

晒晾烟重要农艺性状遗传分析

戴培刚¹, 罗成刚¹, 唐义芝², 陈维建², 张华述², 程立锐¹

(¹中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; ²四川省烟草公司德阳分公司, 什邡 618400)

摘要:以 8 个优良的晒晾烟品种(系)为亲本, 配置完全双列杂交, 进而利用基于混合线性模型的统计学方法, 对晒晾烟株高、叶数、节距、腰叶长、腰叶宽以及茎围 6 个主要农艺性状进行遗传分析。结果表明, 在多数农艺性状遗传中加性效应和显性效应都起重要作用, 但所占比例有所不同, 腰叶长和叶数主要受加性效应影响, 而株高、节距、腰叶宽和茎围性状显性效应起主要作用; 6 种重要农艺性状狭义遗传率由高到低分别为: 腰叶长 > 叶数 > 株高 > 节距 > 腰叶宽 > 茎围, 其中, 腰叶长和叶数狭义遗传率较高, 分别为 0.35 和 0.33, 适合进行早代选择。另外, 估算了供试材料的遗传效应值, 并对各亲本及组合的育种利用价值进行了评价。本研究为晒晾烟重要农艺性状遗传改良提供了一定的理论依据。

关键词:晒晾烟; 农艺性状; 加性-显性遗传模型; 遗传分析

The Genetic Analysis of Important Agronomic Traits in Sun-cured Tobacco

DAI Pei-gang¹, LUO Cheng-gang¹, TANG Yi-zhi², CHEN Wei-jian², ZHANG Hua-shu², CHENG Li-rui¹

(¹Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural

Sciences, Qingdao 266101; ²Sichuan Tobacco Corporation Deyang Branch, Shifang 618400)

Abstract: By using a genetic model including additive and dominance effects, six important agronomic traits including plant height (PH), number of leaves (LN), length of internodes (IL), length of leaves (LL), width of leaves (LW), and stem girth (SG) in sun-cured tobacco were analyzed for a complete diallel mating designed with 8 sun-cured tobacco cultivars or breeding lines and their 28 F₁. The results showed that additive effect and dominance effect played important roles in most of agronomic traits in sun-cured tobacco. For 6 agronomic traits, LL and LN were mainly controlled by additive effect, while PH, IL, LW, and SG were mainly controlled by dominance effect. The narrow heritabilities of 6 different traits were LL > LN > PH > IL > LW > SG, and the narrow heritabilities for LL and LN were 0.35 and 0.33, respectively, which was relatively high and could be taken in early generations. In addition, the values of additive and dominance effects were estimated and the potential breeding values of different parents and crosses for improvements of different agronomic traits were discussed in respect to predict values of genetic effects.

Key words: sun-cured tobacco; agronomic traits; A-D genetic model; genetic analysis

烟草 (*Nicotiana tabacum* L.) 是重要的经济作物之一, 在国民经济中起重要作用。烟草生产以收获烟叶为目的, 其主要农艺性状如株高、叶数、叶长和叶宽等与产量、品质以及抗性有密切关系^[1-2], 是烟草育种改良过程中重点考虑的育种目标, 但是烟草的株高、叶数、叶长和叶宽等主要农艺性状属于数量性状, 易受环境影响, 遗传基础复杂。因此, 采用合

理的分析方法, 阐述其遗传规律, 有助于通过有效的育种途径和方法, 配置合理的组合, 充分利用杂种优势, 提高育种的效率。

基于混合线性模型分析方法是一种行之有效的研究植物遗传规律的理论^[3-6], 该方法可以提供各种遗传模型, 分析不同亲本及杂交组合的遗传效应值, 可为育种方法选择、组合选配提供理论基础。目前, 该理论已

收稿日期: 2013-07-05 修回日期: 2013-09-19 网络出版日期: 2014-01-24

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/10.13430/j.cnki.jpgr.2014.02.033.html>

基金项目: 四川省烟草专卖局专项(201202001); 中国农业科学院基本科研业务经费增量项目(2012ZL055)

第一作者研究方向为烟草栽培学。E-mail: daipeigang@caas.cn

通信作者: 程立锐, 研究方向为烟草分子育种。E-mail: chenglirui@caas.cn

经在玉米、棉花、水稻和油菜等^[7-10]作物中广泛应用。在烟草中,利用混和线性模型统计分析理论对不同农艺性状的遗传研究主要集中在烤烟上,肖炳光等^[11]以 14 个烤烟品种(系)及其相应 F_1 组合为遗传材料,利用基于混合线性模型统计分析方法分析了主要农艺性状对产量的遗传贡献率,结果表明不同农艺性状对产量的贡献率因亲本差异而异,其中,腰叶长可作为间接选择组合产量显性效应的指标;同时,利用相同材料,对株高、节距、腰叶长宽等 7 个农艺性状进行了遗传分析,结果表明大多数性状为正相关,且遗传多以加性效应为主^[12];胡日生等^[13]以 4 个亲本及 12 个杂交组合为材料,利用混合线性模型分析方法对烤烟株高、有效叶数、叶长等 8 个农艺性状进行了遗传分析,获得了杂种优势表现较强的优势组合;巫升鑫等^[14]以 5 个烤烟品种及其配置的完全双列杂交为遗传材料,分析了烤烟 8 个主要农艺性状的遗传规律,结果表明烤烟性状杂种优势多数表现正向优势。

烟草生产上,由于对烟叶的使用要求、栽培措施、调制方法和自然环境条件等方面的差异,形成了多种多样的类型。按烟叶品质特点、生物学性状和栽培调制方法分类,把栽培烟草分为烤烟、晒烟、晾烟、白肋烟、香料烟、黄花烟和野生种 7 个类型^[15]。其中,晒晾烟生产历史悠久,具有丰富的遗传多样

性,可以有效解决当前烤烟育种过程中面临的遗传背景狭窄的问题;同时,晒晾烟在现代卷烟生产中,不仅可以作为混合型卷烟原料,而且在烤烟型卷烟配方中也是一种很好的卷烟性原料,很好地满足了我国烤烟型卷烟产品结构的中式卷烟生产,但是以往烟草主要农艺性状的遗传研究主要集中在烤烟上,而针对晒晾烟的遗传研究较少,晒晾烟重要农艺性状遗传规律研究长期被忽视^[16]。

本研究以 8 个优良的晒晾烟品种(系)为亲本,配置完全双列杂交,进而利用基于混合线性模型的统计学方法对晒晾烟株高、叶数、节距、腰叶长、腰叶宽以及茎围 6 个主要农艺性状进行遗传分析,研究其遗传规律,旨在为晒晾烟重要农艺性状遗传改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以 8 个晒晾烟品种(系)为亲本两两杂交配置 28 个组合,8 个亲本及 28 个正交 F_1 组成 GriffingII 型完全双列杂交^[17]。8 个亲本分别为 3041、3002、寸三皮、晒 92414、小花青、青梗、大白筋 599 和塘蓬(编号为 1~8)。杂交组合 F_1 共 28 个,编号列于表 1。

表 1 不同杂交组合编号

Table 1 Codes of different crosse combinations

	3041	3002	寸三皮	晒 92414	小花青	青梗	大白筋 599	塘蓬
	3041	3002	Cun san pi	Shai 92414	Xiaohuaqing	Qinggeng	Dabajin 599	Tangpeng
3041		组合 9	组合 10	组合 11	组合 12	组合 13	组合 14	组合 15
3002			组合 16	组合 17	组合 18	组合 19	组合 20	组合 21
寸三皮				组合 22	组合 23	组合 24	组合 25	组合 26
晒 92414					组合 27	组合 28	组合 29	组合 30
小花青						组合 31	组合 32	组合 33
青梗							组合 34	组合 35
大白筋 599								组合 36
塘蓬								

1.2 试验方法

试验于 2013 年在四川省什邡市德阳烟草公司试验基地进行,随机区组设计,2 次重复,株行距 50 cm × 120 cm,亲本及 F_1 组合每个小区种植 50 株,每个小区选择生长相对一致的 5 株测量株高(PH)、叶数(LN)、节距(IL)、腰叶长(LL)、腰叶宽(LW)和茎围(SG)。各农艺性状测量标准参照国家标准

YC/T 142-1998 执行^[18]。

以小区 5 株植株相关性状平均值为抽样单位,运用 QGA Station 分析软件进行分析。运用混合线性模型估算方差分量和预测遗传效应值^[4-5],采用加性-显性(A-D)遗传模型进行分析,运用 MINQUE 法估算方差分量,用 Jackknife 方法计算各遗传参数的估计值及其标准误,采用 T 测验对遗传参数做统计检验。

2 结果与分析

2.1 烟草重要农艺性状方差分量遗传分析

参试的 6 种农艺性状的方差分量和所占总方差变异的比率列于表 2。结果表明,6 种重要农艺性状中只有茎围的加性方差占表型方差的比率(VA/VP)和叶数性状的显性方差占表型方差的比率(VD/VP)差异没有统计学意义,其他性状的 VA/VP 和 VD/VP 的差异有统计学意义,表明加性效应和显性效应在绝大多数烟草重要农艺性状遗传中起重要作用。

株高性状遗传中加性方差比率和显性方差比率分别为 0.24 和 0.62,显性效应在株高遗传中起主要作用,表明株高改良,通过利用杂种优势可以获得更显著效果。从图 1 可知,各亲本中正向加性效应较高的依次为塘蓬、大白筋 599 和小花青;负向加性效应较高的为寸三皮和 3041,在株高改良中可以利用这些亲本。28 个组合中,组合 18、19、13、34 和 28 正向显性效应差异有统计学意义,组合 31、14 和 20 的负向显性效应差异有统计学意义,结果表明这几个组合在株高改良中可以优先考虑。

叶数性状遗传加性方差比率为 0.33,显性效应比率为 0,表明叶数改良适合进行早期世代选择。3002 和大白筋 599 表现显著的正向加性效应,表明这两个亲本在叶数改良中可优先考虑。

节距性状遗传中加性方差比率和显性方差比率分别为 0.15 和 0.47,显性效应在节距遗传中起主要作用,表明节距改良利用杂种优势可以获得更显著效果。亲本青梗正向加性效应差异有统计学意义,亲本寸三皮负向加性效应差异有统计学意义。从图 2 可知,28 个组合中,组合 33、19 和 32 的正向显性效应差异有统计学意义,组合 26、34、14 和 30 的负向显性效

应差异有统计学意义,因此,在节距改良中,应该优先考虑不同组合,利用杂种优势进行改良。

腰叶长性状遗传中加性方差比率和显性方差比率分别为 0.35 和 0.092,加性效应在腰叶长遗传中起主要作用,表明腰叶长改良适合进行早期世代选择。3041、寸三皮和大白筋 599 正向加性效应差异有统计学意义,小花青和青梗负向加性效应差异有统计学意义,说明在腰叶长改良中应该避免选择小花青和青梗,优先考虑 3041、寸三皮和大白筋 599。28 个组合中,只有组合 10 和 28 的正向显性效应差异有统计学意义,组合 9、31 和 22 的负向显性效应差异有统计学意义,因此,在利用杂种优势进行腰叶长改良中,应该优先考虑组合 10 和 28。

腰叶宽性状遗传中加性方差比率和显性方差比率分别为 0.14 和 0.35,显性效应在腰叶宽遗传中起主要作用,表明腰叶宽改良,通过利用杂种优势可以获得更显著效果。3041、晒 92414 和大白筋 599 正向加性效应差异有统计学意义,腰叶宽改良中可以利用这 3 个亲本;负向加性效应较高的为小花青,腰叶宽改良中利用该亲本可能不会获得好的效果。28 个组合中,组合 12 和 34 的正向显性效应差异有统计学意义,组合 9、31 和 20 的负向显性效应差异有统计学意义,因此,在利用杂种优势进行腰叶宽改良中,应该优先考虑组合 12 和 34。

茎围性状遗传中显性方差分量比率为 0.63,加性方差比率为 0,显性效应在茎围遗传中起主要作用,表明茎围改良通过利用杂种优势可以获得更显著效果。杂交组合 16、22、10、11 和 34 的正向显性效应差异有统计学意义,组合 31 的负向显性效应差异有统计学意义。

表 2 烟草主要农艺性状遗传方差分量及比率

Table 2 Genetic variance component and ratio of variance component for different traits in tobacco

参数 Parameters	株高 PH	叶数 LN	节距 IL	腰叶长 LL	腰叶宽 LW	茎围 SG
加性方差 VA	135.65 **	3.54 **	0.14 **	19.88 **	1.71 **	0
显性方差 VD	335.12 **	0	0.43 **	5.21 **	4.16 **	0.32 **
加性方差比率 VA/VP	0.24 **	0.33 **	0.15 **	0.35 **	0.14 **	0
显性方差比率 VD/VP	0.62 **	0	0.47 **	0.092 *	0.35 **	0.63 **
表型方差 VP	565.21	10.73	0.93	56.8	12.21	0.51

*, ** 分别代表差异显著程度达到 0.05 水平和 0.01 水平。下同

*, ** represent significant differences at levels of $P < 0.05$ and 0.01 , respectively, VA: Additive variance, VD: Dominant variance, VP: Phenotypic variance, PH: Plant height, LN: No. of leaves, IL: Intemode length, LL: length of leaves, LW: Width of leaves, SG: Stem girth, The same as below

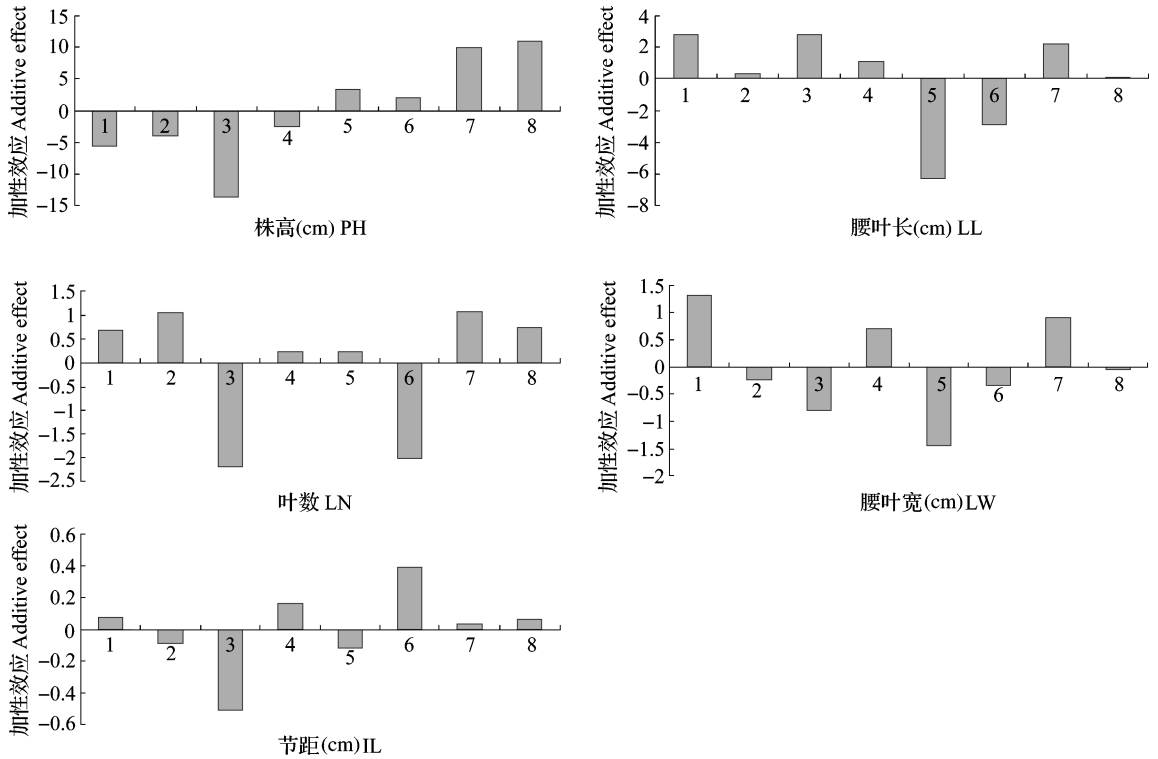


图 1 各亲本主要农艺性状加性效应值

Fig. 1 The value of additive effects on different traits in different parents

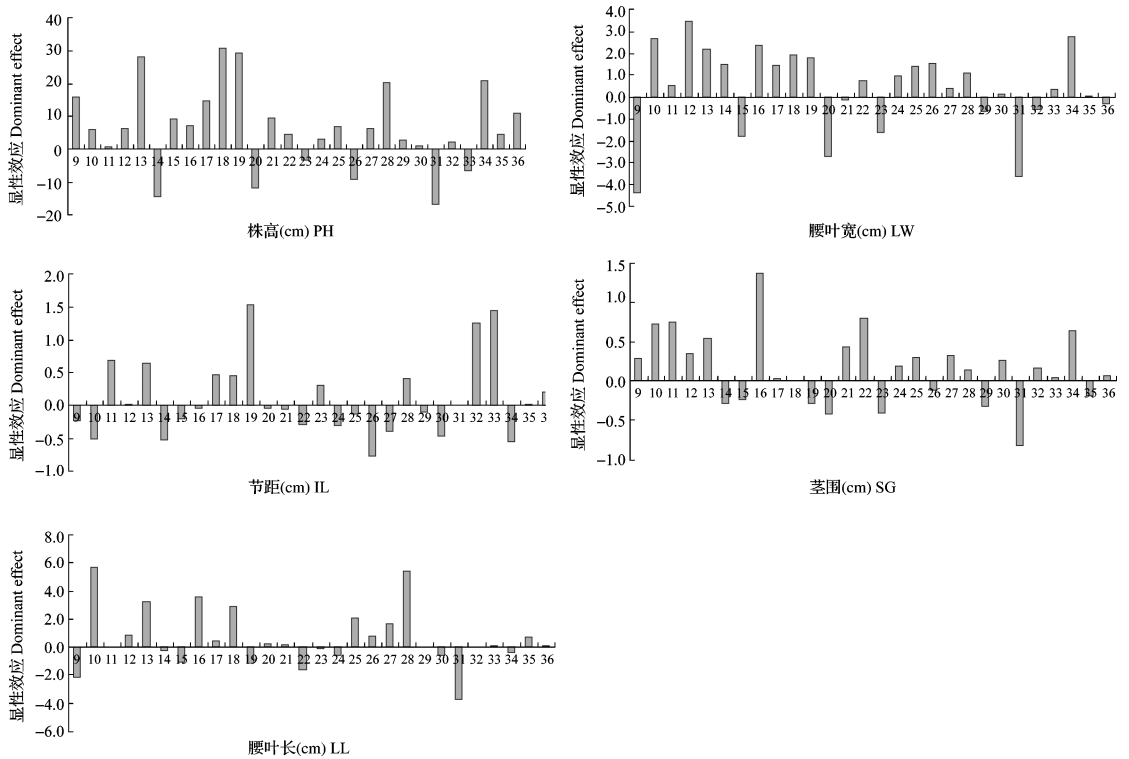


图 2 不同组合农艺性状显性效应值

Fig. 2 The value of dominant effects on different traits in different cross combinations

2.2 遗传率分析

6 种农艺性状的狭义遗传率和广义遗传率列于表 3。总体来看,广义遗传率在所有 6 个农艺性状

中都达到显著水平,狭义遗传率在除茎围性状外的其他 5 个性状中也达到显著水平。其中,6 种农艺性状的狭义遗传率从高到低依次为腰叶长 > 叶

数 > 株高 > 节距 > 腰叶宽 > 茎围,腰叶长和叶数狭义遗传率较高,分别为 0.33 和 0.35,表明腰叶长和

叶数性状较其他 4 种农艺性状进行早代选择和遗传改良可以获得较好的效果。

表 3 烟草主要农艺性状的遗传率估计值

Table 3 Heritability in different traits in tobacco

遗传率 Heritability	株高 PH	叶数 LN	节距 IL	腰叶长 LL	腰叶宽 LW	茎围 SG
狭义遗传率 Narrow heritability	0.24 **	0.33 **	0.15 **	0.35 **	0.14 **	0
广义遗传率 Broad heritability	0.85 **	0.33 **	0.63 **	0.44 **	0.50 **	0.63 **

2.3 烟草不同农艺性状相关分析

性状间各种相关系数结果表明(表 4),各成对性状间的基因型相关系数和表型相关系数多呈现正相关,且相关系数较高,在 15 对性状中分别有 8 对和 110 对性状的基因型相关系数和表型相关系数大

于 0.30;与此相似,多数成对性状的加性相关系数和显性相关系数也多为正向相关,相关系数较大,其中,在 15 对性状中有 8 对性状的加性相关系数大于 0.30;在显性相关系数中,15 对性状有 8 对性状的显性相关系数大于 0.30。

表 4 烟草主要农艺性状的相关分析

Table 4 Correlation coefficients of different agricultural traits in tobacco

	株高 PH	叶数 LN	节距 IL	腰叶长 LL	腰叶宽 LW	茎围 SG
株高 PH		0.55 ** (0)	0.66 ** (0.40)	-0.72 (1.00 **)	-0.21 (0.63 **)	0 (0.75 **)
叶数 LW	0.58 ** (0.30 **)		0.31 (0)	0.025 (0)	0.43 ** (0)	0 (0)
节距 IL	0.46 ** (0.40 **)	0.27 * (-0.17)		-0.47 ** (0.70)	0.75 (0.20)	0 (0.079)
腰叶长 LL	0.09 (0.10)	-0.26 ** (0.33 **)	0.071 (-0.085)		0.76 ** (0.76 **)	0 (0.96 **)
腰叶宽 LW	0.39 * (0.31 **)	0.29 (0.46 **)	0.63 ** (0.38 **)	0.65 * (0.68 **)		0 (0.68 **)
茎围 SG	0.47 ** (0.32 **)	0.1 (0.35 **)	-0.022 (-0.11)	0.59 * (0.49 **)	0.54 * (0.52 **)	

右上角为加性效应相关系数,括号内为显性效应相关系数;左下角为基因型相关系数,括号内为表型相关系数

Outside and in parentheses in upper right corner were additive correlation coefficient and dominance correlation coefficient, respectively. Outside and in parentheses in upper left corner were genotypic correlation coefficient and phenotypic correlation coefficient, respectively

3 讨论

晒晾烟是我国最早引进和栽培的烟草品种,到目前已经有 500 多年历史。在长期的自然和人工选择中,形成了不同生态型的晒晾烟品种。充分发掘和利用丰富的地方性晒晾烟种质资源,研究其遗传特性,对拓宽烟草育种的遗传基础具有重要意义^[19-20]。同时,晒晾烟是生产雪茄烟和混合型卷烟的原材料,也是开发新式卷烟的重要基础,但是由于晒晾烟生产长期缺乏科学指导,品种间遗传特点及遗传关系不清已经成为制约晒晾烟种质资源改良和利用的主要限制因素,因此,对晒晾烟重要农艺性状的遗传规律进行系统的分析和研究对高效改良和合理利用晒晾烟种质资源具有重要意义。

烟草重要农艺性状大多都呈现数量性状遗传特点,受微效多基因控制,易受环境影响。目前,基于表型数据研究数量性状遗传规律的方法主要有两种,分别为基于混合线性模型的统计分析方法和基于主基

因加多基因遗传模型的分析方法^[21-25]。基于混合线性模型的统计方法分析加性-显性遗传模型,可以在估算遗传方差的同时预测遗传效应值,有效地解决了传统方法无法分析复杂遗传模型,不能对不规则缺失的非平衡数据进行分析的问题^[26],同时较主基因加多基因分析方法,基于混合线性模型的统计方法只需要两世代就可以分析,操作简单易行,适合各交配设计。因此,基于混合线性模型的统计方法是一种行之有效的分析烟草重要农艺性状遗传规律的手段。

前人研究结果表明,烤烟主要农艺性状遗传以加性效应为主,同时具有上位性和显性效应^[27-29]。本研究结果与前人研究结果基本一致,但是加性效应和显性效应所起的作用与前人报道有所不同,这可能与采用的试验材料和试验环境不同有关。本研究结果表明,除茎围性状外,加性方差所占比率在其他 5 个农艺性状中差异有统计学意义,因此纯系选择在晒晾烟重要农艺性状改良中是较为有效的方法;显性效应比率在叶数和腰叶长性状遗传中差异

无统计学意义,在另外 4 个性状中差异有统计学意义。因此,在利用杂种优势对晒晾烟改良过程中,针对不同性状要区别对待,才可能在育种过程中达到事半功倍的效果。组合 34 的亲本分别为大白筋 599 和青梗,大白筋 599 是具有特殊香气的优质烟草品种,其遗传亲缘关系更接近于烤烟,而青梗是广东著名的晒黄烟,两种不同类型的烟草种质杂交,因其亲缘关系较远,其 F_1 的杂种优势非常明显。但是,很多农艺性状都存在负相关关系,例如产量和品质性状等,因此在烟草中如何充分发掘和利用晒晾烟中蕴含的丰富遗传资源,实现多种性状的协同改良是今后研究的一个重要方向。

相关分析可以为多性状协同改良及目标性状间接选择提供理论依据。很多研究者已经就烟草的主要农艺性状的相关性进行了分析^[30-31]。大多数研究认为株高、叶数、叶长和叶宽等主要农艺性状都与产量有显著相关。在本研究中,将遗传相关分为加性遗传相关、显性遗传相关、基因型相关和表型相关,结果表明株高与叶数、节距之间显性遗传相关差异不显著,在加性遗传相关和表型相关中都达到极显著正相关,说明株高与叶数、节距之间存在着密切关联,但受不同组合影响较小;在腰叶长和腰叶宽之间显性遗传相关、加性遗传相关、基因型相关和表型相关差异都达到显著或极显著,说明腰叶长和腰叶宽性状存在密切关联,同时又受不同组合的影响。而对于其他两两性状相关分析,其各相关结果变化较大。因此在进行多性状协同改良时,充分考虑环境、亲本选配对农艺性状遗传的影响是十分重要的。

参考文献

- [1] Pandeya R S, Dirks V A, Poushinsky G. Quantitative genetic studies in flue-cured (*Nicotiana tabacum* L.). I. Agronomic characters [J]. *Can J Genet Cytol*, 1983, 25: 336-345
- [2] 牛佩兰, 刘洪祥, 刘伟. 烤烟几个主要数量性状相关遗传力的初步研究[J]. *中国烟草*, 1984, 5(4): 4-5
- [3] Zhu J. Mixed model approaches for estimating genetic variance and covariance [J]. *J Biomath*, 1992, 7(1): 1-11
- [4] 朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997
- [5] Zhu J. Analysis of conditional genetic effects and variance components in developmental genetics [J]. *Genetics*, 1995, 141: 1633-1639
- [6] Atchley W R, Zhu J. Developmental quantitative genetics, conditional epigenetic variability and growth in mice [J]. *Genetics*, 1997, 147: 765-776
- [7] 王玉杰, 林秀云. 玉米籽粒含油量的遗传分析[J]. *玉米科学*, 1997, 5(3): 20-33
- [8] 郭伟峰, 曹新川, 胡守林, 等. 海岛棉单株成铃性状的发育遗传研究[J]. *棉花学报*, 2010, 22(1): 83-88
- [9] 石春海, 吴建国, 樊龙江, 等. 不同环境条件下稻米透明度的发育遗传分析[J]. *遗传学报*, 2002, 29(1): 56-61
- [10] 邓武明, 阳小虎, 文凤君, 等. 甘蓝型油菜产量性状的遗传及相关与通径分析[J]. *中国油料作物学报*, 2003, 25(4): 27-30
- [11] 肖炳光, 朱军, 卢秀萍, 等. 烤烟主要农艺性状对产量的遗传贡献率分析[J]. *遗传学报*, 2005, 32(10): 1089-1093
- [12] 肖炳光, 朱军, 卢秀萍, 等. 烤烟主要农艺性状的遗传与相关分析[J]. *遗传*, 2006, 28(3): 317-323
- [13] 胡日生, 曾中, 周劲波. 烤烟胞质雄性不育杂种农艺性状的遗传分析[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(30): 72-76
- [14] 巫升鑫, 潘建青, 彭怀俊, 等. 烤烟若干农艺性状的杂种优势及其遗传分析[J]. *中国烟草学报*, 2001(4): 17-22
- [15] 李毅军, 王华杉, 张连涛, 等. 我国晾晒烟的传入及演变[J]. *中国烟草*, 1996(4): 45-48
- [16] 龙腾, 刘雷, 黄玉碧. 四川部分晒晾烟种质遗传关系的 SRAP 分析[J]. *作物学报*, 2009, 35(1): 173-178
- [17] Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems [J]. *Aust J Biol Sci*, 1956, 9: 463-493
- [18] 国家烟草专卖局. YC/T 142-1998 中华人民共和国烟草行业标准-烟草农艺性状调查方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998
- [19] 潘应发, 刘艳华, 任民, 等. 烟草种质不同群体量遗传完整性的 SSR 研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(5): 979-984
- [20] 张雪廷, 董治军, 焦芳婵, 等. 38 份晒晾烟种质资源遗传关系的 SSR 分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(4): 653-658
- [21] Zhang Y, Gai J. An expansion of the joint segregation analysis of P_1, P_2, F_1, F_2 and $F_{2,3}$ generations in the mixed major gene plus polygenes inheritance analysis of quantitative traits [J]. *J Biomath*, 2002, 17: 363-368
- [22] 盖钧镛, 章元明, 王建康. 植物数量性状遗传体系[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [23] 张兴伟, 王志德, 孙玉合, 等. 烤烟叶数、叶面积的遗传分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 13(3): 467-472
- [24] 陆鹏, 李锡香, 吴青君, 等. 不结球白菜优质种质对小菜蛾抗性的遗传分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(1): 71-74
- [25] 马雪霞, 丁业掌, 蒋峰, 等. 亚洲棉纤维品质和产量性状的主基因与多基因遗传分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(2): 212-217
- [26] 左清凡, 朱军, 刘宜柏, 等. 非等试验设计植株农艺及产量性状的数量遗传分析方法[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(2): 30-33
- [27] Matzinger D F, Mann T J, Cocherham C C. Diallel crosses in *Nicotiana tabacum* [J]. *Crop Sci*, 1962, 2(2): 383-386
- [28] 牛佩兰, 佟道儒. 烟草几个主要农艺性状的基因效应分析[J]. *中国烟草*, 1989, 10(1): 9-12
- [29] 许健, 杨德, 张锦伟. 烤烟亲本配合力的双列杂交分析[J]. *烟草科技*, 2004(1): 29-32
- [30] 李国民, 田峰, 李鸣, 等. 烤烟产量及其品质性状的双列杂交分析[J]. *中国烟草学报*, 1998, 4(2): 22-28
- [31] 蒋予恩, 艾树理, 王秀蓉. 烤烟主要经济性状的相关和通径分析[J]. *中国烟草*, 1984(3): 25-28