜均温对棉纤维伸长的影响更大^[11],周治国则认为日照时数、夜均温和相对湿度均对纤维长度有影响^[12]。纤维比强度是对环境变化较为敏感的指标^[13-14],铃期积温、夜均温等被认为是影响纤维比强度的关键气象因子^[5, 7, 15-16]。麦克隆值是反映纤维细度与成熟度的综合指标,受环境影响较大。马富裕研究认为,铃期 $\geq 15^\circ\text{C}$ 有效积温和最高温度与麦克隆值成正比,增加日均温和延长日照时数导致麦克隆值下降,较高的夜均温可提高麦克隆值^[10],Haigler 和 Junaedi 等认为日均温低于 21℃ 时将导致麦克隆值下降,甚至低于 3.5^[4-6]。若以 3.5~4.9 为商业可接受的麦克隆值,对应的最低夜温为 10.7~21.3℃^[10],这与 Gipson 和 Davidonis 等研究结果基本一致^[18-19]。

棉纤维品质模型的研究概括起来主要有三种观点:一是不考虑气象因子的影响,建立纤维品质与品种遗传参数的关系模型^[5];二是不考虑品种遗传性的影响,建立环境因子对纤维品质的影响模型,如回归模型^[1, 20]、积分回归模型^[12, 21];三是同时考虑品种遗传参数和环境因子而建立的非线性模型^[4, 17, 22-23]。回归模型是以棉纤维品质性状值为因变量、以环境因子为自变量的模型,模型机理性不强,即使选用同一自变量,在不同的模型中回归系数也不一样,影响了模型的广适性和实用

性;但回归模型能充分考虑多种环境因子的综合作用,在实际工作中多被采用。非线性模型在实际工作中运用较少,但模型机理性较强,形式灵活多样,可以较大程度考虑如品种遗传特性、环境因子、栽培调控等多种参数对棉纤维品质的影响,具有较强的预测性和解释性。本文基于前人研究和多年多点多品种试验,旨在进一步明确影响棉纤维品质性状的关键气象因子,建立实用性、机理性和预测性兼顾的棉纤维品质气象生态模型。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验 1:选用中熟品种鲁棉 14 号、中早熟品种中棉所 17、早熟品种中棉所 16 为代表品种,于 1994—1995 年在陕西杨陵和山东的鄄城、泰安、东营进行。

试验 2:选择南抗 6 号、南优 3 号、湘 Z2084、九杂 4 号、宁杂 602 等 20 个品种(系),于 2001—2002 年在长江流域棉花品种试验区域南京、南通、盐城、慈溪、安庆等 37 个试点(次)进行。

各试点采取统一的试验设计以减少非气候因子对棉纤维品质形成的影响,各处理随机排列,重复 3 次。同时采取测土足量施肥减少土壤因素的干扰,其它管理均按高产栽培要求进行。待棉花吐絮后集中分收各试验点、各处理小区棉株中部(6~8 果枝)第 1,2 果节单铃各 50 个,各试点所有子棉样品统一风干,统一轧花后,取纤维样品用 HVI900 型大容量纤维测试仪测定纤维上半部平均长度、比强度和麦克隆值等。

1.2 分析方法

数据分析采用 Excel、通径分析、逐步回归等方法,统计分析用 SPSS11.5 完成,模型拟合用 SAS10.0 软件。

1.3 模型检验

模型检验包括模型的校正(calibration)和模型的核实(validation)。校正是调节模型的参数,核实采用均方差根(Root Mean Square Error, RMSE),主要对模拟值与观测值之间的符合度进行统计分析。RMSE值越小,模型的预测精度越高。用观测值与模拟值之间1:1关系的直方图直观显示模型的拟合度和可靠性。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{N}}$$

式中, O_i 、 S_i 、 N 分别表示观测值、模拟值和样本容量。

2 结果与分析

2.1 棉纤维主要品质性状的变异分析

对试验2中棉纤维主要品质性状随试点、年份和品种间的变异进行方差分析,结果表明(表1),麦克隆值的变异系数最大,比强度次之,纤维长度最小。在引起棉纤维品质性状变异的因子中,试点的主效应最为明显,各性状在不同试点间的差异均达到极显著水平;年份间差异除长度外,均达显著或极显著水平;品种间差异各性状也均达极显著水平。说明棉纤维品质性状除受品种遗传性的影响外,还受到环境的强烈作用,年份间纤维品质的差异可能主要是气象因子的不同造成的。

表1 棉纤维主要品质性状的变异分析

Table 1 Variance analysis of cotton fiber quality characters

纤维品质性状	变异系数	F值		
		试点间	品种间	年份间
长度/mm	4.812	6.24**	6.87**	3.43
比强度/(cN·tex ⁻¹)	8.189	9.06**	18.4**	24.17**
麦克隆值	9.021	7.01**	4.51**	20.22**

注:试点间:n=37, $F_{0.05}=1.48$, $F_{0.01}=1.69$;年份间:n=2, $F_{0.05}=3.89$, $F_{0.01}=6.76$;品种间:n=20, $F_{0.05}=1.62$, $F_{0.01}=1.97$ 。*和**分别表示在0.05和0.01水平上差异显著,下同。

2.2 棉纤维主要品质性状与铃期气象因子的关系

棉纤维品质形成和变化是多个气象生态因子综合作用的结果,利用试验1中资料,引入铃期日均温、日均最高温、日均最低温、日均昼温、日均夜温、日均降水量、降水日数、平均日照时数、平均相对湿度(分别用 X_1 、 X_2 …… X_9 表示)共9个涉及到温、光、水的气象因子,采用通径分析方法,将各因子效应从

复合结果中分离出来(表2)。表2中棉花铃期不同气象因子与纤维品质性状之间的通径系数结果显示(贡献率由大到小排列):纤维长度依次为日均昼温、日均最高温和日均最低温,比强度依次为日均最高温、日均降水量和日均最低温,麦克隆值依次为日均降水量、日照时数和夜均温。

表2 棉花铃期不同气象因子与纤维品质性状之间的相关系数和通径系数

Table 2 Correlation coefficients and direct path coefficients between the main fiber quality characters and different meteorological factors during flowering and boll-setting stages

	长度		比强度		麦克隆值	
	P	r	P	r	P	r
日均温	-0.085	0.459**	-0.041	0.286**	-0.188	0.258**
日均最高温	-0.707	0.355**	0.247	0.588**	-0.023	0.228**
日均最低温	0.373	0.539**	0.171	0.299**	-0.007	0.298**
日均昼温	0.762	0.434**	0.010	0.302**	-0.155	0.244**
日均夜温	0.020	0.476**	-0.010	0.289**	0.517	0.366**
日均降水	0.256	0.516**	-0.270	-0.714	0.661	0.329**
降水日数	-0.209	0.406**	-0.141	0.278**	-0.418	0.135
日照时数	0.139	0.259**	0.013	0.555**	0.594	0.003
相对湿度	-0.116	-0.308**	-0.559	-0.607**	0.490	0.018

注:P为通径系数,r为相关系数。n=236, $P_{0.05}=0.138$, $P_{0.01}=0.181$,下同。

进一步对棉纤维长度、比强度、麦克隆值与以上气象因子进行逐步回归分析的结果表明(表3):在众多影响纤维长度的气象因子中,仅日均最

低温达到极显著水平;影响纤维比强度的关键气象因子是相对湿度和日均最高温;影响麦克隆值的关键气象因子是夜均温。

表 3 棉纤维主要品质性状与铃期气象因子的逐步回归分析

Table 3 Stepwise regression analysis of the relationship between main cotton fiber quality characters and meteorological factors

纤维品质性状	模型	R ²	标准误差
长度	Len = 20.687 + 0.496X ₃	0.539**	1.106
	或 Len = 29.167 + 0.46X ₃ - 0.0913X ₉	0.580**	1.072
比强度	Str = 45.927 - 0.308X ₉	0.607**	1.261
	或 Str = 32.037 - 0.303X ₉ + 0.475X ₂	0.662**	1.193
麦克隆值	Mic = 2.051 + 0.0981X ₅	0.366**	0.361

注: n=236, F_{0.05}=1.98, F_{0.01}=2.60; P_{0.05}=0.138, P_{0.01}=0.181。

综合表 2 和表 3 的结果,考虑到气象因子之间存在相关性,确定影响棉纤维长度、比强度、麦克隆值的关键气象因子分别为日均最低温、日均最高温和相对湿度、夜均温和日均降水量。

2.3 棉纤维主要品质性状气象生态模型的构建

2.3.1 纤维长度。1) 模型构建。棉纤维最终长度主要决定于品种的遗传特性,在建立纤维长度模型时,引入纤维长度增长指数,表达式为:

$$LENI = \frac{LEN_o}{LEN_s}$$

式中,LENI:纤维长度增长指数,LEN_o:纤维长度的观测值,LEN_s:品种纤维长度(品种遗传参数)。

利用试验 1 中 1994 年资料,建立纤维长度的气象生态模型为:

$$\begin{cases} LEN = LEN_s \times LENI \\ LENI = 0.049 \times \sin(0.767 \times PMSN_i - 1.424) + 1.010 \end{cases} \quad R^2 = 0.722^{**}$$

式中,LEN:纤维长度模拟值,PMSN_i:果枝位,PMSN_i=1,3,4,……n,其它符号同上。

利用试验 1 中 1995 年资料检验模型,棉花第 1~2 果节棉铃纤维长度模拟值与观测值的 RMSE 为 1.28 mm,1:1 关系图吻合度较好(图 1)。

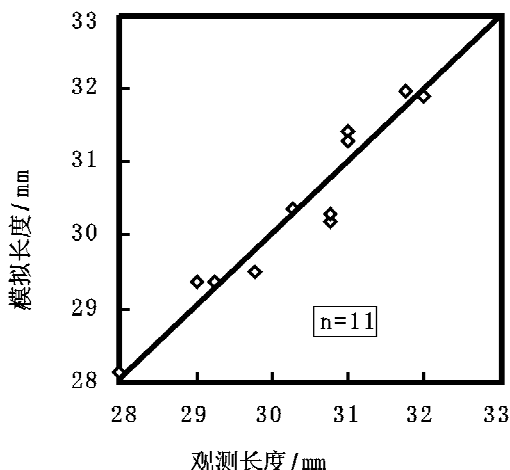


图 1 棉花纤维长度模拟值与观测值比较(1995, n=11)
Fig. 1 Comparison of simulated cotton fiber length to the observed (1995, n=11)

2) 模型修正与检验。根据 2.2 的结论,利用试验 1 中 1995 年资料,针对铃期日均最低温对纤维长度的影响对以上模型进行修正,修正函数见下式:

$$LENI_{MN} = -0.002 \times TAMIN^2 + 0.0225 \times TAMIN + 0.5942 \quad R^2 = 0.7231^{**}$$

式中,LENI_{MN}:日均最低温对纤维长度的修正参数,TAMIN:铃期日均最低温。

日均最低温对纤维长度的影响为抛物线函数,说明日均最低温过低或过高对纤维长度均不利。

引入日均最低温对纤维长度的修正参数后,得到棉花第 1,2 果节棉铃纤维长度的气象生态模型如下:

$$\begin{cases} LEN_i = LEN_s \times LENI \times LENI_{MN} \\ LENI = 0.049 \times \sin(0.767 \times PMSN_i - 1.424) + 1.010 \\ LENI_{MN} = -0.02 \times TAMIN^2 + 0.0225 \times TAMIN + 0.5942 \end{cases}$$

式中,i=1,2,其它符号同上。

对模型进行检验,并进行模拟值与观测值1:1关系图(图 2),纤维长度模拟值与观测值的 RMSE 为 0.985 mm。可以得出,经铃期日均最低温因子修正后的模型预测精度明显提高。

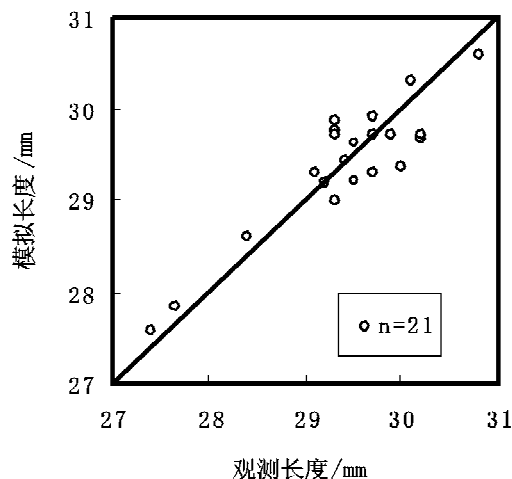


图 2 棉纤维长度模拟值与观测值比较(1995, n=21)
Fig. 2 Comparison of simulated cotton fiber length to the observed (1995, n=21)

2.3.2 棉纤维比强度。1)模型构建。基于2.2的结论,影响纤维比强度的气象因子主要有铃期日均最高温和相对湿度,利用试验1中1994年资料,建立纤维比强度气象生态模型如下:

$$\begin{cases} STR = STR_s \times AMTRH_{STH} \\ AMTRH_{STH} = 2.638 \times \frac{AMT}{RH} + 0.026 \end{cases} \quad R^2 = 0.568^{**}$$

式中,STR:纤维比强度模拟值;STR_s:品种纤维比强度值(品种遗传参数);AMT_{STH}:铃期日均最高温度因子订正系数;RH:铃期相对湿度;AMT:日均最高温。

2)模型检验。试验1中1995年资料比较模型纤维比强度模拟值与观测值的结果表明,模型的RMSE=1.003 cN·tex⁻¹,小于已有研究中同类模型的RMSE值(同类模型中最小值为1.29 cN·tex⁻¹),其模拟值与观测值1:1直方图的吻合度较好(图3)。

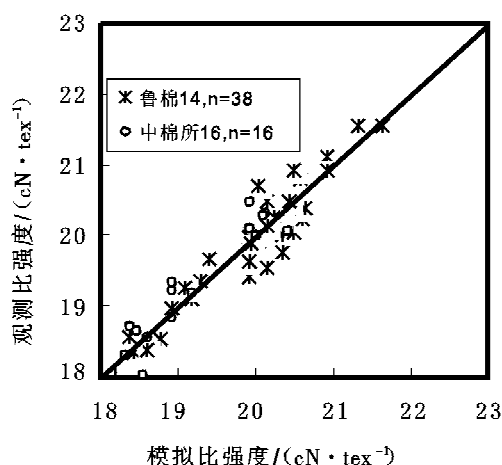


图3 棉纤维比强度观测值与模拟值比较(1995, n=38, 16)

Fig. 3 Comparison of simulated cotton fiber strength to the observed (1995, n=38, 16)

2.3.3 棉纤维克隆值。1)模型构建。基于棉纤维克隆值因环境影响而造成的变异可高达11%~34% [13-14]和2.2中的结论,在假定除品种和气象因子外,其它因子作用一致的条件下,建立克隆值气象生态模型如下:

$$MIC = MIC_s \times NAT_{MIC} \times ARF_{MIC}$$

$$MIC = MIC_s \times NATARF_{MIC}$$

式中,MIC:克隆值的模拟值,MIC_s:品种克隆值(品种遗传参数),ARF_{MIC}:铃期日均降

水因子订正系数,NAT_{MIC}:铃期夜均温因子订正系数,NATARF_{MIC}:铃期夜均温与日均降水的交互作用订正系数。

对于模型中气候因子订正系数模型的建立,利用试验1中1994年试验资料,以克隆值的观测值与品种克隆值的比值为因变量,分别以铃期日均温、日均降水、夜均温、日均温与日均降水的交互值(即日均温与日均降水的乘积)、夜均温与日均降水的交互值(即夜均温与日均降水的乘积)为自变量,利用SASTAT10.0及Excel拟合各气象因子订正系数模型如下,模拟方程均达到0.01极显著水平检验。

$$NAT_{MIC} = 0.0074NAT^2 - 0.2831NAT + 3.6201 \quad R^2 = 0.544^{**}$$

$$ARF_{MIC} = 0.8396EXP(0.0272 \times ARF) \quad R^2 = 0.597^{**}$$

$$NATARF_{MIC} = 0.8461EXP[0.0116 \times (0.1 \times NATARE)] \quad R^2 = 0.633^{**}$$

$$NATARE = NAT \times ARF$$

式中,ARF:铃期日均降水量,NAT:铃期夜均温,其它符号同上。

引入气象因子订正系数模型后的棉纤维克隆值的气象生态模型如下:

(1)模型1:铃期夜均温和日均降水单因子订正系数模型

$$\begin{cases} MIC = MIC_s \times NAT_{MIC} \times ARF_{MIC} \\ NAT_{MIC} = 0.0074NAT^2 - 0.2831NAT + 3.6201 \\ ARF_{MIC} = 0.8396EXP(0.0272 \times ARF) \end{cases}$$

(2)模型2:铃期夜均温与日均降水的交互作用订正系数模型

$$\begin{cases} MIC = MIC_s \times NATARF_{MIC} \\ NATARF_{MIC} = 0.8461EXP[0.0116 \times (0.1 \times NATARE)] \end{cases}$$

2)模型检验。利用试验1中1995年鲁棉14号两组资料和中棉所16一组资料共3个样本对模型1和模型2进行检验和比较,其克隆值模拟值与观测值之间的RMSE值3个检验样本平均值分别为0.233、0.303。模型1的模拟值与观测值的RMSE值较小,1:1直方图也显示其模拟值与观测值具有较好的吻合度(图4)。

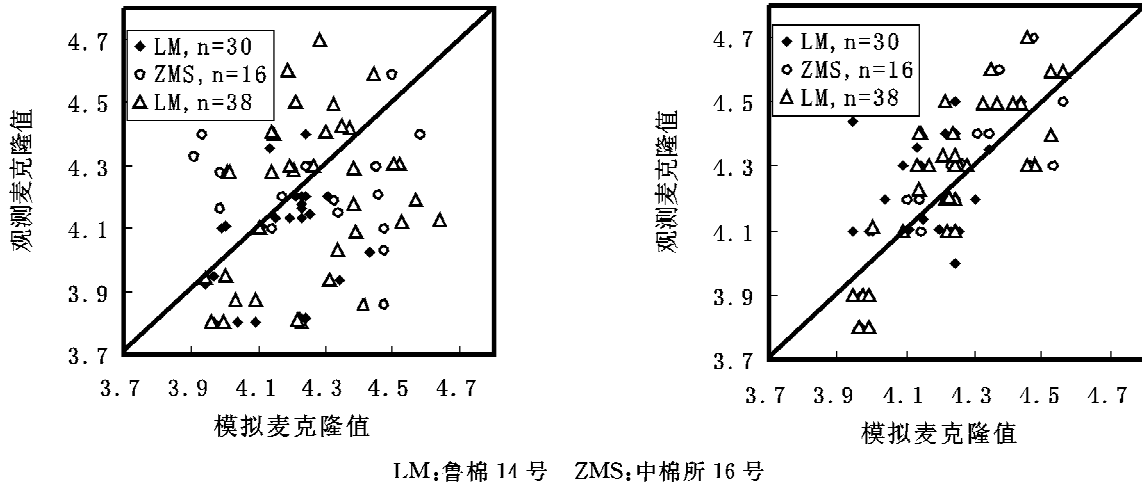


图 4 模型 1(右)和模型 2(左)棉纤维麦克隆值模拟值与观测值的比较(1995, n=30, 16, 38)

Fig. 4 Comparison of simulated cotton fiber Micronaire to the observed in model 1(right) and model 2(left)(1995, n=30, 16, 38)

3 讨论与结论

3.1 长度气象生态模型

棉纤维长度与气象生态因子关系的争议一直存在,有些学者认为日均温比较关键,有些学者则比较认同夜均温。本研究通过分析多年、多点试验资料,明确了纤维长度与品种遗传性和气象生态因子的关系,认为品种的遗传特性决定棉纤维长度,日均最低温对其有显著影响作用,并建立了相应的棉纤维长度气象生态模型。此模型既强调了品种特性的决定作用,同时又体现了日均最低温对纤维长度的影响。

3.2 比强度气象生态模型

棉纤维比强度与气象生态因子的关系国内外比较趋于一致,本研究在前人的基础上,通过分析多年多点多品种试验资料,明确了日最高温度和相对湿度是影响纤维比强度的关键因子,并建立了相应的棉纤维比强度气象生态模型。

3.3 麦克隆值气象生态模型

棉纤维麦克隆值是纤维细度和纤维成熟度的综合反映,即与棉纤维细胞壁的厚薄程度以及纤维直径有直接的关系,除基因型外,所有影响光合作用和纤维素合成的环境因子都有可能影响麦克隆值的最终形成^[14]。本研究通过分析多年多点多品种试验资料,最终确定铃期夜均温和日均降水量是影响纤维麦克隆值的关键气象因子,并建立了铃期夜均温和日均降水量的修正系数模型和最终的棉纤维麦克隆值气象生态模型。

3.4 模型现存问题分析

如上所述,棉纤维品质的形成受制于多方面

因素,因此,对棉纤维品质的模拟非常复杂,任何一项棉纤维品质指标都不可能用一个或几个模型来完成多因素综合模拟。本文模型的建立虽然是基于分地域、多品种的分期播种试验,对气象条件和品种的遗传性进行了充分考虑,但并没有考虑栽培因素和土壤环境因素和除长度以外的果枝节位^[24]对棉纤维品质的影响。因此对模型的可靠性和普适性还有待于利用更广泛的资料作进一步的修正和检验。

参考文献:

[1] WANJURA A D F, Barker G L. Cotton lint yield simulation rate and quality development[J]. Field Crod Research, 1984, 73: 476-481.

[2] SEQUEIRA R A, Cochran K M, El-ik N D. Inclusion of plant structure and fiber quality into a distributed delay cotton model to improve management and optimize profit[J]. Ecology Modeling, 1994, 71: 161-186.

[3] DANFORTH D M, Cochran M J, Bernhart J, et al. An economic analysis of lint weight and fiber properties by fruiting position[M]. Beltwide Cotton Conference National Cotton Council, 1990, 412-421.

[4] XIE W, Haigler C H, Rao N R, Roberts E M, et al. Cutured ovules as models for cotton fiber development under low temperature[J]. Plant Physiology, 1991, 95: 88-96.

[5] JUNAEDI M D. A cotton fiber quality model[M]. Mississippi State:[s. n.], 1996, 5: 67.

[6] 韩祥铭, 刘英欣, 宋宪亮. 陆地棉新种质棉纤维品质性状的遗传分析[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 245-

- 248.
- [7] HESKETH J D, Low A. The effect of temperature on components of yield and fiber quality of yield and fiber quality of cotton varieties of diverse origin[J]. *Cotton Growing Review*, 1968, 45: 243-257.
- [8] LANGHE E, All D E. 棉花棉纤维的发育[C]. //棉花生理专题论文集, 北京: 农业出版社, 1987, 286-288.
- [9] O' KELLY J C, Kelly J, Carr C. Elongation of the cotton fiber[M]. Carr C. Growth and differentiation in plants. 1955, 55-68.
- [10] 马富裕. 棉铃发育及棉纤维品质形成生态效应与模拟[D]. 南京农业大学, 2004.
- [11] 单世华, 孙学振, 周治国, 等. 温度对棉纤维超分子结构的影响[J]. *棉花学报*, 2000, 12(4): 208-211.
- [12] 周治国. 黄河中下游地区棉麦两熟棉铃发育及棉铃品质气候生态基础研究[D]. 西北农业大学, 1997.
- [13] BRADOW J M, Johnson R M, Bauer P J, et al. Preharvest spatial and temporal variability in short fiber content in relation to processing success[J]. *Proc Beltwide Cotton Conf*, 1999, 6: 716-718.
- [14] MCCARTY W. A brief view of cotton growth and development[J]. *Cooperative Extension Service, Mississippi State University, Mississippi State*, 1989, 3: 115-124.
- [15] LANGHE E A. Lint development[C]. *Pro Amer Cott*, 1980: 366-376.
- [16] 单世华, 孙学振, 周治国. 温度对棉纤维强度及超分子结构的影响[J]. *作物学报*, 2000, 26(6): 666-672.
- [17] 张丽娟, 熊宗伟, 周治国, 等. 单纱强力的模拟模型研究[J]. *棉花学报*, 2006, 18(2): 120-123.
- [18] GIPSON J R, Ray L L. Fiber elongation rates in five varieties of cotton[J]. *Crop Science*, 1969, 9: 339-341.
- [19] DAVIDONIS G H, Johnson A S, Landivar J A. Cotton fiber quality is related to boll location and planting date[J]. *Agronomy J*, 2004, 96: 42-47.
- [20] 王学德, 俞碧霞, 夏如冰. 浙江棉区棉花纤维品质生态分布的研究[J]. *浙江农业科学*, 1994, 1: 3-5.
- [21] 韩慧君. 气候生态因素对棉花产量与纤维品质的影响[J]. *中国农业科学*, 1991, 24(5): 23-29.
- [22] SEQUEIRA R A, Cochran K M, El-ik N D, et al. Clusion of plant structure and fiber quality into a distributed delay cotton model to improve management and optimize profit[J]. *Ecol Modelling*, 1994, 71: 161-186.
- [23] BERNHARDT J L, Phillips J R. Fruiting position influence on yield components of cotton bolls[C]. *National Cotton Council. Beltwide Cotton Conf*, 1986: 113-115.
- [24] 孟俊婷, 海江波, 唐淑荣, 等. 棉花不同节位棉铃纤维品质差异性研究初报[J]. *棉花学报*, 2007, 19(4): 318-320. ●