

单纱强力的模拟模型研究

张丽娟^{1,2}, 熊宗伟³, 周治国^{1*}, 陈兵林¹, 薛晓萍¹

(1. 南京农业大学/农业部作物生长调控重点开放实验室, 江苏省信息农业高新技术研究重点实验室
南京 210095, China; 2. 哈尔滨师范大学生命与环境学院, 哈尔滨 150080, China;
3. 中国农业科学院棉花研究所, 安阳 455000, China)

摘要:利用不同品质原棉的纺纱试验结果,采用主成分分析等方法,对棉纤维品质指标进行分析,结果表明:(1) 原棉的纤维品质是决定纱线强力的主要因素,在不同的纺纱工艺下,虽然同一原棉的单纱强力不同,但和其它原棉相比,不同原棉之间的单纱强力分布趋势不受纺纱工艺的影响,即如果棉纤维综合品质高,则在任何工艺条件下,其单纱强力都高于其它原棉;(2) 原棉的单纱强力的同时大小也与纺纱支数和纺纱工艺有关;(3) 纤维长度、纤维强度、长度整齐度和麦克隆值是表示棉花纤维综合品质的关键指标。基于上述研究结果,建立了普梳和精梳工艺下的单纱强力模型: $CSCO = (40 - k_1 \times C) \times k_2 \times \frac{Len - 10}{\sqrt{Mic}} \times Str \times Unf$, $CSCA = CSCO \times (1 + CAWD)$, $CAWD = W/66.67$ 。此模型为非线性模型,模型的机理性强、自变量少、模型形式简单直观,易于推广使用,具有较好的预测效果。

关键词:单纱强力;纤维品质;模型

中图分类号:S562 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2006)02-0120-04

Establishing Model of the Single Spinning Yarn Strength

ZHANG Li-juan^{1,2}, XIONG Zong-wei³, ZHOU Zhi-guo¹, CHEN Bing-lin¹, XUE Xiao-ping¹

(1. MOA Key Laboratory of Crop Growth Regulation/Nanjing Agricultural University, Jiangsu Province Hi-Tech Key Laboratory of Information Agriculture, Nanjing 210095, China; 2. The Animal and Environmental Institute of Harbin Normal University, Harbin 150080, China; 3. Cotton Research Institute, CAAS, Anyang 455000, China)

Abstract: Based on the experiments of spinning yarn, and using the principal component analysis to the detecting data of cotton fiber qualities, the results showed that as follows: (1) The cotton fiber qualities are crucial factors to spinning strength. Though a kind of raw cotton strength change with technology, but the strength trends are the same under different technology comparing to other raw cottons. The higher the cotton fiber qualities are, the higher their spinning strengths are under any technology and counts; (2) The spinning strength has something to do with spinning counts and spinning technology; (3) The pivotal indexes expressing the cotton fiber quality are fiber length, strength, microafis and uniformity. The model of single spinning strength of combed yarn and the model of single spinning strength of carded yarn are established as: $CSCO = (40 - k_1 \times C) \times k_2 \times \frac{Len - 10}{\sqrt{Mic}} \times Str \times Unf$, $CSCA = CSCO \times (1 + CAWD)$, $CAWD = W/66.67$. The model have many advances, such as explicit mechanism, few independent variables, simple and intuitionist, good expected validity, easy application and dissemination and non liner model.

Key words: single spinning strength; fiber quality; model

国外在单纱强力与成纱品质质量之间的定量关系方面的研究始于 20 世纪 30 年代,在 80 年代以前,基本上采用的是经验方法^[1-5],80 年代以后大多数学者采用多元回归统计方法^[5-10]。现在应用比较广泛的是多元线性回归模型。近几年有的学者提出了基于神经网络和模糊数学等方法的一些模型^[11-13]。我国对棉纤维品质与成纱品质质量的研究起步较晚,从 20 世纪 90 年代初才有此方面的研究报道^[8-12]。

由于多元线性回归模型的理论基础不充分,而且模型中的回归系数具有多变性,影响了模型的稳定性、实用性和推广性。用神经网络、模糊分析等方法提出的模型,由于这些模型运算过程较繁琐,也影响了实用性和推广性。因此,本文在纺纱试验基础上,借鉴前人的研究成果,构建了棉纤维物理品质与单纱强力的非线性模型,模型具有较好的预测效果。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试棉花品种均为纤维品质差异较大的陆地棉,分别为科棉 1 号、渝棉 1 号、新陆早 4 号、红鹤 1 号、赣棉 12 号(分别用 P1-P5 表示)。

1.2 试验设计与测试项目

取上述五种原棉,分别在无锡、北京两地进行纺纱试验,重复 2 次。纺纱工艺设普梳和精梳两种。纺纱支数选择 32S、40S、60S。测定项目包括两类:一是棉花纤维品质指标测定,按照国家 GB1103-1990 标准,测定仪器为 HVI900 棉纤维品质测定仪,项目为上半部平均长度、长度整齐度、断裂比强度、伸长率、麦克隆值、反射率、黄度、环锭纺纱强力、气流纺纱品质指标;二是测定单纱强力,用乌斯特单纱强力仪测定。

文中部分分析资料来源于农业部 1999-2003 年棉花纤维品质抽样检验结果。

1.3 分析方法

采用主成分分析方法;利用 SYSTAT10.0、SPSS11.5、EXCEL 等软件对试验数据进行分析和模型拟合。

1.4 模型检验

模型的检验包括模型的校正和模型的核实。校正正是调节模型的参数。核实是采用国际上常用的观测值与模拟值之间的均方差根(RMSE)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。

另外,为使模型精度更定量化,可用比值 C 和小误差概率 P 来检验,计算公式为:

$$C = S_z / S_1; \quad P = P\{|\epsilon_i - \bar{\epsilon}| < 0.6745 S_1\};$$

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\epsilon_i - \bar{\epsilon})^2}{n-1}}, \epsilon_i = X_i - Y_i, \bar{\epsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon_i;$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中, n 表示样本数, C 值越小表示预测误差离散性小,精度高; P 值越大表示误差较小的概率大,直接表明精度高。当 $C < 0.35$, $P > 0.95$ 时,为一级精度“好”; $C < 0.50$, $P > 0.80$ 时,为二级精度“合格”; $C < 0.65$, $P > 0.70$ 时,为“勉强”; $C \geq 0.65$, $P \leq 0.70$ 时,为“不合格”。

2 结果与分析

2.1 影响单纱强力的主要因素

在精梳、普梳工艺条件下,不同纺纱支数不同原棉的单纱强力是不同的(图 1)。从图 1 可得: (1) 精梳、普梳下,5 种原棉的纱线强力均以 32S 为最强,60S 为最小; (2) 在不同支数下,精梳和普梳下 5 种原棉的纱线强力分布趋势一致,以 P1 原棉的纱线强力最强,依次为 P4、P5、P3、P2; (3) 精梳和普梳相比,精梳的纱线强力在不同的支数下,均大于普梳。32S、40S、60S 在精梳下时纱线强力分别为 330.3、261.52、180.88 cN · tex⁻¹, 普梳下的纱线强力分别为 291.18、229.38、160.92 cN · tex⁻¹; (4) 同一种原棉在同一纺纱工艺条件下,随纺纱支数的增加,纱线的强力下降;同一种原棉在同一支数下,精梳纱线强力大于普梳。

由此可以得出,原棉的性质、纺纱工艺、纱线支数均决定了纱线强力,但原棉性质是决定纺线强力的主要因素。虽然在不同纺纱工艺、纱线支数下纱线的强力不同,但纱线强力大小的分布趋势是一致的。即原棉的综合纤维品质指标高,在任何纺纱工艺和纱线支数下,所纺出纱线的强力也高,反之,也成立。

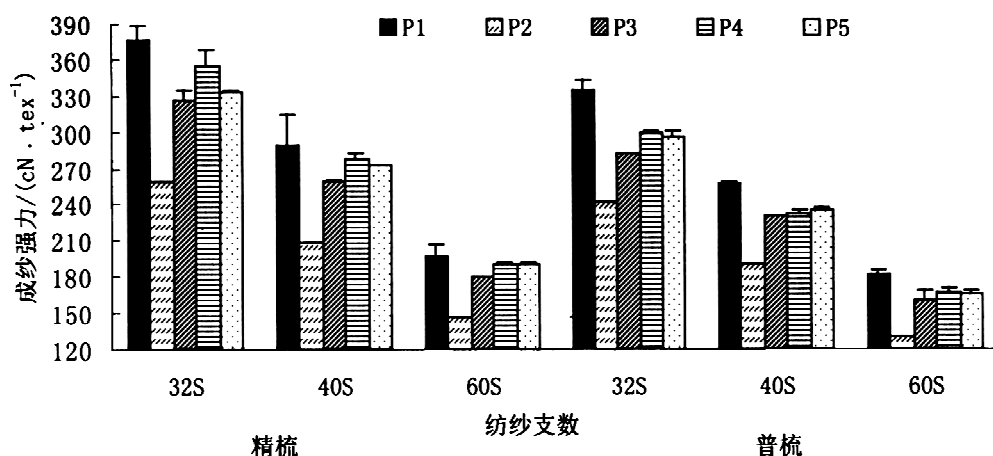


图 1 单纱强力随纺纱支数的变化

Fig. 1 Changes of yarn strength with spinning counts

2.2 影响单纱强力的棉花纤维品质指标的确定

2.2.1 棉纤维品质指标的相关关系。利用 2000-2003 年中国农业部对棉花主栽品种纤维测试结果资料,统计纤维品质指标之间的相关系数可知,只有反射率与比强度、伸长率、麦克隆值的相关系数的绝对值超过临界值 0.2732 外,其余的相关系数的绝对值均小于临界值。长度、整齐度、断裂比强度、伸长率、麦克隆值 5 个品质指标之间相关关系较小,指标间相对独立^[13]。

2.2.2 棉纤维综合品质关键指标的确定。对 2000-2003 年的农业部棉花纤维品质检验资料进行主成分分析从特征向量的结果可知,第一主成分主要由长度、伸长率构成,在总方差中占 39.37%;第二主成分主要由长度和反射率决定,它占总方差的 23.93%;第三主成分主要由长度、比强度构成;第四主成分由整齐度、伸长率构成;第五主成分由麦克隆值构成。前五个主成分占总方差的 95%。也就是说,棉纤维品质的描述除黄度没在前五个主成分之内,其它的六个指标均在内。结合 2.2.1 的结论,反射率与比强度、伸长率、麦克隆值的相关关系显著,因此,在主成分可以省略反射率^[13]。

用 2000 年的农业部棉花品质检验资料,拟合缕纱强力与棉纤维品质指标之间的线性模型:

$$LS = -145.3 + 2.833Len - 8.564Mic + 3.095Str + 2.034Unf + 0.826Lr - 0.805Rd - 0.891(+b) \quad (1)$$

式中, Len : 纤维上半部平均长度; Mic : 麦克隆值; Str : 比强度; Unf : 整齐度; Lr : 伸长率; Rd : 反射率; $(+b)$: 黄度。

从模型中可得出,对缕纱强力影响显著的棉

花纤维品质指标为: 麦克隆值、比强度、纤维长度、整齐度。其中比强度、纤维长度、整齐度与缕纱强力成正比,麦克隆值与缕纱强力成反比。同时参考并综合国内外有关单纱强力的模型^[4-12],对单纱强力影响比较重要的前 4 个棉纤维品质指标确定为纤维长度、纤维强度、长度整齐度、麦克隆值。

2.3 单纱强力模拟模型的建立与检验

2.3.1 模型的建立。依据以上分析,影响单纱强力的主要因素为: 纤维长度、麦克隆值、比强度、整齐度、纺纱工艺、纺纱支数。为了保证模型的实用性,以上棉花纤维品质指标的选用与农业部棉花纤维品质检验中心所公布的指标保持一致。模型的基本形式为:

$$CS = f(Len, Mic, Str, Unf, C, W) \quad (2)$$

式中, CS : 单纱强力; C : 纺纱支数; W : 精梳损耗量(梳去的短纤维量); 其它符号同上。

利用无锡的试验资料,利用 SASTAT5.0 软件进行模型拟合。在建立精梳强力模型时,认为精梳量每增加 1%,单纱强力可响应提高 1.5%。拟合模型如下:

$$CSCO = (40 - k_1 \times C) \times k_2 \times \frac{Len - 10}{\sqrt{Mic}} \times Str \times Unf \quad (3)$$

$$CSCA = CSCO \times (1 + CAWD) \quad (4)$$

$$CAWD = W / 66.67 \quad (5)$$

$CSCO$: 普梳单纱强力; $CSCA$: 精梳单纱强力; $CAWD$: 精梳参数; $K_1 = 0.422$, 纺纱支数影响参数; $K_2 = 0.005$, 为修正系数; 其它符号同上。

2.3.2 模型的检验。利用北京的试验资料对模型(3)进行检验。从模拟值与实验值的直方图(图 2)可看出,模拟吻合度较好, $RMSE =$

18.7888CN。结合 1.4 的检验方法, $C=0.081$, $P=1.00$, 模型为一级精度“好”。

利用北京的试验资料对模型(4)进行检验。从模拟值与实验值的直方图(图 3)可看出, 模拟

吻合度较好, $RMSE=28.6962cN$ 。结合 1.4 的检验方法, $C=0.4692$, $P=0.93$, 模型为二级精度“合格”。

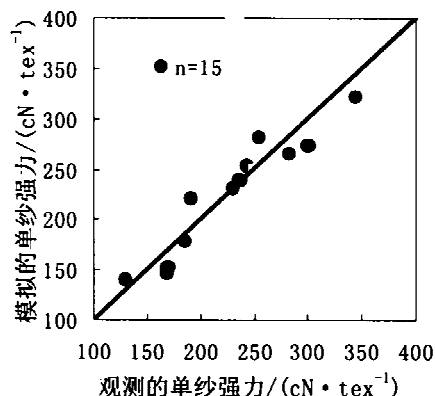


图 2 普梳单纱强力的观测值与模拟值的比较
Fig. 2 Comparison of simulated with observed
Single-yarn Strength of Combed Yarn

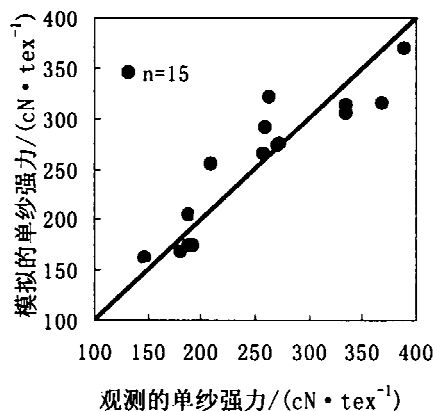


图 3 精梳单纱强力的观测值与模拟值的比较
Fig. 3 Comparison of simulated with observed
Single-yarn Strength of Carded Yarn

3 结论与讨论

3.1 本文提出的单纱强力的非线性模型, 具有较强的机理性和预测效果。所选的棉纤维物理指标少, 计算过程简单, 模型稳定性强, 而环纱缕强、气纺指标及纺纱均匀指数模型, 均选择了 7 个棉纤维物理指标。因此, 与之比较, 本文提出的模型, 不仅可以减少棉纤维品质的检验工作量, 而且可以提高预测的精度。

3.2 提出单纱强力预测模型的同时考虑了普纱与精纱两种工艺, 普纱的预测模型效果好于精纱模型, 其主要原因是精梳量与成纱品质之间的定量关系尚无确定的量化关系, 不同学者之间的结论差异较大。本文在实验的基础上, 参考其他学者的结论, 认为为精梳量每增加 1%, 单纱强力可响应提高 1.5%, 此方面的研究尚需进一步深入。

参考文献:

- [1] IYENGER R L, Gupta A K. Some functions involving fiber properties for estimating yarn tenacity[J]. Textile Research Journal, 1974, 7: 492-494.
- [2] LOUIS G L, Fiori L A, Astilion V C. Predicting single strand strength from cotton fiber properties [J]. Textile Bulletin, 1968, 12: 20-24.
- [3] SUBUBRAMANIAN T A, Ganese K, Bandy O. A generalized equation for predicting the lea strength of ring-Spun cotton yarns[J]. Journal of the Textile In-

stitute, 1974, 65: 307-313.

- [4] BOGDAN J F. The prediction of cotton yarn strengths[J]. Textile Research Journal, 1967, 6: 536-537.
- [5] LANGENHOVE V, Sette L. The use of neural nets to predict yarn tensile properties [J]. Textile Research Journal, 1996, 87(2): 400-402.
- [6] LUO C, Adams D L. Yarns strength prediction using neural networks[J]. Textile Research Journal, 1995, 65(9): 495-500.
- [7] SETTE S, Boullart L, Van L, et al. Optimizing the fiber to yarn process with a combined reural network/ Genetic alorithm approach[J]. Textile Research Journal, 1997, 67(2): 84-92.
- [8] 储才元, 凌导宏. 棉纤维性能和成纱质量间关系的研究[J]. 纺纱学报, 1993, 14(7): 4-8.
- [9] 郑芝奖, 刘从儿. 原棉品级与棉纤维主要品质指标关系的关系[J]. 棉纺织技术, 2002, 8: 234-236.
- [10] 金曙明. HVI900 预测品质指标与成纱指标的关系 [J]. 中国纤检, 1998, 11: 13-15.
- [11] 贾立锋, 张宏伟, 马步虎. 用灰色关联分析影响转杯纺纱品质指标的因素[J]. 河北轻工学院学报, 1998, 19(2): 44-62.
- [12] 董奎勇, 杨 萍. 棉纺成纱质量预报的 BP 神经网络方法[J]. 棉纺织技术, 2002, 6: 39-40.
- [13] 张丽娟, 孟亚利, 陈兵林, 等. 棉纤维综合品质指数模型的指标确定与建模[J]. 棉花学报, 2005, 17(4): 217-221.