

2017, 43(1): 0045-0055
 ISSN 0257-4799; CN 32-1115/S
 DOI: 10.13441/j.cnki.cykx.2017.01.007

家蚕夏秋用四元杂交天然黄色茧新品种湘彩黄 1 号的选育

艾均文¹ 司马杨虎² 薛宏¹ 何行健¹ 刘昌文¹ 徐世清² 郑颖¹ 刘勇¹

(¹湖南省蚕桑科学研究所,长沙 410127; ²苏州大学医学部基础医学与生物科学学院,江苏 苏州 215123)

摘要 家蚕天然彩色茧是极具市场开发潜力的特色原料茧。以目前推广量最大的家蚕杂交组合 932·芙蓉×7532·湘晖的 2 个中系品种与 2 个日系品种为轮回亲本,通过连续 2 次回交、1 次自交为一轮循环的轮回回交育成法,分别从供体亲本 M2 中导入天然黄色性状控制基因,其间以丝质优良及丝长长的夏芳 M、秋白 M 进行杂交改良。经过高温多湿环境定向培育与活蛹缂丝选择获得的育种新材料,不仅具有天然黄茧色的特性,而且综合经济性状得到改良。将这些遗传性状稳定的育种材料与其他新选育的材料进行杂交组配,经品种比较试验筛选出实用经济性状优良,具有天然黄色茧特性的家蚕新品种四元杂交组合湘彩黄 1 号(932XM·芙蓉 XM×7532QM·湘晖 QM)。实验室联合鉴定、农村饲养、种场繁育试验及茧丝色牢度检验的结果表明,天然黄色茧新品种杂交组合具有茧色稳定、体质强健、产茧量高、丝质优良、蚕种易繁育等特点,在实验室联合鉴定中的万蚕产茧量和万蚕茧层量分别比对照 932·芙蓉×7532·湘晖高 8.4%、11.0%,一粒茧丝长为 1 124.6 m,解舒丝长 871.6 m,洁净 94.89 分。湘彩黄 1 号适合在湖南省等南方蚕区的夏秋季推广饲养,已于 2015 年通过湖南省农作物品种审定委员会审定。

关键词 家蚕品种; 湘彩黄 1 号; 天然黄色茧; 色牢度; 活蛹缂丝; 经济性状; 轮回回交育成法

中图分类号 S882.2 文章编号 0257-4799(2017)01-0045-11

Breeding of a Natural Yellow Cocoon Quaternary Hybrid Combination Xiangcaihuang 1 for Summer and Autumn Rearing

Ai Junwen¹ Sima Yanghu^{2*} Xue Hong¹ He Xingjian¹ Liu Changwen¹ Xu Shiqing² Zheng Ying¹
 Liu Yong¹

(¹The Sericultural Research Institute of Hunan Province, Changsha 410127, China; ²School of Biology and Basic Medical Sciences, Soochow University, Suzhou Jiangsu 215123, China)

Abstract Naturally colored cocoons have great developmental potential as a characteristic raw material. In this study, two Chinese-strain varieties and two Japanese-strain varieties were taken as recurrent parents, all of which were from the most widely commercialized silkworm (*Bombyx mori*) hybrid combination 932·Furong×7532·Xianghui. The natural yellow cocoon genes were transferred from donor parent M2 into the 4 recurrent parents by means of recurrent backcross breeding, in which each recurrent backcrossing contained two consecutive backcrosses followed by one self-cross. In addition, the other parents XiafangM and QiubaiM with characteristics of excellent silk quality and long cocoon filament were introduced to cross with the 4 newly bred materials. After directional breeding under high temperature and humidity circumstances and selection for high silk quality through live cocoon reeling, the obtained breeding materials showed not only characteristic of natural yellow cocoon but also excellent comprehensive economic characters. These genetically fixed breeding materials along with other newly selected breeding materials were subjected for hybrid combination preparation and evaluation. The naturally colored cocoon quaternary hybrid combination Xiangcaihuang 1 (932XM·FurongXM×7532QM·XianghuiQM) with excellent practical characters was obtained based variety comparative tests. Results of laboratory co-identification, rural cocoon production test, silkworm egg reproduction test and

收稿日期: 2016-08-26 接受日期: 2016-10-26

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项(No.CARS-22) 湖南省科技支撑计划项目(No.2013NK3071) 湖南省农业委员会科技重点项目(No.2010-01-05)。

第一作者信息: 艾均文(1968—),男,博士,研究员。

E-mail: aijunwen718@sina.com

通信作者信息: 司马杨虎,教授。

E-mail: simyh@suda.edu.cn

* Corresponding author. E-mail: simyh@suda.edu.cn

color fastness test demonstrated that this new hybrid combination was characterized by stable color , strong vitality , high cocoon yield , high silk quality and easy egg reproduction. The performance of the new hybrid combination in laboratory co-identification test showed that its cocoon yield and cocoon shell weight per 10 000 larvae were 8. 4% and 11. 0% higher than those of the control hybrid combination 932•Furong×7532•Xianghui. Its length of cocoon filament was 1 124. 6 m , length of non-broken cocoon filament was 871. 6 m , and neatness was 94. 89 points. Xiangcaihuang 1 is suitable for summer-autumn rearing in Hunan Province and in South China. It has been appraised by Hunan Provincial Evaluation Committee for Agricultural Crop Variety in 2015.

Keywords Silkworm variety; Xiangcaihuang 1; Natural yellow cocoon; Color fastness; Live cocoon reeling; Economic trait; Recurrent backcross breeding

天然彩色茧作为一种特色原料茧 ,用其生产的生丝及丝绸织品能保持色调柔和的天然彩色 ,且免去了印染工序而具有绿色环保的特点 ,同时 ,天然彩色丝相对于普通白色丝的高微孔隙率、高色素成分含量、高超氧化物歧化酶(SOD)活性等天然属性赋予其产品保暖、吸湿、透气、抑菌、抗氧化、防紫外线等特殊功能^[1-4] ,因此天然彩色茧资源多元化开发的市场价值与推广潜力巨大。目前 ,在东南亚多个国家还保持着饲养天然彩色茧家蚕品种的传统。但是 ,由于天然彩色茧基础蚕品种普遍存在蚕体小、体质弱 ,生产的原料茧茧层薄、丝质差等缺点 ,无法实用化推广饲养^[5]。对这些天然彩色茧基础蚕品种进行实用化改造的技术途径是将其具有的天然彩色茧性状控制基因导入实用家蚕品种 ,再通过定向培育使新转育品种的主要经济性性状达到实用化水平。

近几年 ,湖南省蚕桑科学研究所与苏州大学合作 ,开展了天然彩色茧家蚕种质资源的遗传规律与品种实用化改良研究 ,利用轮回回交育成法^[6-7]和多元组配技术 ,育成了茧色稳定、强健好养以及茧丝品质等实用经济性性状优良的家蚕夏秋用四元杂交天然黄色茧家蚕新品种湘彩黄 1 号 ,新品种于 2015 年 10 月通过湖南省农作物品种审定委员会审定 ,适合于天然黄色茧的规模化生产 ,可在湖南省等南方蚕区的夏秋季推广饲养。

1 新品种选育经过及选育方法

1.1 亲本筛选

选用目前在全国蚕区推广饲养量最大的夏秋用家蚕杂交组合 932•芙蓉×7532•湘晖(9•芙×7•湘)的 4 个品种^[8-9]作为受体亲本 ,分别导入供体亲本家蚕品种 M2(由苏州大学培育)的天然黄色茧色控制基因。由于 9•芙×7•湘存在丝长偏短等缺陷^[10] ,其间插入茧层厚、丝长长的品种进行杂交 ,以使其

性状得到互补。考虑到新品种组配的杂种优势利用 ,选择与已确定的受体亲本间具有较高配合力的品系为插入亲本 ,于 2011 年夏季采用不完全双列杂交试验设计 ,以包括 932、芙蓉、7532 与湘晖在内的 16 个来自不同区域的优良夏秋用品种为参试品种 ,对与生命力、茧丝品质相关的 7 个主要数量性状进行配合力测试^[11]。按照各亲本材料及其中×日杂交组合的主要数量性状总配合力效应值大于对照杂交组合 9•芙×7•湘对应性状的总配合力效应值的原则 ,从参试品种中选择西南大学育成的具有丝质优良、丝长长特点的夏芳、秋白^[12]分别作为中、日系新材料选育的插入亲本 ,以提高新选育品种的茧丝品质综合水平。预测由这 6 个选配亲本组配的杂交组合的各主要数量性状总配合力效应值中 ,仅虫蛹统一生命率略低于 9•芙×7•湘 ,其他主要数量性状指标则均高于对照。

1.2 新品种的杂交组配方案

1.2.1 中系品种 932XM 以抗逆能力突出的 932 为母本 ,以黄色茧家蚕品种 M2 为导入父本 ,连续 3 次回交轮回亲本 932 后 ,插入杂交湖南省蚕桑科学研究所同时转育的黄色茧品种夏芳 M(利用夏芳为母本、黄色茧家蚕品种 M2 为父本进行杂交 ,并连续与母本回交育成) ,以提高优良新材料的茧丝品质综合水平的同时 ,加快天然彩色茧色控制基因的纯合速度 ,再连续 2 次回交轮回亲本 932。经过多代的茧色与实用经济性性状选择 ,固定成茧色稳定、强健好养的天然黄色茧家蚕新品种 932XM。

1.2.2 中系品种芙蓉 XM 以湖南省蚕桑科学研究所育成的夏秋用优良品种芙蓉为母本 ,以黄色茧家蚕品种 M2 为导入父本 ,连续 3 次回交轮回亲本芙蓉后 ,插入杂交黄色茧家蚕品种夏芳 M ,再连续 2 次回交轮回亲本芙蓉。经过多代的茧色与实用经济性性状选择 ,固定成茧色稳定、丝质优良天然黄色茧家蚕新品种芙蓉 XM。

1.2.3 日系品种 7532QM 以一般配合力优良的家蚕品种 7532 为母本,以黄色茧家蚕品种 M2 为导入父本,连续 3 次回交轮回亲本 7532 后,插入杂交湖南省蚕桑科学研究所同时选育的黄色茧家蚕品种秋白 M(利用秋白为母本、黄色茧家蚕品种 M2 为父本进行杂交,并连续与母本回交育成),再连续 2 次回交轮回亲本 7532。经过多代的茧色与实用经济性状选择,固定成茧色稳定、强健好养的天然黄色茧家蚕新品种 7532QM。

1.2.4 日系品种湘晖 QM 以湖南省蚕桑科学研究所育成的丝质优良、耐高温多湿的家蚕品种湘晖为母本,以黄色茧家蚕品种 M2 为导入父本,连续 3 次回交轮回亲本湘晖后,插入杂交黄色茧家蚕品种秋白 M,再连续 2 次回交轮回亲本湘晖。经过多代的茧色与实用经济性状选择,固定成茧色稳定、丝质优良天然黄色茧家蚕新品种湘晖 QM。

1.3 选育技术措施

1.3.1 交配与饲育形式 中系品种 932XM 和芙蓉 XM 均是经杂交、3 次回交、1 次插入杂交后再 2 次回交培育而成。家蚕存在雌完全连锁的遗传现象^[13],而雄蚕在减数分裂间期非姊妹染色单体间可能会发生交叉互换,完全连锁利于亲代染色体在子代中完整传递,交叉互换则利于产生不同于双亲类型的重组型新配子。因此第 1~3 次回交以新选育的材料为母本,而插入杂交与第 4~5 次回交则以新选育的材料为父本,以促使育种新材料的后代群体中出现更多的含有更高比例优良亲本实用经济性状的继代个体,获得良好的选择效果。对杂交、回交、插入杂交后代均采用 1~3 代蛾区混合蚁量(1g)育,着重个体选择。为了加快选育后代的基因纯合速度与实用化选育进程,分别利用轮回亲本 932、芙蓉为定性亲本,在插入杂交夏芳 M 后继续回交 2 次,经 3 代混合蚁量育后,开始实行单蛾育,以蛾区选择为主,实行同蛾区交配,单蛾育至 F_8 代起采取异蛾区交配。日系品种 7532QM 与湘晖 QM 也是经杂交、3 次回交、1 次插入杂交后再 2 次回交培育而成,二者的轮回亲本分别为 7532、湘晖。 $F_1 \sim F_4$ 及回交各代的混合育世代采用 1~4 龄全防干育,5 龄普通育; $F_5 \sim F_{14}$ 单蛾育世代采用 1~2 龄全防干育,3 龄半防干育,4~5 龄普通育。各代各龄眠起处

理时严格淘汰就眠、眠起迟的个体及弱小蚕,以提高育种新材料的蚕体发育整齐度。

1.3.2 培育环境 本研究选择的受体亲本均具有耐高温多湿与耐粗食的固有特点^[9]。在 $F_1 \sim F_4$ 及回交各代的混合育世代,无论是在气候环境相对温和的春、晚秋季,还是自然气候相对恶劣的夏秋季,均保持在 28℃ 以上、相对湿度 80%~90% 的高温多湿条件下饲养,并辅以饲喂叶质稍差的桑叶进行培育和选择;从 F_5 起的单蛾育世代恢复到自然条件下饲养,以利于茧丝品质性状的稳定与改良。

1.4 杂交后代的选择策略

由于天然黄茧色性状受多基因控制^[14-16],新选育的材料在经过连续回交后必然会导致这些茧色控制基因的杂合与相互分离,其后代群体的茧色也会随之出现多种分离。对此,本研究采用连续 2 次回交后再接 1 次自交作为一轮循环的轮回回交育成法,目的是为了加快优良实用经济性状控制基因的导入进程,但每代必须严格挑选茧色为黄色或浅黄色的个体参与继代选择,在连续 2 次回交后通过自交避免茧色性状的进一步分离,以获得目标茧色的材料,确保继代个体间不丢失天然黄茧色性状控制基因。为了满足有足够数量的符合目标性状要求的个体参与继代选择,每代收蚁的蛾圈数不少于 12 个,实际饲育蚁量不少于 1g。在完成回交后的各个世代继续选择黄茧色的个体或蛾区继代,严格淘汰白色、浅黄及其他中间颜色茧色的个体或茧色分离相对复杂的蛾区,在茧色纯选过程中还注重茧色的内外层选择,内外层茧色差异大的个体与该类个体多的蛾区均作淘汰。从插入杂交夏芳 M 或秋白 M 起的各混合育世代与 $F_5 \sim F_6$ 的单蛾育世代,在符合目标茧色要求的后代群体中选择茧缩皱偏细、茧形匀整、大小整齐的 40~60 颗蚕茧进行活蛹缂丝,并根据一粒茧丝长、切断次数及颚节数量等指标遴选优良个体与蛾区自交继代。在 $F_7 \sim F_{14}$ 的单蛾育世代,坚持眠起与老熟齐、快,生命力高的蛾区优先入选原则,再经眼观、手触筛选出茧色一致、大小整齐、茧层结实的 30~50 颗蚕茧进行个体称量,控制蛾区与个体间全茧量开差,以快速提高选育新品种的匀整度。4 个新选纯系品种的主要选育成绩见表 1~4。

表1 中系天然黄色茧家蚕品种 932XM 的选育系谱成绩

Table 1 Performance of selection pedigrees for breeding Chinese-strain natural yellow cocoon variety 932XM

年份 Year	蚕期 Rearing season	世代 Generation	系谱及饲养形式 Pedigree and rearing pattern	饲养量 Amount of raised silkworms	5龄经过时间 Duration of the 5th instar	全龄经过时间 Duration of all instars	虫蛹率 / % Larva-pupa rate	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight	茧层率 / % Cocoon shell rate
2010	春 Spring	P	932×M2	5 蛾 5 moths 2 蛾 2 moths	6 d 20 h 6 d 10 h	21 d 15 h 20 d 9 h	99.34 92.90	1.44 2.08	0.310 0.323	21.55 15.52
	夏 Summer	F ₁	○×932	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 10 h	20 d 4 h	96.76	1.72	0.301	17.50
	秋 Autumn	BC ₁ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 8 h	21 d 18 h	97.73	1.47	0.261	17.76
	晚秋 Late-autumn	BC ₁ F ₂	○×932	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 12 h	22 d 10 h	97.65	1.53	0.279	18.24
2011	春 Spring	BC ₂ F ₁	○×932	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 20 h	22 d 12 h	98.82	1.51	0.295	19.54
	夏 Summer	BC ₃ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 7 h	21 d 20 h	93.45	1.45	0.287	19.79
	秋 Autumn	BC ₃ F ₂	夏芳 M×○ XiafangM×○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 6 h	21 d 8 h	95.26	1.36	0.274	20.15
	晚秋 Late-autumn	F ₂	932×○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 17 h	23 d 5 h	98.28	1.56	0.314	20.13
2012	春 Spring	BC ₄ F ₁	932×○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 17 h	22 d 9 h	98.83	1.73	0.358	20.69
	夏 Summer	BC ₅ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 8 h	21 d 2 h	89.25	1.44	0.300	20.83
	秋 Autumn	F ₃	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 5 h	21 d 8 h	90.34	1.39	0.291	20.94
	晚秋 Late-autumn	F ₄	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 12 h	22 d 10 h	95.39	1.62	0.357	22.04
2013	春 Spring	F ₅	□	12 蛾 12 moths	6 d 10 h	21 d 6 h	98.18	1.55	0.328	21.16
	夏 Summer	F ₆	□	12 蛾 12 moths	6 d 18 h	22 d 6 h	91.90	1.28	0.266	20.78
	秋 Autumn	F ₇	□	12 蛾 12 moths	6 d	22 d 8 h	88.70	1.37	0.282	20.58
	晚秋 Late-autumn	F ₈	□	10 蛾 10 moths	6 d 18 h	23 d 10 h	91.24	1.38	0.289	20.94
2014	春 Spring	F ₉	□	10 蛾 10 moths	6 d 15 h	22 d 20 h	99.21	1.57	0.339	21.59
	夏 Summer	F ₁₀	□	10 蛾 10 moths	6 d 9 h	22 d	92.36	1.48	0.311	21.01
	秋 Autumn	F ₁₁	□	10 蛾 10 moths	6 d 6 h	22 d 6 h	93.48	1.39	0.310	22.30
	晚秋 Late-autumn	F ₁₂	□	10 蛾 10 moths	6 d 19 h	22 d 6 h	95.97	1.57	0.349	22.23
2015	春 Spring	F ₁₃	□	10 蛾 10 moths	6 d 20 h	21 d	95.60	1.65	0.353	21.39
	夏 Summer	F ₁₄	□	8 蛾 8 moths	6 d 18 h	23 d 6 h	92.45	1.40	0.289	20.64

“○”混合蚁量育，“□”单蛾育。表 2~4 同。

“○” represents mixed rearing. “□” represents single moth batch rearing. The same in Table 2 to 4.

表 2 中系天然黄色茧家蚕品种芙蓉 XM 的选育系谱成绩

Table 2 Performance of selection pedigrees for breeding Chinese-strain natural yellow cocoon variety FurongXM

年份 Year	蚕期 Rearing season	世代 Generation	系谱及饲育 形式 Pedigree and rearing pattern	饲养量 Amount of raised silkworms	5 龄经过 时间 Duration of the 5th instar	全龄经过 时间 Duration of all instars	虫蛹率 / % Larva- pupa rate	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight	茧层率 / % Cocoon shell rate
2010	春 Spring	P	芙蓉×M2 Furong×M2	5 蛾 5 moths 2 蛾 2 moths	6 d 22 h 6 d 10 h	21 d 20 h 20 d 9 h	98.50 92.90	1.56 2.08	0.351 0.323	22.50 15.52
	夏 Summer	F ₁	○×芙蓉 ○×Furong	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 12 h	20 d 8 h	96.42	1.76	0.326	18.52
	秋 Autumn	BC ₁ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 10 h	21 d 20 h	96.79	1.53	0.285	18.63
	晚秋 Late-autumn	BC ₁ F ₂	○×芙蓉 ○×Furong	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 14 h	22 d 12 h	96.85	1.60	0.307	19.19
2011	春 Spring	BC ₂ F ₁	○×芙蓉 ○×Furong	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 22 h	22 d 14 h	98.50	1.63	0.343	21.04
	夏 Summer	BC ₃ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 10 h	22 d 2 h	92.85	1.56	0.314	20.13
	秋 Autumn	BC ₃ F ₂	夏芳 M×○ XiafangM×○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 12 h	21 d 16 h	94.36	1.44	0.302	20.97
	晚秋 Late-autumn	F ₂	芙蓉×○ Furong×○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 20 h	23 d 10 h	97.58	1.60	0.338	21.13
2012	春 Spring	BC ₄ F ₁	芙蓉×○ Furong×○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 20 h	22 d 15 h	97.20	1.79	0.388	21.68
	夏 Summer	BC ₅ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 14 h	21 d 10 h	90.75	1.54	0.336	21.82
	秋 Autumn	F ₃	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 10 h	21 d 15 h	89.50	1.51	0.324	21.46
	晚秋 Late-autumn	F ₄	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 15 h	22 d 14 h	94.69	1.68	0.384	22.86
2013	春 Spring	F ₅	□	12 蛾 12 moths	6 d 15 h	21 d 12 h	97.65	1.65	0.368	22.30
	夏 Summer	F ₆	□	12 蛾 12 moths	6 d 20 h	22 d 8 h	90.80	1.42	0.308	21.69
	秋 Autumn	F ₇	□	12 蛾 12 moths	6 d 2 h	22 d 10 h	89.80	1.48	0.319	21.55
	晚秋 Late-autumn	F ₈	□	10 蛾 10 moths	6 d 20 h	23 d 12 h	90.84	1.49	0.326	21.88
2014	春 Spring	F ₉	□	10 蛾 10 moths	6 d 15 h	23 d	98.55	1.62	0.371	22.90
	夏 Summer	F ₁₀	□	10 蛾 10 moths	6 d 12 h	22 d 4 h	92.58	1.57	0.346	22.04
	秋 Autumn	F ₁₁	□	10 蛾 10 moths	6 d 10 h	22 d 10 h	93.75	1.46	0.339	23.22
	晚秋 Late-autumn	F ₁₂	□	10 蛾 10 moths	6 d 21 h	22 d 8 h	96.51	1.62	0.381	23.52
2015	春 Spring	F ₁₃	□	10 蛾 10 moths	6 d 20 h	21 d	96.61	1.71	0.391	22.87
	夏 Summer	F ₁₄	□	8 蛾 8 moths	6 d 18 h	23 d 6 h	91.40	1.52	0.332	21.84

表3 日系天然黄色茧家蚕品种7532QM的选育系谱成绩

Table 3 Performance of selection pedigrees for breeding Japanese-strain natural yellow cocoon variety 7532QM

年份 Year	蚕期 Rearing season	世代 Generation	系谱及饲育形式 Pedigree and rearing pattern	饲养量 Amount of raised silkworms	5龄经过时间 Duration of the 5th instar	全龄经过时间 Duration of all instars	虫蛹率 / % Larva-pupa rate	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight	茧层率 / % Cocoon shell rate
2010	春 Spring	P	7532×M2	5蛾 5 moths 2蛾 2 moths	6 d 22 h 6 d 10 h	21 d 20 h 20 d 9 h	98.50 92.90	1.47 2.08	0.318 0.323	21.63 15.52
	夏 Summer	F ₁	○×7532	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 10 h	21 d 5 h	92.26	1.73	0.326	18.84
	秋 Autumn	BC ₁ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	6 d 18 h	21 d 6 h	87.65	1.79	0.341	19.05
	晚秋 Late-autumn	BC ₁ F ₂	○×7532	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	7 d 10 h	23 d	90.62	1.56	0.300	19.23
2011	春 Spring	BC ₂ F ₁	○×7532	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	8 d	24 d	98.64	1.69	0.343	20.30
	夏 Summer	BC ₃ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	7 d 12 h	22 d	84.04	1.55	0.319	20.58
	秋 Autumn	BC ₃ F ₂	秋白 M×○ QiubaiM×○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	7 d 10 h	22 d 2 h	88.27	1.58	0.360	22.78
	晚秋 Late-autumn	F ₂	7532×○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	8 d 6 h	24 d 6 h	94.15	1.71	0.377	22.05
2012	春 Spring	BC ₄ F ₁	7532×○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	7 d 12 h	22 d 18 h	98.13	1.48	0.325	21.96
	夏 Summer	BC ₅ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	7 d 10 h	23 d 6 h	82.09	1.50	0.343	22.87
	秋 Autumn	F ₃	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	7 d	23 d	85.42	1.38	0.311	22.54
	晚秋 Late-autumn	F ₄	○	1 g 蚁量 1 g newly-hatched larva	8 d 12 h	25 d	96.98	1.35	0.313	23.19
2013	春 Spring	F ₅	□	12蛾 12 moths	6 d 15 h	21 d 11 h	98.44	1.58	0.359	22.72
	夏 Summer	F ₆	□	12蛾 12 moths	7 d 12 h	22 d	91.57	1.43	0.313	21.89
	秋 Autumn	F ₇	□	12蛾 12 moths	6 d 7 h	22 d 7 h	88.01	1.23	0.270	21.95
	晚秋 Late-autumn	F ₈	□	10蛾 10 moths	8 d 7 h	24 d	92.25	1.35	0.288	21.33
2014	春 Spring	F ₉	□	10蛾 10 moths	8 d 15 h	24 d 11 h	98.33	2.07	0.481	23.24
	夏 Summer	F ₁₀	□	10蛾 10 moths	7 d 12 h	24 d	94.34	1.33	0.269	20.23
	秋 Autumn	F ₁₁	□	10蛾 10 moths	7 d 12 h	24 d	90.99	1.55	0.345	22.26
	晚秋 Late-autumn	F ₁₂	□	10蛾 10 moths	7 d 20 h	23 d 9 h	89.38	1.39	0.306	22.01
2015	春 Spring	F ₁₃	□	10蛾 10 moths	8 d	24 d	95.21	1.71	0.371	21.70
	春 Summer	F ₁₄	□	8蛾 8 moths	7 d 10 h	24 d	87.98	1.35	0.285	21.11

表 4 日系天然黄色茧家蚕品种湘晖 QM 的选育系谱成绩

Table 4 Performance of selection pedigrees for breeding Japanese-strain natural yellow cocoon variety XianghuiQM

年份 Year	蚕期 Rearing season	世代 Generation	系谱及饲养 形式 Pedigree and rearing pattern	饲养量 Amount of raised silkworms	5 龄经过 时间 Duration of the 5th instar	全龄经过 时间 Duration of all instars	虫蛹率 / % Larva- pupa rate	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight	茧层率 / % Cocoon shell rate
2010	春 Spring	P	湘晖×M2 Xianghui×M2	5 蛾 5 moths 2 蛾 2 moths	6 d 22 h 6 d 10 h	21 d 20 h 20 d 9 h	98.50 92.90	1.58 2.08	0.353 0.323	22.34 15.52
	夏 Summer	F ₁	○×湘晖 ○×Xianghui	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 12 h	21 d 7 h	92.70	1.76	0.338	19.20
	秋 Autumn	BC ₁ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	6 d 20 h	21 d 8 h	88.60	1.80	0.353	19.61
	晚秋 Late-autumn	BC ₁ F ₂	○×湘晖 ○×Xianghui	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	7 d 10 h	23 d	90.21	1.60	0.318	19.88
2011	春 Spring	BC ₂ F ₁	○×湘晖 ○×Xianghui	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	8 d	24 d	97.85	1.71	0.356	20.82
	夏 Summer	BC ₃ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	7 d 14 h	22 d 6 h	86.04	1.62	0.343	21.17
	秋 Autumn	BC ₃ F ₂	秋白 M×○ QiubaiM×○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	7 d 10 h	22 d 2 h	90.30	1.63	0.377	23.13
	晚秋 Late-autumn	F ₂	湘晖×○ Xianghui×○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	8 d 6 h	24 d 6 h	93.56	1.78	0.410	23.03
2012	春 Spring	BC ₄ F ₁	湘晖×○ Xianghui×○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	7 d 12 h	22 d 18 h	97.52	1.55	0.352	22.71
	夏 Summer	BC ₅ F ₁	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	7 d 12 h	23 d 8 h	88.29	1.58	0.367	23.23
	秋 Autumn	F ₃	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	7 d 2 h	23 d 2 h	90.24	1.49	0.341	22.89
	晚秋 Late-autumn	F ₄	○	1 g 蚁量 1 g newly- hatched larva	8 d 12 h	25 d	95.85	1.46	0.336	23.01
2013	春 Spring	F ₅	□	12 蛾 12 moths	6 d 18 h	21 d 14 h	97.75	1.65	0.379	22.97
	夏 Summer	F ₆	□	12 蛾 12 moths	7 d 12 h	22 d	92.44	1.55	0.348	22.45
	秋 Autumn	F ₇	□	12 蛾 12 moths	6 d 10 h	22 d 10 h	90.25	1.40	0.317	22.64
	晚秋 Late-autumn	F ₈	□	10 蛾 10 moths	8 d 9 h	24 d 2 h	91.62	1.49	0.329	22.08
2014	春 Spring	F ₉	□	10 蛾 10 moths	8 d 15 h	24 d 11 h	96.38	1.78	0.422	23.71
	夏 Summer	F ₁₀	□	10 蛾 10 moths	7 d 12 h	24 d	93.84	1.46	0.312	21.37
	秋 Autumn	F ₁₁	□	10 蛾 10 moths	7 d 12 h	24 d	91.69	1.60	0.366	22.88
	晚秋 Late-autumn	F ₁₂	□	10 蛾 10 moths	7 d 20 h	23 d 9 h	90.30	1.47	0.335	22.79
2015	春 Spring	F ₁₃	□	10 蛾 10 moths	8 d	24 d	96.28	1.77	0.401	22.66
	夏 Summer	F ₁₄	□	8 蛾 8 moths	7 d 10 h	24 d	89.55	1.42	0.315	22.18

2 一代杂交种的组配及鉴定成绩

2.1 组配方法

在利用不完全双列杂交法对湖南省蚕桑科学研究所引进保存的优良夏秋用家蚕品种进行早期配合力测试^[11]的基础上,选择适合的育种材料作为受体亲本分别杂交导入供体亲本品种 M2 的黄色性状控制基因,育成了系列中系和日系天然黄色茧家蚕品种。参照早期配合力测试结果,对新育成的系列黄色茧家蚕品种按照中·中×日·日的多元组配方式组配成多个一代杂交种组合进行实验室比较试验。经 2~3 次测试后,筛选出目标性状较优的几对一代杂交组合,连续多次进行实验室鉴定及农村

多点试验,最终选定最优组合 932XM·芙蓉 XM×7532QM·湘晖 QM,命名为湘彩黄 1 号。

2.2 实验室鉴定成绩

于 2013 年秋、晚秋季以及 2014 年与 2015 年的夏、秋、晚秋季,连续 8 个蚕季在国家桑蚕改良中心长沙分中心进行新品种杂交组合的实验室比较鉴定试验。以夏秋用家蚕品种国家审定指定的杂交组合 9·芙×7·湘为对照,新品种杂交组合的虫蛹率、全茧量、茧层量和茧层率均高于对照,万蚕产茧量和万蚕茧层量分别比对照高 3.67%、4.92%,一粒茧丝长、解舒丝长分别比对照增加 70.5 m 与 49.5 m,洁净 96.5 分,鲜茧出丝率为 15.66%,均优于对照(表 5)。

表 5 家蚕新品种杂交组合湘彩黄 1 号的实验室鉴定成绩(2013—2015 年夏、秋季)

Table 5 Laboratory identification results of the new silkworm hybrid combination Xiangcai Huang 1 (summers and autumns from 2013 to 2015)

杂交组合 Hybrid combination	虫蛹率 / % Larva-pupa rate	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight	茧层率 / % Cocoon shell rate	万蚕产茧量 / kg Cocoon weight per 10 000 larvae	万蚕茧层量 / kg Cocoon shell weight per 10 000 larvae
湘彩黄 1 号 Xiangcai Huang 1	92.57	1.53	0.33	21.75	14.69	3.20
9·芙×7·湘 9·Fu×7·Xiang	92.02	1.47	0.32	21.54	14.17	3.05
杂交组合 Hybrid combination	一粒茧丝长 / m Cocoon filament length	解舒丝长 / m Length of non- broken filament	解舒率 / % Reelability	茧丝纤度 / dtex Cocoon filament size	洁净 / 分 Neatness / points	鲜茧出丝率 / % Raw silk rate of fresh cocoon
湘彩黄 1 号 Xiangcai Huang 1	937.5	759.7	81.65	2.48	96.5	15.66
9·芙×7·湘 9·Fu×7·Xiang	867.0	710.2	81.96	2.47	96.0	15.31

表中数据为供试新品种杂交组合 8 个蚕季饲养的平均成绩。

Data in the table are averages of the test silkworm varieties in eight silkworm rearing periods.

2.2 实验室联合鉴定成绩

2015 年夏、秋季湘彩黄 1 号在广东省茂名市蚕业技术推广中心、广西壮族自治区蚕业技术推广总站、四川省农业科学院蚕业研究所、云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所等单位进行了 1~2 次新品种的实验室联合鉴定。综合 6 次不同区域、不同季节的鉴定成绩为:虫蛹率 92.78%,与夏秋用家蚕品种国家审定指定的对照杂交组合 9·芙×7·湘相仿;全茧量、茧层量和茧层率均高于对照,万蚕产茧量和万蚕茧层量分别比对照高 8.4%、11.0%,一粒茧丝长、解舒丝长分别比对照长 91.8 m、76.1 m,洁净 94.89 分,鲜茧出丝率 15.50%,均优于对照(表 6)。

2.3 农村大面积生产试养成绩

2014 年秋季和 2015 年夏季,湘彩黄 1 号在湖北的津市、君山,湘中的湘潭、湘乡与湘西的沅陵等县(市)的蚕桑生产基地进行了农村区域性生产试养。其中 2014 年秋季累计试养新品种一代杂交种 58 盒,平均产茧量 34.84 kg/盒种,饲养对照 9·芙×7·湘杂交种 170 盒,平均产茧量 34.68 kg/盒种;2015 夏季累计试养新品种一代杂交种 65 盒,平均产茧量 33.12 kg/盒种,饲养对照 9·芙×7·湘杂交种 95 盒,平均产茧量 33.08 kg/盒种。可见湘彩黄 1 号的夏、秋季饲养成绩均略超过对照杂交组合,展现了良好的实用性。

表 6 家蚕新品种杂交组合湘彩黄 1 号的实验室联合鉴定成绩(2015 年夏、秋季)

Table 6 Laboratory co-identification results of the new silkworm hybrid combination Xiangcaihuang 1 (summer and autumn in 2015)

杂交组合 Hybrid combination	虫蛹率 / % Larva-pupa rate	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight	茧层率 / % Cocoon shell rate	万蚕产茧量 / kg Cocoon weight per 10 000 larvae	万蚕茧层量 / kg Cocoon shell weight per 10 000 larvae
湘彩黄 1 号 Xiangcaihuang 1	92.78	1.89	0.410	21.65	18.61	4.03
9·芙×7·湘 9·Fu×7·Xiang	92.83	1.79	0.381	21.28	17.16	3.65
杂交组合 Hybrid combination	一粒茧丝长 / m Cocoon filament length	解舒丝长 / m Length of non- broken filament	解舒率 / % Reelability	茧丝纤度 / dtex Cocoon filament size	洁净 / 分 Neatness / points	鲜茧出丝率 / % Raw silk rate of fresh cocoon
湘彩黄 1 号 Xiangcaihuang 1	1 124.6	871.6	77.50	2.515	94.89	15.50
9·芙×7·湘 9·Fu×7·Xiang	1 032.8	795.5	77.02	2.561	94.67	15.21

表中数据为供试新品种杂交组合在 4 个实验室 2 个蚕季的饲养和缫丝平均成绩。

Data in the table are averages of the test silkworm varieties in two silkworm rearing periods in four laboratories.

2.4 茧丝的色牢度

色牢度是指彩色织物在加工和使用过程中受外部因素作用的退色程度,是纺织品的一项常规品质检测项目。色牢度分为 5 个等级,级数越高表示色牢度越好^[17-20]。将新品种杂交组合湘彩黄 1 号生产的天然彩色茧丝制作的针织面料(彩色丝未经固胶处理)送至国家丝绸及服装产品质量监督检测中心进行检测,试样的耐皂洗色牢度为 4 级,耐酸汗渍色牢度、耐碱汗渍色牢度、耐水色牢度、耐干摩擦色牢度与耐湿摩擦色牢度均为 4~5 级(表 7)。检测结果表明,用湘彩黄 1 号生产的天然彩色蚕丝的色彩牢固,能达到国家纺织品色牢度检验标准^[17-20]。

2.5 一代杂交种繁育成绩

2015 年春季在国家桑蚕品种改良中心长沙分中心开展了湘彩黄 1 号的一代杂交种繁育试验,在同一实验室饲养新品种与对照 9·芙×7·湘的杂交原种,蚁量均为 12 g,新品种克蚁制种量 13.9 盒,对照品种克蚁制种量 14.0 盒。同期在湖南省的鼎城区蚕种场也进行了对比试繁工作,新品种原蚕收蚁量 26 g,对照 9·芙×7·湘的原蚕收蚁量 80 g,中、日系原蚕均分别在相同环境条件与相同技术处理措施下饲养,结果新品种克蚁制种量 13.6 盒,对照克蚁制种量 13.8 盒。综合 2 个试验点的试繁成绩,表明湘彩黄 1 号的原蚕强健好养、发育齐快,蛾体健康、交配性能好,一代杂交种繁育成绩与对照相仿。

表 7 家蚕新品种杂交组合湘彩黄 1 号生产的天然黄色丝织品的色牢度检测结果

Table 7 Color fastness test result of natural yellow silk fabric prepared from the new silkworm hybrid combination Xiangcaihuang 1

检测项目 Test item		检测结果 Test result
耐皂洗色牢度 Color fastness to washing with soap or soap and soda	变色 Color change fastness	4 级 Grade 4
	沾色 Staining fastness	4~5 级 ¹⁾ Grade 4 to 5 ¹⁾
耐酸汗渍色牢度 Color fastness to acid perspiration	变色 Color change fastness	4~5 级 Grade 4 to 5
	沾色 Staining fastness	4~5 级 Grade 4 to 5
耐碱汗渍色牢度 Fastness to alkali perspiration	变色 Color change fastness	4~5 级 Grade 4 to 5
	沾色 Staining fastness	4~5 级 Grade 4 to 5
耐水色牢度 Color fastness to water	变色 Color change fastness	4~5 级 Grade 4 to 5
	沾色 Staining fastness	4~5 级 Grade 4 to 5
耐干摩擦色牢度 Color fastness to dry rubbing		4~5 级 Grade 4 to 5
		4~5 级 Grade 4 to 5
耐湿摩擦色牢度 Color fastness to wet rubbing		4~5 级 Grade 4 to 5
		4~5 级 Grade 4 to 5

表中数据由国家丝绸及服装产品质量监督检测中心提供。¹⁾ 4~5 表示 4、5 级之间补充半个级。

The data were from National Silk and Garment Quality Supervision and Testing Center. ¹⁾ 4 to 5 indicated that half grade was supplemented between grade 4 and grade 5.

3 新品种及杂交组合的主要性状

3.1 原种性状

3.1.1 中系原种 932XM·芙蓉 XM 为含多化性血缘的二化四眠杂交原种。越年卵褐绿色,卵壳为淡黄色。蚁蚕黑褐色,1 g 蚁量约 2 380 头,小蚕期趋密性、趋光性强,壮蚕体型粗壮,素斑,体色青白,腹足显黄色,食桑旺盛,行动活泼,对高温多湿能力强。老熟齐、快,茧形椭圆,缩皱中等,茧色黄。蛾体白色,发蛾齐,交配性能良好,单蛾产卵 400 粒左右,良卵率高。催青期经过时间 10 d,蚕期经过时间 23 d,茧中经过时间 14 d,与 7532QM·湘晖 QM 对交,应推迟 2 d 出库,迟 1 d 上簇。

3.1.2 日系原种 7532QM·湘晖 QM 为含多化性血缘的二化四眠杂交原种。越年卵为褐紫色,卵壳为白色。孵化齐一,蚁蚕黑褐色,1 g 蚁量约 2 450 头,小蚕期有逸散性,各龄发育整齐,壮蚕体型中等,素斑,体色青白,腹足显黄色,食桑较为旺盛,体质强健,耐高温多湿能力强。老熟齐涌,熟蚕营茧快,茧形浅束腰,缩皱中等,茧色黄。蛾体白色,发蛾齐,交配性能好,单蛾产卵 400 粒左右。催青期经过时间 10 d,蚕期经过时间 24 d,茧中经过时间 15 d,与 932XM·芙蓉 XM 对交,应提早 2 d 出库,早 1 d 上簇。

3.2 一代杂交种性状

湘彩黄 1 号(932XM·芙蓉 XM×7532QM·湘晖 QM)系含多化性血缘的二化四眠夏秋用四元杂交天然黄色茧品种。以 932XM·芙蓉 XM 为母本的杂交种越年卵褐绿色,卵壳浅黄色,1 g 卵量约 1 700 粒,1 g 蚁量约 2 300 头;以 7532QM·湘晖 QM 为母本的杂交种越年卵褐紫色,卵壳白色,1 g 卵量约 1 800 粒,1 g 蚁量约 2 400 头。蚕卵孵化齐一,蚁蚕体色黑褐色。幼虫素斑,体色青白,从腹足等处能辨其黄血,老熟时体色偏黄。幼虫食桑快,行动活泼,发育整齐,体质健壮,老熟齐涌,熟蚕营茧快,多结中、上层茧,黄色茧,茧形长椭圆,缩皱中等。夏、秋季蚕茧的茧层率为 20.5%~22.0%,一粒茧丝长 800~1 000 m,解舒丝长 650~850 m,纤度偏细,洁净优。

4 讨论

实验室比较试验、多省实验室联合鉴定试验、农村大面积生产试养、一代杂交种繁育试验及色牢度检测的结果表明,家蚕新品种杂交组合湘彩黄 1 号的茧

色稳定一致,蚕体发育整齐,蚕茧高产稳产,茧丝品质优良,蚕种易繁育,各项实用经济性性状指标均达到育种目标,适合在湖南省等南方蚕区的夏、秋季推广饲养。

基于天然黄色茧的表现型选择就能够达到与茧色相关的基因型选择之目的,在采用的轮回回交育成法中建立了一种新的控制复杂性状的多基因快速导入方案,即以连续 2 次回交接 1 次自交为一轮循环的轮回回交方案。新技术方案相对于传统的每回交 1 次后再自交 1 次的回交育成法,可更加快捷地实现新选育材料的实用化转育,在每一轮的连续 2 次回交后选择符合或接近目标茧色个体进行 1 次自交继代,可确保多个控制茧色性状的基因在目标个体中重新聚合。另外,增加选育过程继代材料收蚁的卵圈数量,提高混合饲育量以保证获得足够数量目标茧色个体用于继代选择,扩大选择的遗传背景。

以现行优良家蚕杂交组合的品种为基础,导入特殊用途育种材料的特色基因,是育成实用化特殊用途品种及实现家蚕品种多元化的一条捷径。为了尽可能提高新选育材料的实用经济性性状指标,在回交体系构建中采取了 3 个措施:(1)利用轮回回交育成法完成了多次回交,如天然黄色茧杂交组合中的 4 个新选育材料分别经历了 3 轮循环,与优良轮回亲本杂交了 6 次(含杂交组配 1 次,回交 5 次),其间还分别插入杂交另一对以现行推广的杂交组合夏芳×秋白为基础转育的天然黄色茧品种夏芳 M、秋白 M,使新选育品种含实用化品种血缘的理论值接近 99.22%,同时也导入了夏芳、秋白的优良茧丝品质性状^[21];(2)新品种选育的第一代均是利用实用性亲本品种为母本,因而即使某些家蚕性状出现细胞质效应的影响也可得到避免^[22];(3)为了尽可能避免在导入供体亲本品种某一目标性状基因时,与之连锁的其他不利的非目标性状基因也一并导入的影响,将新选育材料在不同回交世代交替作为母本或父本,可以充分发挥家蚕雌完全连锁与雄性减数分裂期染色单体间交叉互换的作用,加快实用性性状血缘置换与基因重组,同时多代回交也可大幅度降低不利连锁基因导入的概率^[23]。另外,在回交改良过程中加强强健性与茧丝品质性状方面的定向选择,使新组配的育种材料的实用经济性性状快速稳定与提高,因此新品种组配的四元杂交组合的综合经济性性状比原组合 9·芙×7·湘更加优良。

参考文献 (References)

- [1] 徐水. 茧丝学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 31-32
- [2] 梁海丽, 葛君. 家蚕天然彩色茧丝的色素特性研究[J]. 丝绸, 2005, 42(6): 20-22
- [3] 古勇, 李安明. 类黄酮生物活性的研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(2): 283-286
- [4] KRINSKY N I, LANDRUM J T, BONE R A. Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye[J]. Annu Rev Nutr, 2003, 23(1): 171-201
- [5] 孟繁利, 艾均文, 薛宏, 等. 家蚕天然彩色茧资源利用现状与开发前景[J]. 湖南农业科学, 2011(17): 126-129
- [6] JUGULAM M, ZIAUDDIN A, SO K K Y, et al. Transfer of dicamba tolerance from *Sinapis arvensis* to *Brassica napus* via embryo rescue and recurrent backcross breeding [J/OL]. PLOS ONE, 2015, 10(11): e0141418 [2016-04-25]. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0141418>. DOI: 10.1371/journal.pone.0141418
- [7] TARAN B, WARKENTIN T D, VANDENBERG A. Fast track genetic improvement of ascochyta blight resistance and double podding in chickpea by marker-assisted backcrossing[J]. Theor Appl Genet, 2013, 126(6): 1639-1647
- [8] 冯家新. 2005 年全国蚕种饲养量及蚕品种的调查[J]. 中国蚕业, 2007, 28(1): 64-65
- [9] 顾家栋, 李宝瑜, 沈昌平, 等. 桑蚕夏秋用新品种“两广二号”的育成[J]. 广西蚕业, 1995, 22(1): 44-48
- [10] 艾均文, 薛宏, 何行健, 等. 优质高产夏秋用家蚕品种韶·辉×旭·东的选育[J]. 蚕业科学, 2016, 42(2): 259-265
- [11] 艾均文, 司马杨虎, 朱勇, 等. 家蚕夏秋用品种 7 个数量性状的配合力与遗传力分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(2): 181-186
- [12] 向仲怀, 朱勇, 林元吉, 等. 夏秋蚕品种夏芳×秋白的育成与推广[J]. 蚕学通讯, 1995, 15(2): 1-5
- [13] 向仲怀. 家蚕遗传育种学[M]. 北京: 农业出版社, 1995: 2
- [14] 赵云坡, 徐安英, 李木旺, 等. 利用 SSR 标记对家蚕黄血基因的定位及连锁分析[J]. 蚕业科学, 2006, 32(4): 464-468
- [15] 王伟. 家蚕黄红茧系茧色形成机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014
- [16] TSUCHIDA K, SAKUDOH T. Recent progress in molecular genetic studies on the carotenoid transport system using cocoon-color mutants of the silkworm[J]. Arch Biochem Biophys, 2015, 572(15): 151-157
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度: GB/T 3921—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-7
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品耐汗渍色牢度试验方法: GB/T 3922—1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994: 41-44
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 色牢度试验 耐水色牢度: GB/T 5713—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-7
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度: GB/T 3920—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-4
- [21] 曹永强, 孙石. 回交在转基因作物育种中的应用[J]. 作物杂志, 2014(1): 9-14
- [22] 易自力, 徐乃瑜. 不同山羊草细胞质效应的比较研究[J]. 草业学报, 2000, 9(1): 73-78
- [23] 张晓祥. 滚动回交与遗传标记相结合的聚合育种体系在小麦育种中的应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2005