

新疆早中熟棉新品种数量性状的相关性及途径分析

韩俊伟¹, 陈荣江^{2*}, 李新宁², 李淑帆²

(1. 新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所, 新疆铁门关 841005; 2. 河南科技学院, 河南新乡 453003)

摘要 [目的]研究早中熟棉在新疆生态条件下的形态性状、产量性状和品质性状间的相互关系,为旱区棉花高产优质育种和品种改良提供依据。[方法]以2016—2017年新疆维吾尔自治区早中熟D组陆地棉区试的20个新品种(系)为试验材料,对其植株形态、产量和品质15个主要性状进行变异性、相关性、回归和途径分析。[结果]形态和产量性状以果枝始节、果枝数、单株铃数和皮棉产量的变异系数较大,依次为19.43%、6.08%、5.87%、5.74%;品质性状以伸长率、纺纱指数和麦克隆值的变异系数较大,依次为10.72%、6.81%、5.61%。15个数量性状中相关系数达极显著水平的有衣分与皮棉产量、绒长与纺纱指数等12对性状,达显著水平的有单株铃数与皮棉产量、绒长与比强度等7对性状;产量性状中以单株铃数、衣分对皮棉产量的影响较大,单铃重次之;纤维品质性状中比强度、整齐度、绒长和麦克隆值是影响纤维品质最重要的因素,分别通过其他性状对纤维品质的间接作用也较强。[结论]在棉花高产优质育种实践中,须充分关注性状间的依存与制约关系,形态性状、产量因素性状及品质性状的协调发展是实现棉花高产优质目标的有效途径。

关键词 早中熟棉;产量性状;品质性状;相关分析;途径分析

中图分类号 S562 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)06-0040-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.009



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Correlation and Path Analysis of Quantitative Traits of Early-Middle Maturing Cotton New Varieties in XinjiangHAN Jun-wei¹, CHEN Rong-jiang², LI Xin-ning² et al (1. Institute of Agricultural Sciences, The 2nd Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Tiemenguan, Xinjiang 841005; 2. Henan Institute of Science and Technology, Xinxing, Henan 453003)

Abstract [Objective] The relationship among morphological traits, yield traits and quality traits of early-middle maturing cotton under ecological conditions in Xinjiang was studied to provide a basis for high yield and quality breeding and variety improvement of cotton in dry areas. [Method] Twenty new varieties of upland cotton from Group D of early-middle maturing in Xinjiang autonomous region in 2016-2017 were used as test materials. The variability, correlation, regression and path analytical methods were exploited to analyze the 15 main traits of plant morphology, yield and quality. [Result] Among the morphological and yield traits, the coefficients of variation of the node of the first fruiting branch, fruit branches, bolls per plant, and the lint yield were larger, in the order of 19.43%, 6.08%, 5.87%, 5.74%. Quality traits including fiber elongation, spinning consistency index, and micronaire had larger variation coefficients, which were 10.72%, 6.81%, and 5.61%, respectively. Among the 15 quantitative traits, 12 of these correlation coefficients were extremely significantly correlation, such as lint percentage and lint yield, fiber length and spinning consistency index, etc, and 7 of these coefficients is significantly correlation, such as bolls per plant and lint yield, fiber length and fiber strength; bolls per plant and lint percentage had greater effects on lint yield, followed by single boll weight. The fiber strength, fiber uniformity, fiber length and micronaire were the most important factors affecting fiber quality, the indirect effects on fiber quality produced by other fiber quality traits were also stronger. [Conclusion] In the practice of high-yield and high-quality cotton breeding, we must pay full attention to the interdependence and constraints between traits. The coordinated development of morphological, yield and quality traits is an effective way to achieve the goal of high-yield and high-quality cotton.

Key words Early-middle maturing cotton; Yield traits; Quality traits; Correlation analysis; Path analysis

棉花是重要的经济作物,也是我国国民经济中的重要战略物资。新疆是我国重要的商品棉生产基地^[1],据资料报道2018年全国棉花产量新疆占80%以上。早熟棉作为一种特殊的棉花生态类型,在我国棉花产业可持续发展中有着不可替代的作用。当前,为保障国家粮食安全,棉花种植面积有所缩减,国内棉花供需矛盾日益突出,迫切需要采取措施来提高棉花单产水平。此外,随着我国经济和纺织工业的迅速发展,人们对高质量棉纺产品的需求不断增加,因而对棉花产量和纤维品质提出了更高的要求,优质棉不仅是纺织工业的重要原料,也是国防、医药等工业不可或缺的原料,它在国民经济中的地位非常重要^[2-3]。

品种是实现棉花高产优质目标的核心,高产优质多抗棉

花新品种的培育和应用是实现棉花增产、棉农增收、纺织业强劲发展最根本的途径^[4]。霜前皮棉具有较优的纤维品质,而新疆地区的初霜期较早,因此对该生态环境下早中熟类型棉种的产量和品质性状特征的研究具有重要意义。在棉花育种实践中,有效利用性状的相关性信息对提高选择效率和优株甄别的准确性至关重要。随着现代育种理论的发展与技术改进,具有不同特性及适于不同生态环境的新品系不断出现,近些年许多学者曾采用分子生物学方法或多元统计分析理论挖掘棉花多个性状所蕴藏的信息。例如,梅拥军等^[5]对5个陆地棉亲本及其F₁代20个组合6个产量组分对皮棉产量的贡献进行研究,得出铃数和铃重可作为间接选择组合皮棉产量显性效应的指标;齐海坤等^[6]对主要株型性状与产量和品质的关系研究得出,株型性状与产量和品质之间均存在显著或极显著的遗传相关,培育高产优质品种时要选择单株营养枝数和铃数较多且铃重较小的材料;徐滩喜等^[7]对新疆早熟陆地棉种质资源遗传多样性及纤维品质性状SSR关联分析得出,新疆早熟陆地棉种质资源遗传多样性低,并基于SSR关联分析挖掘出一些与纤维品质性状相关的优异等

基金项目 新疆兵团第二师重点领域科技攻关项目“适宜机采棉花种质资源创新与新品种(系)选育”(2019NNGG03);河北省科技厅农业科技攻关项目“棉花三节一优栽培技术示范”(NYGG201623)。

作者简介 韩俊伟(1975—),男,河南鄆陵人,高级农艺师,从事棉花育种及栽培技术研究。*通信作者,教授,从事应用多元统计分析教学与科研。

收稿日期 2021-07-10

位变异信息及典型材料;秦永生等^[8]进行了陆地棉产量相关性状的 QTL 定位研究,得出控制果枝数、衣分和籽指的 QTL 增效基因位点均来源于亲本中棉所 12,并推测该亲本的育种价值主要是通过提高后代的结铃性来实现;孙振纲等^[9]对 27 个陆地棉新种质材料主要性状研究得出,各材料间的皮棉产量相差较大的原因主要是单株成铃数变化较大;戴宝生等^[10]对棉花新品种产量与主要数量性状的相关及通径分析得出,皮棉产量与单株铃数、衣分及霜前花率极显著正相关,单株铃数对皮棉产量的直接通径系数最大;董承光等^[11]通过对 10 个北疆优质杂交棉新品种的农艺性状与产量、品质性状进行相关性分析得出,果枝数、株高和单株铃数对皮棉产量影响较大;戴茂华等^[12]对冀中南棉花产量品质性状的相关及通径分析得出,单株铃数、单铃重和衣分对皮棉产量的贡献较大,皮棉产量与上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度及麦克隆值呈正相关。然而针对新疆早中熟棉新品种的产量品质性状的综合分析的研究报道尚较少。

鉴于此,笔者对 2016—2017 年新疆维吾尔自治区棉花区域试验(早中熟 D 组)参试品种(系)的产量和纤维品质性状进行变异性、相关性和通径分析,旨在揭示新疆生境下早中熟棉主要产量性状对产量以及品质性状对纺纱均匀指数的影响的效应大小及其形成机制,以期明确新品种的特征特性和优势性状,为该地区高产优质棉花新品种选育及优良品种推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验材料为 2016—2017 年新疆维吾尔自治区早中熟 D 组陆地棉区试的新品种,其中桑塔木 6 号、HD02、中棉所 96A、鸿泰 6636、AW04、中棉所 49(CK)同时参加了 2 年的区试,惠民 5 号、塔 12-1079、塔 09-1490、中生棉 11X 号、中 3103、鲁丰 86-7、富全 43 号仅参加 2016 年的区试,JSH15-35、塔 12-1266、塔 11-1347、15DJL01、TH14-621、TH614-2、新陆中 54 号(CK)仅参加 2017 年的区试。

1.2 试验设计与测定指标 2016 年的试验在新疆农业科学院库尔勒试验站、新疆沙雅县种子站、新疆农一师三团康地试验站、新疆桑塔木种业(新和)、新疆塔河种业(阿拉尔)、新疆麦盖提县种子站、新疆鲁丰农业科技发展有限公司(英吉莎)、新疆巴州农业科学研究院、新疆闫氏德海种业(库尔勒)进行,共 9 个试点。2017 年的试点较 2016 年去掉了新疆农业科学院库尔勒试验站,新增了新疆农业厅国家农作物原种场。试验中各试点均采用随机区组排列,3 次重复,小区面积 20 m²,株、行距配置合理。各试点均按当地主要栽培管理措施实行,田间管理均匀一致,土壤多为砂壤土和壤土。前茬棉花,在 4 月中下旬播种,方式多为机器铺膜,人工点播。

考察主要产量因素性状,包括果枝始节(x1,节)、株高(x2,cm)、果枝数(x3,个)、单株铃数(x4,个)、单铃重(x5,g)、衣分(x6,%)、皮棉产量(x7,kg/hm²);纤维品质性状为上半部平均长度(y1,mm,以下简称绒长)、整齐度(y2,%)、比强度(y3,cN/tex)、麦克隆值(y4)、伸长率(y5,%)、反射率(y6,%)、黄度(y7)、纺纱均匀性指数(y8,以下简称纺纱指

数),共 15 个数量性状。形态指标于各品种成熟期田间观测记载,产量指标及纤维品质指标于二茬花收获后测量记载,纤维品质测试由农业农村部棉花质量监督检验测试中心(乌鲁木齐)完成。对同时参加 2 年试验的品种取各性状的平均为其样本值参与分析。

1.3 田间调查记载项目及取样方法

1.3.1 生育时期。记载出苗期、开花期、吐絮期(各期达到 50% 的日期)和生育期(从出苗期到吐絮期的天数),并记载各期生长势和整齐度。其中,开花期和吐絮期固定选取有代表性的 2 次重复每小区中间行(不包括两端植株)的连续 20 株进行调查,取平均值。

1.3.2 农艺性状。株高、单株果枝数、单株结铃数在 9 月 5 日调查。第一果枝节位:棉株果枝的始节位,即棉花现蕾后从下至上第一果枝位置,在棉花现蕾后调查。株高:子叶节至主茎顶端的高度。单株果枝数:棉株主茎果枝数量。单株结铃数:棉株个体成铃数。横向看尖已出苞叶,直径在 2 cm 以上的棉铃为大铃,比大铃小的棉铃及当日花为小铃,3 个小铃折算为 1 个大铃。

1.4 考种及取样

1.4.1 单铃重。吐絮结束后,每小区在取样行采摘第 5~10 果枝第 1~2 果节吐絮正常的 50 个铃,晒干称重,计算单铃重。

1.4.2 子指。在测定单铃重的样品中,每品种随机取样,每份棉籽 100 粒称重,所得百粒棉籽的重量为子指。重复 2 次,取平均值。

1.5 品质检测 由新疆维吾尔自治区种子管理总站从各承试单位中统一收取棉样。各承担单位将测定单铃重的皮棉充分混匀,每品种(系)取 30 g 寄至各自自治区种子管理站,由自治区种业发展中心统一寄(送)至农业农村部棉花质量监督检验测试中心(乌鲁木齐)进行测试。

1.6 分析方法 采用相关分析、回归分析、通径分析等方法进行研究,探讨新疆生态环境下早中熟棉数量性状的相关参数。试验数据的统计分析在 SAS 9.4^[12]和 Matlab R2015b^[13]软件环境下完成。

1.7 分析模型

1.7.1 相关分析。性状 x_i 与 x_j 的相关系数的最大似然估计为 $\hat{\rho}_{x_i x_j} = \hat{\sigma}_{x_i x_j} / \sqrt{\hat{\sigma}_{x_i}^2 \hat{\sigma}_{x_j}^2}$,根据统计量 $t = \hat{\rho}_{x_i x_j} \sqrt{n-2} / \sqrt{1-\hat{\rho}_{x_i x_j}^2} \sim t(n-2)$ 检验相关系数的显著性,即假设 $H_0: \rho = 0 \leftrightarrow H_1: \rho \neq 0$ 。其中 $\hat{\sigma}_{x_i x_j}$ 和 $\hat{\sigma}_{x_i}^2$ 分别为性状 x_i 与 x_j 的协方差和性状 x_i 方差的最大似然估计。

1.7.2 回归分析。目标变量 Y 对原因变量 $X_i (i=1, 2, \dots, p)$ 的回归系数的最优线性无偏估计量为 $\vec{b} = (XX')^{-1} X'Y$,其中 \vec{b} 为回归系数的估计向量, X 为回归设计矩阵, \vec{Y} 为目标变量 Y 的观测向量。据统计量 $F = \frac{S_{\text{回}}/p}{S_{\text{残}}/(n-p-1)} \sim F(p, n-p-1)$ 检验回归方程的显著性,即假设 $H_0: \vec{\beta} = \vec{0} \leftrightarrow \vec{\beta} \neq \vec{0}$ 。据统计量 $F_j =$

$\frac{U_j}{S_{\text{误}}/(n-p-1)}-F(1, n-p-1)$ 检验回归系数的显著性, 即假设 $H_0: \beta_i = 0 \leftrightarrow \beta_i \neq 0$ 。据 $b_i^* = b_i(\hat{\sigma}_X/\hat{\sigma}_Y)$ 计算标准回归系数, 其中 b_i 为变量 X_i 的回归系数, $\hat{\sigma}_X$ 、 $\hat{\sigma}_Y$ 分别为变量 X_i 和 Y 的标准差的最大似然估计。

1.7.3 通径分析。 计算 p 个原因变量和 1 个目标变量 Y 的相关系数矩阵 $R=(r_{ij}), i, j=1, 2, \dots, p, p+1$; 当 $j=p+1$ 时, r_{ij} 表示变量 X_i 与 Y 的相关系数; 当 $j < p+1$ 时, r_{ij} 表示变量 X_i 与 X_j 的相关系数。 $b_i^* (i=1, 2, \dots, p)$ 为变量 X_i 的标准回归系数, 也称为直接通径系数。记 $R_{XX}=(r_{ij}), i, j=1, 2, \dots, p, R_{XY}=(r_{ip+1})_{p \times 1}, \vec{b}^*=(b_1^*, b_2^*, \dots, b_p^*)^T$, 则 $C \triangleq R_{XX} \cdot \text{diag}(\vec{b}^*)$, R_{XY} , 其中 $c_{ii}=b_i^*$ 为变量 X_i 对 Y 的直接通径系数, $c_{ij}(i \neq j)$ 为变量 X_i 通过变量 X_j 对目标变量 Y 的间接通径系数。数据处理在 SAS 软件和 MATLAB 环境下完成^[13-14]。

2 结果与分析

2.1 考察性状的表现及变异分析 参加 2016 年试验的 13 个品种的方差分析(试点效应固定)得出, 各品种小区皮棉产量差异极显著($F=28.22, P=0.000$), 试点间差异极显著($F=620.55, P=0.000$), 品种×试点差异极显著($F=6.82, P=0.000$)。参加 2017 年试验的 13 个品种的方差分析结果与前

者类似, 各品种小区皮棉产量差异极显著($F=25.65, P=0.000$), 试点差异极显著($F=309.44, P=0.000$), 品种×试点差异极显著($F=4.00, P=0.000$)。2016 年参试品种的籽棉产量、皮棉产量、霜前皮棉和衣分的均值分别为 5 507.19 kg/hm²、2 369.88 kg/hm²、2 316.46 kg/hm²、42.86%, 2017 年参试品种的相应指标值分别为 5 543.23 kg/hm²、2 318.42 kg/hm²、2 256.12 kg/hm²、41.95%, 产量均值相近, 由于 2016 年的衣分略高, 因此皮棉产量和霜前皮棉较次年略增。

供试品种数量性状的简单统计结果见表 1。参试品种的皮棉产量(x7)为 2 100.00~2 590.50 kg/hm², 其中中棉所 96A 最高; 衣分(x6)39.50%~44.70%, 其中中棉所 96A 最高; 单铃重(x5)5.20~6.20 g, 中生棉 11X 号与中棉所 49 均达最大; 果枝始节(x1)在 5.10~8.50 节, 其中中棉所 96A 最少, JSH15-35 最大, 株高(x2)为 73.80~90.30 cm。变异系数以果枝始节(x1)最大(19.43%), 果枝数(x3)、单株铃数(x4)和皮棉产量(x7)的变异系数也较大, 分别为 6.08%、5.87%、5.74%。绒长(y1)在 29.40~33.20 mm, 其中桑塔木 6 号的最长; 断裂比强度(y3)为 28.70~33.80 cN/tex, 鸿泰 6636 最大; 麦克隆值(y4)为 3.90~4.80, 其中塔 12-1266 最高, 鸿泰 6636 最低; 纺纱指数(y8)在 139.00~171.00, 鸿泰 6636、AW04 均达到最大, 这反映出该分析资料所涉品种各具特色且类型多样。

表 1 考察数量性状统计

Table 1 Statistics of the quantitative traits examined

项目 Traits	x1 节	x2 cm	x3 个	x4 个	x5 g	x6 %	x7 kg/hm ²	y1 mm	y2 %	y3 cN/tex	y4 %	y5 %	y6 %	y7	y8
均值 Mean	6.66± 1.29	81.61± 4.05	8.50± 0.52	6.98± 0.41	5.75± 0.25	42.41± 1.03	2 344.15± 134.5	31.52± 1.26	84.86± 1.20	30.80± 1.39	4.30± 0.24	6.68± 0.72	79.94± 0.82	7.21± 0.37	154.47± 10.52
最小值 Minimum	5.10	73.80	7.50	6.30	5.20	39.50	2 100.00	29.40	82.80	28.70	3.90	5.20	78.70	6.50	139.00
最大值 Maximum	8.50	90.30	9.30	7.70	6.20	44.70	2 590.50	33.20	86.80	33.80	4.80	7.90	81.80	7.80	171.00
变异系数 CV//%	19.43	4.96	6.08	5.87	4.40	2.43	5.74	3.98	1.41	4.53	5.61	10.72	1.03	5.10	6.81

2.2 参试品种性状的相关分析

2.2.1 产量性状与皮棉产量间的相关分析。 为探讨新疆早中熟棉产量性状与皮棉产量间数量性状之间的相互影响, 进行相关分析(表 2)。结果可见, 7 个性状之间在相关的方向、强度方面错综复杂, 达极显著水平($P < 0.01$)的性状有 5 对, 即果枝始节与果枝数(-0.813^{**})、单株铃数(-0.612^{**})、果枝数与单株铃数(0.689^{**})、单株铃数与单铃重

(-0.517^{**})、衣分与皮棉产量(0.635^{**}), 其中除 2 对为正相关外, 其余均负相关; 达显著水平($P < 0.05$)的性状有 3 对, 即果枝始节与衣分(-0.463^*)、果枝数与单铃重(-0.389^*)、单株铃数与皮棉产量(0.445^*)。这说明在棉花新品种选育过程中应该重点把握对衣分高、结铃性强、果枝数多、果枝始节偏低性状的选择, 这有利于提高棉花的产量。

表 2 植株产量性状与皮棉产量的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between plant yield traits and lint yield

性状 Traits	株高 Plant height	果枝数 Fruit branches	单株铃数 Bolls per plant	单铃重 Single boll weight	衣分 Lint percentage	皮棉产量 Lint yield
果枝始节 First fruit branch	0.101	-0.813^{**}	-0.612^{**}	0.377	-0.463^*	-0.229
株高 Plant height		0.060	0.147	-0.088	0.193	0.270
果枝数 Fruit branches			0.689^{**}	-0.389^*	0.344	0.338
单株铃数 Bolls per plant				-0.517^{**}	0.313	0.445^*
单铃重 Single boll weight					-0.066	0.042
衣分 Lint percentage						0.635^{**}

注: ** 表示在 0.01 水平极显著相关; * 表示在 0.05 水平显著相关

Note: ** indicated extremely significant correlation at 0.01 level; * indicated significant correlation at 0.05 level

2.2.2 纤维品质性状间的相关分析。纤维品质性状之间的相关系数(表 3)显示,达极显著水平($P < 0.01$)的性状有 7 对,即绒长分别与麦克隆值(-0.847^{**})、纺纱指数(0.733^{**})、整齐度分别与黄度(-0.658^{**})、纺纱指数(0.789^{**})、比强度分别与反射率(-0.667^{**})和纺纱指数(0.736^{**})、麦克隆值与纺纱指数(-0.711^{**});在 0.05 水平

上显著的有 4 对,即比强度分别与绒长(0.388^*)、麦克隆值(-0.430^*)、麦克隆值与伸长率(0.389^*)、黄度与纺纱指数(-0.387^*)。这表明在优质棉育种过程中应着重选择绒长长、整齐度和比强度高、麦克隆值和黄度偏低的材料,整齐度高可同时兼顾低黄度。

表 3 纤维品质性状间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between fiber quality traits

纤维品质性状 Fiber quality traits	整齐度 Fiber uniformity	比强度 Fiber strength	麦克隆值 Micronaire	伸长率 Fiber elongation	反射率 Reflectance	黄度 Yellowness	纺纱指数 Spinning consistency index
绒长 Fiber length	0.334	0.388 [*]	-0.847^{**}	-0.286	0.033	-0.260	0.733 ^{**}
整齐度 Fiber uniformity		0.383	-0.260	0.374	-0.225	-0.658^{**}	0.789 ^{**}
比强度 Fiber strength			-0.430^*	-0.287	-0.667^{**}	0.134	0.736 ^{**}
麦克隆值 Micronaire				0.389 [*]	-0.045	0.163	-0.711^{**}
伸长率 Fiber elongation					-0.008	-0.138	-0.059
反射率 Reflectance						-0.319	-0.321
黄度 Yellowness							-0.387^*

注: ** 表示在 0.01 水平极显著相关; * 表示在 0.05 水平显著相关

Note: ** indicated extremely significant correlation at 0.01 level; * indicated significant correlation 0.05 level

2.3 回归分析

2.3.1 皮棉产量对主要产量性状的回归分析。为明确主要产量因素性状对皮棉产量的效应大小,根据分析资料,建立

皮棉产量对除果枝数外所剩 5 个性状的回归方程,相应的方差分析表列于表 4,回归参数的估计及显著性列于表 5。

表 4 皮棉产量对主要产量性状回归的方差分析

Table 4 Analysis of variance for regression of lint yield to major yield traits

来源 Source	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean squares	F	P
模型 Model	5	225 567.59	45 113.52	5.81	0.002
误差 Error	20	155 268.95	7 763.45		
总和 Total	25	380 836.54			

由表 4 可知,回归方程极显著($P = 0.002$),该模型解释皮棉产量变异信息的 59.2% ($R^2 = 0.592$)。表 5 第 5 列 P 值可见,单株铃数与衣分的回归系数均显著;第 2 列的回归系数显示,单株铃数每增(减)1 个,可使皮棉增(减)产 168.74 kg/hm²,单铃重提高(降低)1 g,皮棉将增(减)产

132.71 kg/hm²,衣分升(降)1%,皮棉增(减)产 71.09 kg/hm²,另外 2 个性状对产量影响较小。从标准回归系数可知,各性状对产量的影响按降秩排序为衣分>单株铃数>果枝始节>单铃重>株高,果枝始节和单铃重对皮棉产量的影响重要性基本相同。

表 5 回归参数估计及其显著性

Table 5 Regression parameter estimation and its significance

变量 Variable	参数估计 Parameter estimation	标准误 Standard error	t	P	标准回归系数 Standard regression coefficient
截距 Intercept	-2 959.510	1 082.521	-2.734	0.013	—
果枝始节(x1) First fruit branch	26.527	19.803	1.340	0.195	0.278
株高(x2) Plant height	2.107	4.728	0.446	0.661	0.069
单株铃数(x4) Bolls per plant	168.741	60.771	2.777	0.012	0.560
单铃重(x6) Single boll weight	132.712	83.002	1.599	0.126	0.272
衣分(x7) Lint percentage	71.089	20.413	3.483	0.002	0.593

2.3.2 纺纱指数对主要纤维品质性状的回归分析。为明确主要纤维品质性状对纺纱指数影响的效应大小,建立了纺纱指数(y8)对绒长(y1)、整齐度(y2)、比强度(y3)、麦克隆值(y4)及黄度(y7)的 5 元线性回归方程,相应的方差分析表及回归参数的估计列于表 6、7。

表 6 显示回归方程极显著($P < 0.000 1$),该模型解释纺纱指数变异信息的 99.88% ($R^2 = 0.998 8$)。表 7 结果表明,除黄度的回归系数不显著外,其余各性状的回归系数均极显著。对纺纱指数的正效应以整齐度(4.659)最大,比强度(2.581)次之,而麦克隆值的负效应(-10.387)最强。整齐度

提高(低)1%,能引起纺纱指数升(降)4.66,比强度增(减)1 cN/tex,使纺纱指数升(降)2.58,绒长增(减)1 mm,纺纱指数升(降)1.89,麦克隆值减(增)1,纺纱指数将升(降)10.39,黄度的变化对纺纱指数影响较弱。标准回归系数显示,各性

状对纺纱指数影响(绝对值)大小降秩排序为整齐度>比强度>麦克隆值>绒长>黄度。因此,在棉花优质育种实践中,不仅关注对高整齐度、比强度和绒长性状的选择,还须注重对低麦克隆值性状的选择,这样才有利于提高优质棉选育的效率。

表 6 纺纱指数对主要品质性状回归的方差分析

Table 6 Analysis of variance for spinning consistency index regression to main quality traits

来源 Source	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean squares	F	P
模型 Model	5	2 765.50	553.10	3 445.56	<0.000 1
误差 Error	20	3.21	0.16		
总和 Total	25	2 768.71			

表 7 回归参数估计及其显著性

Table 7 Regression parameter estimation and its significance

变量 Variable	参数估计 Parameter estimation	标准误 Standard error	t	P	标准回归系数 Standard regression coefficient
截距 Intercept	-338.059	12.052	-28.05	<0.000 1	—
绒长(y1) Fiber length	1.889	0.124	15.22	<0.000 1	0.225
整齐度(y2) Fiber uniformity	4.659	0.116	40.32	<0.000 1	0.530
比强度(y3) Fiber strength	2.581	0.083	30.95	<0.000 1	0.342
麦克隆值(y4) Micronaire	-10.387	0.644	-16.13	<0.000 1	-0.238
黄度(y7) Yellowness	0.391	0.363	1.08	0.294 0	0.014

2.4 通径分析 通径分析主要用于探讨各原因变量对目标变量的效应大小及作用方式。以下分别就主要产量性状对皮棉产量、主要纤维品质性状对纺纱指数进行通径分析。

2.4.1 主要产量性状对皮棉产量的通径分析。通径系数(表 8)显示,对皮棉产量直接效应从大到小排序为衣分>单株铃数>果枝始节>单铃重>株高,相应直接通径系数分别为 0.593、0.560、0.278、0.272、0.069,对皮棉产量均有直接正向作用,其中衣分、单株铃数对皮棉产量的直接效应分别达极显著、显著水平(表 5)。衣分的直接通径效应(0.593)居各性状之首,但其通过单株铃数产生的间接正效应(0.175)较强,抵消通过果枝始节产生的间接负效应(-0.129)后,使其最终效应(0.635)最大;单株铃数对皮棉产量的直接效应(0.560)居第 2 位,因其分别通过果枝始节(-0.170)、单铃重(-0.141)

产生较强的间接负效应,最终效应为 0.445,仍居第 2;果枝始节和单铃重 2 个性状虽对皮棉产量的直接效应(0.278、0.272)较大且相差甚微,但因为果枝始节通过单株铃数(x4)和衣分(x6)的间接负效应较强,致使其最终效应降至负值(-0.229),而单铃重通过单株铃数(x4)产生很强的间接负效应(-0.290),导致其对皮棉产量的最终效应接近于 0。株高的直接效应(0.069)虽很小,但其通过衣分有较强的间接正效应(0.115),使其最终净正效应(0.270)较直接效应(0.069)明显增强。从 5 个产量性状对皮棉产量的最终效应看,按(绝对值)从大到小排序为衣分>单株铃数>株高>果枝始节>单铃重。该信息显示在棉花高产育种实践中,应选择高衣分、单株铃数多、果枝始节偏低、植株偏高的性状,同时注重协调衣分、果枝始节、单株铃数间的矛盾。

表 8 主要产量性状对皮棉产量的通径系数

Table 8 Path coefficient of main yield traits to lint yield

性状 Traits	$P_{xi \rightarrow x1-x7}$	$P_{xi \rightarrow x2-x7}$	$P_{xi \rightarrow x4-x7}$	$P_{xi \rightarrow x5-x7}$	$P_{xi \rightarrow x7-x7}$	r_{rix7}
果枝始节(x1) First fruit branch	0.278	0.007	-0.343	0.103	-0.274	-0.229
株高(x2) Plant height	0.028	0.069	0.082	-0.024	0.115	0.270
单株铃数(x4) Bolls per plant	-0.170	0.010	0.560	-0.141	0.186	0.445
单铃重(x5) Single boll weight	0.105	-0.006	-0.290	0.272	-0.039	0.042
衣分(x6) Lint percentage	-0.129	0.013	0.175	-0.018	0.593	0.635

2.4.2 主要纤维品质性状对纺纱指数的通径分析。主要品质性状对纺纱指数的通径系数(表 9)显示,各性状直接效应由大到小(绝对值)排序为整齐度>比强度>麦克隆值>绒长>黄度,其值相应为 0.530、0.342、-0.238、0.225、0.014,麦克隆值对纺纱指数的直接效应为负。最终效应(绝对值)大小排序与直接效应的基本相同。绒长、整齐度、比强度各自通过其他性状产生的间接正效应占绝对优势,另 2 个性状通过其他

性状产生的间接负效应为主。整齐度通过比强度产生较强的间接正效应;比强度通过整齐度(y2)、麦克隆值(y4)均产生较强的间接正效应;而麦克隆值分别通过绒长、整齐度和比强度以及黄度通过整齐度均产生较强的负效应。绒长、整齐度、比强度对纺纱指数最终正效应(0.733、0.789、0.736)均很强;麦克隆值最终负效应(-0.711)很强。将这一信息用于优质棉育种,说明在精心选择绒长较长、整齐度较高、比强度

较大的性状时,应兼顾低麦克隆值和黄度,有益于提高优质棉的育种成效。

表 9 主要品质性状对纺纱指数的通径系数

Table 9 Path coefficient of main quality traits to spinning consistency index

性状 Traits	$P_{y_1 \rightarrow y_1 - y_3}$	$P_{y_1 \rightarrow y_2 - y_8}$	$P_{y_1 \rightarrow y_3 - y_8}$	$P_{y_1 \rightarrow y_4 - y_8}$	$P_{y_1 \rightarrow y_7 - y_8}$	纺纱指数 Spinning consistency index
绒长(y1) Fiber length	0.225	0.177	0.133	0.201	-0.004	0.733
整齐度(y2) Fiber uniformity	0.075	0.530	0.131	0.062	-0.009	0.789
比强度(y3) Fiber strength	0.087	0.203	0.342	0.102	0.002	0.736
麦克隆值(y4) Micronaire	-0.191	-0.138	-0.147	-0.238	0.002	-0.711
黄度(y7) Yellowness	-0.059	-0.349	0.046	-0.039	0.014	-0.387

3 结论与讨论

表型性状用于检测遗传变异具有直观简易的优点,是鉴定和利用种质资源的基础。该研究结果显示,新疆早中熟棉新品种主要性状变异丰富,主要农艺性状的变异系数以果枝始节、果枝数、单株铃数和皮棉产量较大;品质性状的变异系数以伸长率最大,其次是纺纱指数和麦克隆值,这些性状的选择范围较宽,与戴宝生等^[10,15-16]的研究结果基本一致,都得出这几个性状的变异系数较大,但从大到小的排序不相同,反映了分析品种群体间存在一定的差异,同时某些性状又有一定的相似性,董承光等^[11]均得出果枝始节的变异性最高。除伸长率外,其余几个品质性状的变异系数均较小,这与文献[12]结果相近。要实现优质育种目标,应选择纤维品质优势突出的材料做亲本进行品质改良,未来优质育种还应借助远缘杂交手段探索创造新种质的有效途径。

产量与产量性状相关及通径分析的结果显示,单株铃数、衣分和单铃重对皮棉产量的贡献较大,这与陈荣江等^[1,12,17]的研究结果基本一致,但单铃重与皮棉产量的相关强度同文献[1]的结论存有差异,而与张荣斌等^[18]的研究结果不同,这可能是试验材料和生态环境不同所致。适当降低果枝始节有利于提高单株铃数和衣分,单铃重的提高会对单株铃数产生很强的负向作用。因此,在育种实践上不可盲目追求大铃,应注重产量构成 3 因子的协调发展。

该研究材料的品质性状相关及通径分析得出,比强度、整齐度、绒长和麦克隆值是影响纤维品质的重要因素,均与纺纱指数极显著相关,相应的最终效应也因通过其他性状的间接作用得以加强,而麦克隆值、黄度对纺纱指数的负向作用主要是通过其他性状的间接作用形成。该结论与刘翔宇等^[1]的研究结果在相关强度方面基本相同,但相关的方向存在差异,在直接效应和最终效应形成的机制方面与张西英等^[19]的研究结果基本一致。所得结果的差异可能是由于试验所用材料及其生态环境不同造成的。在优质棉育种进程中,要特别注重对品质性状的优势亲本的利用,在选择绒长较长、整齐度较高和比强度较大性状的同时,应兼顾低麦克隆值和黄度,这有利于提高棉花优质育种的效果。

该研究所涉各品种的皮棉产量中,中棉所 96A (2 509.50 kg/hm²)、桑塔木 6 号 (2 545.50 kg/hm²)、塔 11-1347 (2 518.50 kg/hm²) 分别居前 3 名,可用作高产育种材料,有望成为推广品种。从纤维品质性状表现来看,绒长 ≥ 33 mm 只有桑塔木 6 号和 HD02;比强度以鸿泰 6636 最高,

达 34.80 cN/tex;AW04 的整齐度最高,达 86.80%,纤维长度和比强度也较好;麦克隆值属于 A 级(3.7~4.2)或中等偏高的 B1 级(4.3~4.9)的品种几乎各占 50%,鸿泰 6636 和 HD02 最低(3.90);纺纱指数 ≥ 155 的品种占 65%,其中 HD02 与 AW04 最高(171.00)。因此以上新品种可作优质育种材料。

随着现代育种技术的发展,借助分子生物学方法研究表明,棉花产量、纤维品质性状 QTL 在染色体上呈现成簇分布的特点^[20-21]。通过多品种互交、修饰性回交等方法能够打破性状间的连锁,实现各性状得到同步改良的成效^[22-24]。该研究的相关性和通径分析充分说明棉花性状间的制约和促进关系并存,部分解释了不同产量性状、纤维品质性状的基因可能紧密连锁或一因多效,也表明仅注重对个别性状进行选择难以奏效,应综合考虑各性状的内在联系从而提高育种效果。在早中熟优质高产棉花育种中,应注意协调好果枝始节与株高、单株铃数、单铃重、衣分等早熟性状与产量性状间的关系,实现棉花早熟高产的协同改良。所以,应将远源杂交、诱变育种、分子标记等现代育种技术与常规育种相结合,探索棉花育种更有效的途径,以求在高产优质方面取得新突破。

参考文献

- [1] 刘翔宇,赵龙,巴哈尔古丽·先木西,等.新疆陆地棉种质资源的综合评价[J].中国农业科学,2017,50(24):4679-4691.
- [2] 范术丽.中国短季棉改良创新三十年:喻树迅院士文集[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013:418-425.
- [3] 喻树迅.中国短季棉育种学[M].北京:科学出版社,2007:407-431.
- [4] 李胃.中国棉花育种研究 60 年的进展及展望[J].西北农业学报,2017,26(12):1732-1753.
- [5] 梅拥军,郭伟锋,熊仁次.陆地棉产量组分对皮棉产量的遗传贡献分析[J].棉花学报,2007,19(2):114-118.
- [6] 齐海坤,严根土,王宁,等.机采棉杂交后代主要株型性状与产量和品质的关系[J].棉花学报,2017,29(5):456-465.
- [7] 徐滩喜,王旭文,田琴,等.新疆早熟陆地棉种质资源遗传多样性及纤维品质性状 SSR 关联分析[J].棉花学报,2020,32(3):233-246.
- [8] 秦永生,刘任重,梅鸿斌,等.陆地棉产量相关性状的 QTL 定位[J].作物学报,2009,35(10):1812-1821.
- [9] 孙振纲,姜艳丽,陈耕,等.27 个陆地棉新种质材料主要性状研究及聚类分析[J].山西农业科学,2015,43(7):773-776.
- [10] 戴宝生,卢华平,李蔚,等.棉花新品种产量与主要数量性状的相关及通径分析[J].湖北农业科学,2016,55(24):6385-6388.
- [11] 董承光,王娟,周小凤,等.新疆陆地棉品种资源的主成分分析和聚类分析[J].西南农业学报,2016,29(8):1798-1805.
- [12] 戴茂华,王瑞清,刘丽英,等.冀中南棉花产量品质性状的相关及通径分析[J].江西农业学报,2015,27(8):10-15.
- [13] 胡良平.SAS 高级统计分析教程[M].2 版.北京:电子工业出版社,2016:71-136.
- [14] 张德丰.MATLAB R2015b 数值计算方法[M].北京:清华大学出版社,2017:25-68.

照统一的栽培措施、栽培技术进行试验种植,各供试品种(系)在生育期、农艺性状、病虫害抗性等方面的特征特性得

到了较充分体现,反映了各品种(系)的特点。

表 7 不同烤烟品种(系)经济性状比较

Table 7 Comparison of the economic characters of different flue-cured tobacco varieties (lines)

品种(系)名称 Variety (line) name	单叶重 Single leaf weight//g	产量 Yield kg/hm ²	均价 Average price 元/kg	产值 Output value 元/hm ²	上等烟比例 First-class tobacco proportion//%	中等烟比例 Medium- class tobacco proportion//%	上中等烟比例 First-and medium- class tobacco proportion//%
湘烟 3 号 Xiangyan No.3	8.9 b	2 109.4 a	28.26 a	59 611.6 a	67.9 a	28.8 a	96.7 a
湘烟 5 号 Xiangyan No.5	8.6 b	1 985.7 b	23.93 a	47 517.8 b	56.4 a	35.9 a	92.3 a
湘烟 7 号 Xiangyan No.7	9.7 a	2 219.4 a	27.61 a	61 277.6 a	64.9 a	31.4 a	96.3 a
20619	8.9 b	2 088.4 a	25.74 a	53 755.4 a	62.4 a	33.7 a	96.1 a
HN230	9.2 b	2 133.5 a	24.88 a	53 081.5 a	59.2 a	36.7 a	95.9 a
云烟 87 Yunyan 87(CK)	8.8 b	2 095.5 a	25.27 a	52 953.3 a	61.2 a	35.5 a	96.7 a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

该试验结果表明,从生育期来看,湘烟 7 号和 20619 现蕾较云烟 87(CK)晚,生育期较长,在生产上有影响后茬作物的可能。从植物学性状来看,湘烟 5 号田间整齐度较差,移栽后 50 d 生长势表现一般,湘烟 7 号和 HN230 移栽后 25 d 的生长势均优于云烟 87。从主要农艺性状来看,各供试品种(系)差异主要表现在有效叶数和节距,即湘烟 7 号有效叶数显著多于其他供试品种(系),节距显著小于其他供试品种(系)。从抗病性来看,湘烟 3 号普通花叶病发病率低于云烟 87(CK);湘烟 7 号相较云烟 87(CK)黑茎病和赤星病抗性优势明显,但普通花叶病发病率略高于对照,湘烟 5 号抗病性表现较差。从烤后原烟的外观质量来看,湘烟 5 号和 HN230 品种(系)C3F 等级烟叶外观质量略差于云烟 87(CK),湘烟 7 号略好于对照。从综合经济性状可以看出,在供试品种(系)中综合表现较好是湘烟 3 号、湘烟 7 号,其在单叶重、产量、均价、产值、烟叶上等烟比例方面都优于云烟 87(CK),与其他供试品种(系)相比也具有一定的优势,但湘烟 7 号除单叶重显著大于对照外,其他方面两者差异并不显著;湘烟 5 号由于病害发生偏重,其单叶重、产量均价、产值和上等烟比例和上中等烟比例均低对照。

综合分析认为,湘烟 7 号整体表现优于当地主栽品种云

烟 87(CK),但应注意移栽期的选择不能过晚;湘烟 3 号、20619 表现与对照相当,湘烟 5 号田间长势和抗病性表现较差。综上所述,湘烟 7 号、湘烟 3 号、20619 可作为推广品种(系)加大示范种植面积,同时做好其内在化学成分分析和感官评吸质量分析等工业验证分析。

参考文献

- [1] 肖钦之,邹凯,尹光庭.邵阳烟区烤烟适应性品种筛选[J].湖南农业科学,2018(4):13-16,20.
- [2] 李天福,王树会,王彪,等.云南烟叶香吃味与海拔和经纬度的关系[J].中国烟草科学,2005,26(3):22-24.
- [3] 李卫红.贵州的地质土壤环境与烤烟生产[J].安徽农业科学,2007,35(28):8914-8915,8918.
- [4] 温永琴,徐丽芬,陈宗瑜,等.云南烤烟石油醚提取物和多酚类与气候要素的关系[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2002,28(2):103-105.
- [5] 王彪,李天福.气象因子与烟叶化学成分关联度分析[J].云南农业大学学报,2005,20(5):742-745.
- [6] 曹阳,钟俊周,文国宇,等.种植密度对烤烟生长发育及烘烤特性的影响[J].安徽农业科学,2018,46(28):35-37.
- [7] 余金龙,陈夏晔,郭婷,等.桂阳烟区烤烟新品种区域试验研究[J].安徽农业科学,2020,48(9):46-48,52.
- [8] 罗琳,王勇,刘东阳,等.不同烤烟品种(系)在凉山烟区的适应性研究[J].安徽农业科学,2019,47(12):41-43,56.
- [9] 张兆扬,李佳颖,汪孝国,等.烤烟新品种延安 1 号在豫西烟区的生态适应性研究[J].湖南农业科学,2020(10):24-27.
- [10] 卢江,陈鹏,董均方,等.3 个烤烟品种(系)在盘县烟区的适应性[J].贵州农业科学,2017,45(3):37-40.

(上接第 45 页)

- [15] 张西英,刘江娜,张庭军,等.海岛棉早熟和产量性状的典型相关及通径分析[J].浙江农业学报,2018,30(8):1295-1302.
- [16] 吴翠翠,李朋波,杨六六,等.晋棉品种主要农艺性状差异性和聚类分析[J].湖北农业科学,2015,54(7):1552-1555.
- [17] 陈荣江,孙长法,包东娥,等.棉花高产优质育种数量性状选育模式参数的研究[J].西北农业学报,2013,22(9):74-81.
- [18] 张荣斌,王潭刚.对 13 个杂交棉品种的产量与性状间逐步回归分析[J].棉花科学,2014,36(2):19-22.
- [19] 张西英,朱永军,李金荣,等.海岛棉产量性状与品质性状的典型相关及通径分析[J].石河子大学学报(自然科学版),2010,28(3):290-293.
- [20] 王义青,李俊文,石玉真,等.陆地棉高品质品系纤维品质性状 QTL 的

分子标记及定位[J].棉花学报,2010,22(6):533-538.

- [21] 张建宏,王淑芳,石玉真,等.转基因抗虫棉产量相关性状 QTL 的分子标记及定位[J].棉花学报,2008,20(3):179-185.
- [22] HUSSAIN A, AZHAR F M, ALI M A, et al. Genetic studies of fibre quality characters in upland cotton [J]. Journal of animal and plant sciences, 2010, 20(4): 234-238.
- [23] RASHEED A, RIZWAN M, CHEEMA J I, et al. Genetic studies on variation for fiber quality traits in upland cotton [J]. Journal of plant breeding & genetics, 2014, 2(1): 1-5.
- [24] PERCY R G, CANTRELL R G, ZHANG J F. Genetic variation for agronomic and fiber properties in an introgressed recombinant inbred population of cotton [J]. Crop science, 2006, 46(3): 1311-1317.