

## 两系不育系 Y58S 的异交性状相关及通径分析

王辉 (南平市农业农村局种子站, 福建南平 354200)

**摘要** 对籼型光温敏两系不育系 Y58S 的农艺性状、开花习性、异交结实率等进行相关、多元逐步回归和通径分析。结果表明, Y58S 是一个综合性状优良的两系不育系, 午前花占 74.07%, 开花集中, 在 11:00 左右达开花高峰; 柱头活力下降线性方程为  $y = -6.9707x + 57.943$ 。柱头外露率和开颖时长是影响异交结实率的重要因素, 相关系数分别达 0.40 和 0.37。异交结实率与单边外露率( $X_1$ )、双边外露率( $X_2$ )、总外露率( $X_3$ )、柱头长( $X_4$ )、柱头宽( $X_5$ )、柱头面积( $X_6$ )、柱头体积( $X_7$ )、开颖角度( $X_8$ )、开颖时长( $X_9$ )的多元线性回归方程为  $Y = 1.8736 + 0.4666X_1 + 0.7187X_2 + 0.7354X_3 + 0.2462X_4 + 0.7398X_5 + 0.7120X_6 + 0.2916X_7 + 0.0276X_8 + 0.9438X_9$ 。决定系数  $R^2 = 0.8847$ , 调整相关系数  $R' = 0.6047$ 。对异交结实率贡献率由高到低依次是双边外露率(17.28%)、柱头总外露率(16.84%)、开颖时长(13.22%)、单边外露率(10.92%)、开颖角度(10.66%)、柱头面积(10.28%)、柱头体积(5.52%)、柱头长度(3.62%)、柱头宽度(2.62%)。

**关键词** Y58S; 异交结实率; 相关系数; 通径分析

**中图分类号** S511 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)18-0032-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.18.007



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Correlation and Path Analysis of Outcrossing Traits of Two-line Male Sterile Line Y58S

WANG Hui (Seed Management Station of Nanping Agriculture Bureau, Nanping, Fujian 354200)

**Abstract** Correlation, multiple stepwise regression and path analysis were carried out on the agronomic traits, flowering habits and outcrossing fruiting of indica photothermal-sensitive two-line male sterile line Y58S. The results showed that Y58S was a two-line male sterile line with excellent comprehensive character. The flowers before noon accounted for 74.07%, and the flowering was concentrated. It reached the flowering peak around 11:00. The linear equation of stigma vigor decline was  $y = -6.9707x + 57.943$ . The exposure rate of stigma and glume opening time were the important factors affecting the seed setting rate of outcrossing, and the correlation coefficients were 0.40 and 0.37, respectively. The multiple linear regression equation of outcrossing seed setting rate and unilateral exertion rate ( $X_1$ ), bilateral exertion rate ( $X_2$ ), total exertion rate ( $X_3$ ), stigma length ( $X_4$ ), stigma width ( $X_5$ ), stigma area ( $X_6$ ), stigma volume ( $X_7$ ), glumming angle ( $X_8$ ) and glumming length ( $X_9$ ) was as follows:  $Y = 1.8736 + 0.4666X_1 + 0.7187X_2 + 0.7354X_3 + 0.2462X_4 + 0.7398X_5 + 0.7120X_6 + 0.2916X_7 + 0.0276X_8 + 0.9438X_9$ . The determination coefficient  $R^2 = 0.8847$ , and the adjusted correlation coefficient  $R' = 0.6047$ . The contribution rate of outcrossing seed setting was bilateral stigma exposure (17.28%) > total exposure rate (16.84%) > glume opening time (13.22%) > unilateral exposure rate (10.92%) > glume opening angle (10.66%) > stigma area (10.28%) > stigma volume (5.52%) > stigma length (3.62%) > stigma width (2.62%).

**Key words** Y58S; Outcrossing rate; Correlation coefficient; Path analysis

20 世纪 70 年代, 三系杂交水稻的成功问世使我国成为世界上第一个成功培育出杂交水稻并大面积应用的国家。90 年代的两系法杂交稻的育种技术革新, 又开辟了杂交稻育种的新途径, 丰富了水稻杂种优势利用理论, 对我国的杂交水稻发展产生深远影响<sup>[1]</sup>。两系法杂交稻的发展及迅速推广, 得益于光温敏不育水稻的发现和利用。1973 年, 石明松从粳稻品种“农垦 58”中发现了光温敏核不育突变株, 并于 1985 年育成的光温敏不育系农垦 58S 首次通过技术鉴定<sup>[2]</sup>。截至 2020 年底, 我国累计已有 2 046 个两系杂交水稻组合通过省级或国家级审定, 使我国的杂交水稻得以迅猛发展, 并保持世界领先地位<sup>[3]</sup>。制种产量是影响杂交水稻大面积推广应用的关键。影响不育系异交结实率的性状主要包括柱头外露率、开颖角度、柱头活力、开花动态、开花时间等。Y58S 系湖南杂交水稻中心选育的优异多基因累加, 广适性水稻光温敏不育系配组了 95 个品种, 共 129 次通过省级以上审定。至 2020 年, 共有 Y 两优 900、Y 两优 1 号等 7 个组合被农业农村部冠名为超级稻品种, 推广区域覆盖了长江上

游、长江中下游和华南稻区, 累计推广超过 0.13 亿  $hm^2$ , 是我国审定组合最多、应用范围最广的两系杂交稻骨干亲本<sup>[4]</sup>, 以 Y58S 为骨干亲本衍生的不育系也达 13 个<sup>[3]</sup>。为推进该不育系配组的杂交组合大面积推广应用, 笔者以母本 Y58S 为供试材料, 系统研究该不育系的农艺性状、开花习性、异交特性, 通过遗传相关、多元逐步回归和通径分析等统计分析, 探寻影响该不育系高产制种的关键因素, 为 Y 两优系列杂交组合的大面积推广应用提供技术保障。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 采用籼型光温敏两系不育系 Y58S 为供试材料, 异交结实率的考察父本为福建农林大学选育的恢复系 R639, 以上材料均为福建农林大学农学院提供。

**1.2 田间试验种植** 试验于 2020 年 5 月 20 日在南平市延平区西芹镇播种, 6 月 15 日大田移栽, 单本种植。不育系每小区插植 4 行, 每行 7 株; 制种的异交结实率以父、母本行比 2:10 插植。父本分 2 期播种, 合理安排错期, 确保花期相遇。株行距 25 cm×25 cm。田间管理同一般大田。

### 1.3 性状考察方法

**1.3.1 农艺性状调查。** 取具有代表性的不育系 9 株进行考察, 主要考察株高、主穗长、粒型、柱头外露率、开颖角度和异交结实率等, 计算平均值。其中, 开颖角度考察是在开花高峰期, 每株选取 3 穗, 每穗选取 3 朵正在开花的颖花, 分别测

**基金项目** 福建省农作物新品种展示示范推广项目(闽种站[2017]11号); 福建省农作物优质、绿色新品种展示示范推广项目(闽种站[2020]12号)。

**作者简介** 王辉(1973—), 男, 福建武平人, 高级农艺师, 从事作物栽培和农业技术推广研究。

**收稿日期** 2021-03-04

量出每朵颖花的开颖角度。异交结实率考察主要在父母本不喷 920 的情况下赶粉 7 d, 20 d 后取结实的不育系 10 穗, 调查结实率并计算平均值。

**1.3.2 柱头活力测定。**进入盛花期时, 随机抽取 2 株不育系, 取顶端已开花 1/4 左右的单穗, 剪去已开花和下部幼嫩颖花, 分别套取 7 个套袋, 每袋 2 穗。每天上午采用恢复系 R639 的父本花粉对不育系进行饱和授粉, 连续逐袋授粉 7 d, 20 d 后取回室内分别考察结实率, 用异交结实率的变化来估算柱头活力。

**1.3.3 日开花动态观察。**在不育系盛花期, 随机抽取 1 株不育系, 分别选取已开花 1/4 左右的单穗 3 穗, 调查 08:30—13:30 的颖花开放数量, 每隔 30 min 观察 1 次调查开放颖花数量, 取 3 穗平均值。颖花开放持续时长以取 08:30 开放 5 朵颖花进行统计, 并取平均值。

**1.4 统计分析** 采用 Excel 整理统计数据, 绘制各不育系日开花动态和柱头活力下降趋势图; 采用软件 DPS 7.05<sup>[5]</sup> 逐步

回归方法, 以制种结实率为因变量, 以上述考察的所有性状为自变量, 分析性状间相关系数和影响异交结实率通径系数等。

## 2 结果与分析

**2.1 Y58S 主要农艺性状和开花习性** 从表 1 可以看出, Y58S 平均株高 70.08 cm, 主穗长 23.52 cm, 粒长、粒宽和长宽比分别为 8.56 mm、2.58 mm 和 3.34, 千粒重 23.77 g, 柱头双边外露率 59.15%, 单边外露率 29.42%, 总外露率高达 88.57%。Y58S 柱头长度 1.43 mm, 柱头宽度 0.42 mm, 柱头面积 0.60 mm<sup>2</sup>, 柱头体积 0.21 mm<sup>3</sup>。在开花习性上, 该不育系开颖角度 20.21°, 持续时长 2.38 h, 变幅为 1.50~3.11 h。制种平均异交结实率 53.62%, 变异幅度 51.18%~56.38%, 变异系数 3.38%, 异交结实率相对稳定。综上可知, Y58S 是一个综合性状优良的两系不育系, 掌握好父母本花期, 提高赶粉质量可以显著提高制种产量, 降低杂交种子成本。

表 1 Y58S 主要农艺性状和开花习性比较

Table 1 Comparison of main agronomic characters and flowering habit performance of Y58S

项目 Item	株高 Plant height cm	主穗长 Main ear length//cm	粒长 Grain length mm	粒宽 Grain width mm	长宽比 Length-width ratio	千粒重 1 000-grain weight//g	单边外露率 Single side exposure rate//%	双边外露率 Bilateral exposure rate//%
平均数 Average	70.08	23.52	8.56	2.58	3.34	23.77	29.42	59.15
标准差 Standard deviation	1.05	1.10	0.35	0.23	0.31	1.29	3.68	6.27
变异幅度 Variation range	68.40~71.60	21.60~25.10	8.00~9.10	2.20~2.90	2.76~3.91	22.80~23.60	23.17~34.61	43.83~66.71
变异系数 Variation coefficient//%	1.5	4.68	4.05	8.92	9.13	4.96	12.49	10.6

项目 Item	总外露率 Total exposure rate//%	柱头长度 Stigma length mm	柱头宽度 Stigma width mm	柱头面积 Stigma area mm <sup>2</sup>	柱头体积 Stigma volume mm <sup>3</sup>	开颖角度 Angle of glume opening//°	开颖时长 Glume opening hours//h	异交结实率 Outcrossing rate//%
平均数 Average	88.57	1.43	0.42	0.60	0.21	20.21	2.38	53.62
标准差 Standard deviation	6.33	0.25	0.12	0.20	0.13	1.33	0.46	1.81
变异幅度 Variation range	74.37~97.19	0.98~1.83	0.24~0.61	0.24~0.95	0.04~0.46	17.50~22.30	1.50~3.11	51.18~56.38
变异系数 Variation coefficient//%	7.15	17.24	29.28	33.53	59.38	6.59	19.5	3.38

**2.2 Y58S 开花习性分析** Y58S 开花动态分布图见图 1。由图 1 可知, Y58S 在 08:30 已逐渐开放。11:00 为开花期高峰, 颖花开放率占 22.22%。至 12 点前的午前开花率占 74.07%, 开花较为集中。水稻颖花开放后, 柱头活力会随时间延长持续下降, 接受花粉能力逐渐减弱。因此, 不育系的柱头活力是影响其制种产量的关键因素。Y58S 柱头活力的下降趋势见图 2。拟合结果显示, Y58S 柱头活力下降线性方程为  $y = -6.9707x + 57.943$ , 即表明每增加 1 d, 柱头活力下降 6.97% 左右。

**2.3 Y58S 的异交特性与异交结实率的相关分析** 制种异交结实率与该研究考察的 9 个性状均呈正相关, 表明影响异交特性受不育系的诸多性状共同影响。从表 2 可以看出, 与异交结实率 (Y) 相关系数最高的是总柱头外露率 ( $R_3 = 0.40^{**}$ ), 达到极显著性水平, 其他性状与异交结实率的相关系数依次

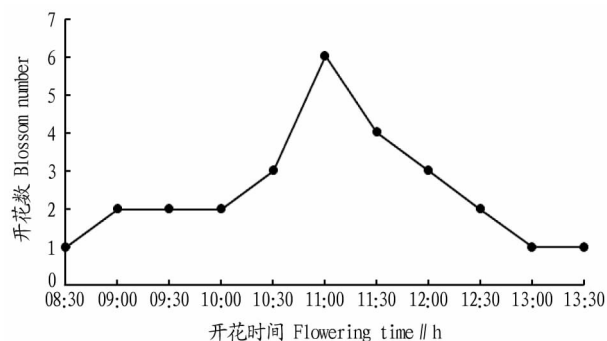


图 1 Y58S 花时动态分布

Fig.1 Dynamic distribution of the flower time of Y58S

为双边柱头外露率 ( $R_2 = 0.39^{**}$ ) > 开颖时长 ( $R_9 = 0.37^*$ ) > 单边柱头外露率 ( $R_1 = 0.35$ ) > 柱头面积 ( $R_6 = 0.34$ ) > 开颖角度 ( $R_8 = 0.33$ ) > 柱头体积 ( $R_7 = 0.16$ ) > 柱头长度 ( $R_4 = 0.12$ ) > 柱

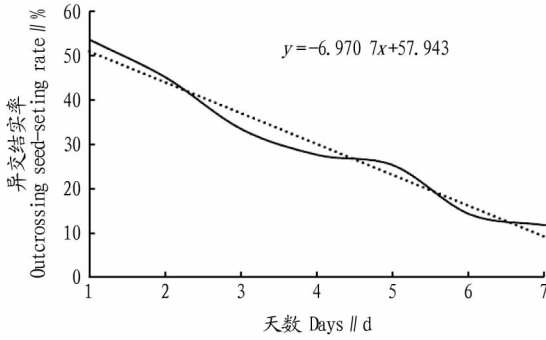


图2 Y58S 柱头活力下降趋势

Fig.2 Declining trend of the stigma vitality of Y58S

头宽度( $R_5=0.10$ )。其中,异交结实率与双边柱头外露率达到极显著相关水平,与开颖时长显著相关。由此表明,决定一个不育系异交特性最重要的性状为柱头外露率,且以双边柱头外露率为主,其次为接受花粉的柱头面积和开颖时长,这些性状共同影响了不育系授粉结实的概率。

**2.4 Y58S 的异交特性多元回归分析** 利用逐步回归方法建立异交结实率( $Y$ )、单边外露率( $X_1$ )、双边外露率( $X_2$ )、总外

露率( $X_3$ )、柱头长度( $X_4$ )、柱头宽度( $X_5$ )、柱头面积( $X_6$ )、柱头体积( $X_7$ )、开颖角度( $X_8$ )、开颖时长( $X_9$ )的多元线性回归方程为: $Y = 1.873 6 + 0.466 6X_1 + 0.718 7X_2 + 0.735 4X_3 + 0.246 2X_4 + 0.739 9X_5 + 0.712 0X_6 + 0.291 6X_7 + 0.027 6X_8 + 0.943 8X_9$ ,决定系数  $R^2 = 0.884 7$ ,调整相关系数  $R' = 0.604 7$ ,该模型较为全面考虑了异交结实因变量的作用因子,从方程可以得出,所有参与模型构建的因子都与异交结实率存在相关性。采用这个方程能比较直观的得出异交结实率与各因子间的变化,当总外露率在 74.37%~97.19%,总外露率每增加 1.00%,异交结实率提高 0.74%;双边外露率在 43.83%~66.71%,双边外露率提高 1.00%,异交结实率提高 0.72%;当开颖时长在 1.5~3.1 h,开颖时长增加 1.0 h,异交结实率平均提高 0.71%;柱头面积在 0.24~0.95 mm<sup>2</sup>,柱头面积每增加 1 mm<sup>2</sup>,异交结实率平均增长 0.94%。从偏相关系数(表 3)来进一步验证可知,双边外露率、总外露率、柱头面积、开颖时长与异交结实率密切相关,偏相关系数分别为 0.729 8、0.769 6、0.712 3、0.751 8,这与相关性分析的结果基本一致。

表 2 Y58S 异交特性与异交结实率相关系数

Table 2 Correlation coefficient between Y58S outcrossing characteristics and outcrossing seed setting rate

项目 Item	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$Y$
单边外露率 Single side exposure rate $X_1$	1									
双边外露率 Bilateral exposure rate $X_2$	-0.10	1								
总外露率 Total exposure rate $X_3$	-0.10	0.84**	1							
柱头长度 Stigma length $X_4$	0.25	0.17	0.20	1						
柱头宽度 Stigma width $X_5$	-0.14	-0.50	-0.28	-0.15	1					
柱头面积 Stigma area $X_6$	0.04	-0.37	-0.37	0.48	0.55	1				
柱头体积 Stigma volume $X_7$	0.06	-0.56*	-0.47	0.28	0.71**	0.96**	1			
开颖角度 Angle of glume opening $X_8$	-0.31	-0.41	-0.43	-0.03	0.59*	0.42	0.45	1		
开颖时长 Glume opening time $X_9$	-0.57	0.36	0.42*	-0.04	0.05	0.07	-0.02	0.36	1	
异交结实率 Outcrossing rate $Y$	0.35	0.39**	0.40**	0.12	0.10	0.34	0.16	0.33	0.37*	1

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

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

表 3 不同性状与异交结实率偏相关系数

Table 3 Partial correlation coefficients of traits and outcrossing seed setting rate

变量 Variables	回归系数 Regression coefficient	标准系数 Standard coefficient	偏相关 Partial correlation	标准误 Standard error	$t$	$P$
$Y$	1.873 6	—	—	0.890 5	2.104 1	0.126 1
$X_1$	0.466 6	0.261 6	0.401 5	0.752 7	0.619 9	0.579 2
$X_2$	0.718 7	1.103 1	0.729 8	0.569 3	0.243 6	0.823 2
$X_3$	0.735 4	1.247 2	0.769 6	0.624 3	1.145 9	0.334 9
$X_4$	0.246 2	0.944 4	0.423 6	0.166 1	1.482 5	0.234 8
$X_5$	0.739 9	1.562 0	0.336 4	0.480 6	1.539 4	0.221 3
$X_6$	0.712 0	0.953 1	0.712 3	0.771 5	1.612 2	0.205 3
$X_7$	0.291 6	1.038 2	0.470 3	1.341 4	1.708 4	0.186 1
$X_8$	0.027 6	0.671 1	0.338 1	0.030 6	0.902 8	0.433 2
$X_9$	0.943 8	0.614 8	0.751 8	0.050 0	1.438 9	0.245 8

**2.5 Y58S 各性状与异交结实率的通径分析** 由表 4 可知,各性状对异交结实率贡献大小依次为柱头双边外露率(17.28%)>柱头总外露率(16.84%)>开颖时长(13.22%)>单边外露率(10.92%)>开颖角度(10.66%)>柱头面积(10.28%)>柱头体积(5.52%)>柱头长度(3.62%)>柱头宽度(2.62%),其中与双边外露率和总外露率的直接通径系数分别为 0.443 1 和 0.421 1,其次为开颖时长(0.357 2)、单边外

露率(0.312 1)和开颖角度(0.323 1)。由表 5 可知,开颖时长通过单边外露率、双边外露率、总外露率、柱头长度、柱头宽度、柱头面积和柱头体积的间接通径系数为正值,分别为 0.148 2、0.073 8、0.487 8、0.035 4、0.074 2、0.336 9 和 0.114 9;与柱头外露率相关的柱头长度和宽度的间接通径系数表明,柱头外露率通过柱头长度促进了异交结实,而柱头宽度对柱头外露率有负作用,说明细长的柱头相对扁短柱头更有利于

柱头外露率的提高。综合所有性状可以得出,影响 Y58S 异交结实率的主要因素为柱头外露率和开颖时长,其他性状如

柱头长度和开颖角度的优化也可以提高其制种的异交结实率。

表 4 不同性状与异交结实率直接通径系数和贡献率

Table 4 Direct path coefficient of traits and outcrossing seed setting rate

作用因子 Interaction factor	相关系数 Correlation coefficient (R)	直接通径系数 Direct path coefficient (P)	对异交结实率贡献率 Contribution rate to outcrossing seed setting (RP) // %
单边外露率 Single side exposure rate $X_1$	0.35	0.312 1	10.92
双边外露率 Bilateral exposure rate $X_2$	0.39	0.443 1	17.28
总外露率 Total exposure rate $X_3$	0.40	0.421 1	16.84
柱头长度 Stigma length $X_4$	0.12	0.301 4	3.62
柱头宽度 Stigma width $X_5$	0.10	0.261 6	2.62
柱头面积 Stigma area $X_6$	0.34	0.302 3	10.28
柱头体积 Stigma volume $X_7$	0.16	0.344 8	5.52
开颖角度 Angle of glume opening $X_8$	0.33	0.323 1	10.66
开颖时长 Glume opening time $X_9$	0.37	0.357 2	13.22

表 5 不同性状与异交结实率间接通径系数

Table 5 Connection diameter coefficient between traits and outcrossing seed setting rate

作用因子 Interaction factor	间接通径系数 Indirect path coefficient								
	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_3$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_7$	$\rightarrow X_8$	$\rightarrow X_9$
单边外露率 Single side exposure rate $X_1$		0.021 2	0.109 4	-0.238 4	0.226 2	0.190 2	-0.350 4	0.209 8	0.348 4
双边外露率 Bilateral exposure rate $X_2$	0.027 3		0.879 7	-0.158 6	-0.779 8	-1.820 8	3.354 6	0.273 4	-0.223 3
总外露率 Total exposure rate $X_3$	0.027 3	0.170 6		0.187 4	-0.433 2	-1.820 8	2.817 8	0.286 3	-0.257 0
柱头长度 Stigma length $X_4$	0.066 0	0.034 1	0.207 8		-0.231 5	2.362 5	-1.689 8	0.022 4	0.023 0
柱头宽度 Stigma width $X_5$	-0.037 9	-0.101 4	-0.290 5	0.139 9		2.727 0	-4.279 8	-0.392 6	-0.029 2
柱头面积 Stigma area $X_6$	-0.010 0	0.074 6	0.385 0	-0.450 5	0.860 0		-5.771 2	-0.278 9	-0.041 8
柱头体积 Stigma volume $X_7$	-0.015 2	0.112 8	0.438 7	-0.264 3	1.107 1	4.734 0		-0.299 3	0.011 7
开颖角度 Angle of glume opening $X_8$	0.081 8	0.082 7	0.446 8	0.031 6	0.913 8	2.058 5	-2.692 8		-0.221 8
开颖时长 Glume opening time $X_9$	0.148 2	0.073 8	0.487 8	0.035 4	0.074 2	0.336 9	0.114 9	-0.242 2	

### 3 结论与讨论

在杂交水稻制种生产中,水稻颖花器官的构造及开花特性对制种产量的高低起着决定性作用。研究表明,水稻不育系的柱头外露率、柱头长度直接影响异交结实率的高低<sup>[6-9]</sup>。研究也报道不育系的午前开花率与异交结实率存在显著相关<sup>[10-11]</sup>。该研究对柱头外露率、柱头特性、开颖时长等 8 个性状进行相关、多元回归和通径分析,也得到相似的结果。有关开颖时长与异交结实率相关性的研究较少,一般情况下认为开颖时间越长,水稻异交结实率越高。该研究表明,在选用 Y58S 制种过程中,优化开颖角度可促进柱头的单边外露率和双边外露率,同时适当延长开颖时长可有效提高不育系的异交结实率。

该研究的相关系数分析显示,柱头外露率与柱头长度呈正相关,与柱头宽度呈负相关。在通径分析中柱头外露率通过柱头长度对异交结实率有间接促进作用,这与前人研究结果基本一致<sup>[12]</sup>。贺立伟<sup>[13]</sup>研究表明,柱头相关性状遗传率高,现有大量的不育系种质资源具有良好的柱头外露率、开颖时长等性状,可以通过遗传改良来提高水稻不育系的异交结实率。籼型两用核不育系 Y58S 制种产量主要受柱头外露率和开颖时间影响,制种生产中应保证在阳光充足的区域且盛花期保持水层,以提高柱头外露率和开颖时长,同时合理调控花期、喷施赤霉酸等措施,保持开花习性,提高柱头活

力,最大限度发挥籼稻两用核不育系 Y58S 的制种潜力,促进其相关组合的推广应用。

### 参考文献

- [1] 杨金松,黄志谋,张再君,等.杂交水稻的系谱分析与杂种优势利用[J].大麦与谷类科学,2020,37(4):1-6.
- [2] 扶定,王青林,赵万兵,等.Y58S 系列组合产量、品质及抗性的综合表现[J].中国农学通报,2015,31(3):49-53.
- [3] 国家水稻数据中心.中国水稻品种及其系谱数据库[DB/OL].[2021-01-15].http://www.ricedata.cn/variety/.
- [4] 邓启云,袁隆平,吴俊,等.广适性骨干亲本 Y58S 创制与超级稻新品种选育[R].国家杂交水稻工程技术研究中心暨湖南杂交水稻研究中心,2017-01-06.
- [5] 唐启义.DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析及数据挖掘[M].2版.北京:科学出版社,2010:600-603.
- [6] 陈云凤,余秋英,傅军如,等.5个水稻三系新不育系异交特性研究[J].江西农业大学学报,2013,35(1):7-12.
- [7] 黄惠芳,鄂志国,祁永斌,等.中国两系杂交稻的发展现状及光温敏雄性不育基因研究进展[J].浙江农业学报,2015,27(5):893-899.
- [8] 刘宜柏,贺浩华,孙义伟,等.两系杂交水稻的开发与利用研究——I.两系亚种间制种的花期 timing 及异交率的初步观察[J].江西农业大学学报,1990,12(2):32-35.
- [9] 舒志芬.七个水稻光温敏核不育系异交特性的研究[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [10] 赵锦龙,罗碧,冯浩深,等.开花集中度是影响粳稻细胞质雄性不育系异交结实率的重要因素[J].中国农学通报,2016,32(15):6-11.
- [11] 林建荣,吴明国,宋昕蔚.三系粳稻不育系开花习性与其异交结实率的关系[J].杂交水稻,2006,21(5):69-72.
- [12] 李维明,杨仁崔.大柱头水稻花器性状的遗传变异与相关[J].福建农业学报,1986,15(4):288-292.
- [13] 贺立伟.水稻雄性不育系柱头外露特性及其与花器性状的关系研究[D].长沙:湖南农业大学,2008.