

# 水稻斑点叶突变体 *Spl34* 的表型鉴定及理化指标分析

王茂辉<sup>1,3</sup> 钟春燕<sup>1</sup> 罗文龙<sup>2,3</sup> 聂金泉<sup>1</sup> 郭涛<sup>3</sup> 王慧<sup>3</sup> 陈志强<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>广东省肇庆市农业科学研究所,肇庆 526000; <sup>2</sup>广东省农业科学院蔬菜研究所,广州 510000;

<sup>3</sup>华南农业大学国家植物航天育种工程技术研究中心,广州 510642)

**摘要:**水稻斑点叶突变体 *Spl34* 是自然条件下获得的突变体,以  $F_8$  突变体 *Spl34* 单株分离的无斑点植株(CK)为对照,田间表型调查发现突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)相比未出现早衰现象,农艺性状也无显著性差异。品质分析显示突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)的整精米率差异达到极显著水平,其他指标无显著性差异。紫外光照射和 NBT、DAB 的染色试验表明突变体 *Spl34* 的斑点可能是紫外光诱导某种未知色素积累导致。开花期突变体 *Spl34* 的 SPAD 值、可溶性蛋白均低于无斑点植株(CK),并且下降速度较快。田间光合作用测定结果表明,开花期突变体 *Spl34* 的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均低于无斑点植株(CK),表明突变体 *Spl34* 斑点的出现影响了叶片的光合作用。

**关键词:**水稻;斑点叶突变体;表型;生理生化

一般来说斑点叶突变体是指植物在未遭受病原物侵染或明显逆境条件下,在植株叶片上自发形成坏死斑的一类叶色突变体<sup>[1]</sup>。水稻斑点叶突变体的鉴定主要是通过对变异表型的观察,突变体的主要特征是叶片或叶鞘上出现不同颜色、大小和形状的斑点。水稻叶片出现的斑点颜色大多为褐色,也有些突变为红褐色、暗褐色、橙黄色和白色<sup>[2]</sup>。斑点叶基因作用十分广泛,涉及很多生理生化过程,一般包括生长、发育、衰老和死亡等。已鉴定的水稻斑点叶突变体,大多数由细胞死亡引起斑点表型,而仅有 *spl30*<sup>[3]</sup> 是非细胞死亡型斑点叶突变体。由于类病变表型与病原菌侵染后的超敏反应症状类似,因此斑点叶突变体成为了研究细胞程序性死亡(PCD, Programmed cell death)和防卫反应的理想材料<sup>[4]</sup>。由于活性氧(ROS, Reactive oxygen species)和活性氮(RNS, Reactive nitrogen species)是植物响应生物和非生物胁迫的信号分子,能激活防御基因和诱导 PCD,因此引起 ROS 和 RNS 失衡的基因突变都可能造成局部细胞死亡,这也是产生斑点叶变异常见的分子机制<sup>[5]</sup>。许多斑点叶突变体都伴随抗病性提高及抗病反应相关物质的组成性表达,如胍胍质的积

累、防卫反应相关基因的激活、水杨酸含量升高。

突变体是功能基因组学研究的重要材料,近年来,利用水稻突变体进行水稻功能基因组学研究取得重大进展<sup>[6-7]</sup>。发掘和鉴定各式各样的水稻斑点叶突变体,不仅有助于叶绿素合成与降解途径及光合作用机理的研究,还有助于水稻品种改良和抗病性研究。本研究前期获得了一个自发突变的斑点叶突变体,进而对突变体 *Spl34* 其他农艺性状进行鉴定,包括田间表型、生理生化指标、稻米品质及对光合作用的影响等方面,为进一步摸清突变体 *Spl34* 的生物学效应和今后的育种利用提供理论基础。

## 1 材料与方法

**1.1 供试材料** 斑点叶突变体 *Spl34* 是从正常绿叶品种粤晶丝苗 2 号和 H4 的  $F_2$  群体中获得的自然突变体,连续多代种植后其突变表型稳定遗传。在前期研究的基础上,以  $F_8$  突变体 *Spl34* 单株分离的无斑点植株(CK)为对照,对突变体 *Spl34* 进行农艺及品质性状、种子活力、生理生化指标等研究。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 突变体 *Spl34* 田间表型及农艺性状** 2016 年早季,将突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)种植于华南农业大学科研教学实验基地,分蘖期观察田间条件下突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)的株高、叶

片的生长情况;成熟期比较植株、稻穗、籽粒的表型差异及叶斑发生情况,并对株高、单株穗重、一次枝梗数、穗长、结实率、粒长、粒宽、千粒重等农艺性状进行调查。

**1.2.2 种子活力及米质分析** 种子活力分析是从每个材料筛选后的种子中随机取 300 粒,分成 3 组,分别放在铺有湿纸的发芽盒中,置于恒温箱保持适宜温度 30℃,一般 3~4d 计算发芽势、6~7d 计算发芽率。米质分析是对突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)的种子进行稻米品质分析,测定糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、粒长、粒宽。

**1.2.3 突变体 *Spl34* 对紫外光的反应** 前期叶片局部遮光试验表明自然光是诱导斑点出现的因素。紫外光是电磁波谱中波长从 0.01~0.40 μm 辐射的总称,又是自然光中最重要的诱变因素,因此为了探究斑点的出现是否由紫外光引起,进一步设计了紫外光处理试验。通过紫外光(UV)处理试验探究突变体 *Spl34* 对紫外光(UV)的反应,设置 4 个环境(A: -UV、8h 光照; B: -UV、12h 光照; C: +UV、8h 光照; D: +UV、12h 光照),放入相同长势的突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK),观察植株生长情况及斑点的发生情况,记录斑点大小并在斑点出现和爆发时拍照。

**1.2.4 突变体 *Spl34* 的 SPAD 和可溶性蛋白测定** SPAD (SPAD, Soil and plant analyzer development)是作物分析仪,SPAD 值可以用来衡量叶片的绿色程度。本研究使用美能达叶绿素计 SPAD-502 (日本大阪美能达相机有限公司)测定植株叶片的 SPAD 值。田间条件下,在水稻开花后选取长势相对一致的 10 个单株,每株测定具有代表性的 5 片剑叶,每个叶片重复测 3 次。植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类,其含量是了解植物总代谢的一个重要指标。田间条件下,在水稻开花后选取长势相对一致的 5 个单株,每株选取具有代表性的 3 片剑叶,混合作为可溶性蛋白提取的样本材料,使用牛血清蛋白法测定<sup>[8]</sup>。

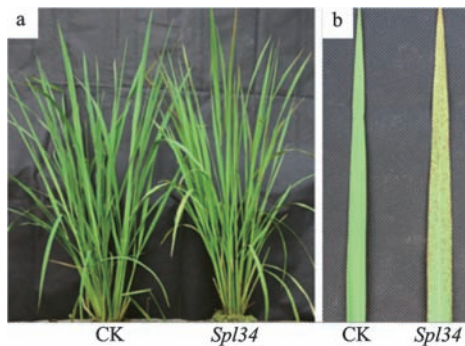
**1.2.5 突变体 *Spl34* 光合速率测定** 为了解突变体 *Spl34* 的斑点是否影响水稻叶片的光合作用,在田间测量了开花期突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)的各项光合作用指标。田间条件下,在开花期晴天上午 9:00~11:00,取长势相对一致的突变体 *Spl34*

和无斑点植株(CK)各 10 株,利用 Li-6400XT 型便携式光合作用测定仪分别测定突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)叶片的各项光合作用指标。每株测定具有代表性的 5 片剑叶,每叶重复测定 3 次;测量时,使用红、蓝光源,光强恒定为 1200 μmol/m<sup>2</sup>·s,温度为 30℃,CO<sub>2</sub> 浓度为空气中的浓度,湿度为大气中的湿度<sup>[9]</sup>。

**1.2.6 突变体 *Spl34* 中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 的检测** 在突变体 *Spl34* 中斑点的形成一般与 ROS (主要是 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)和自由基(主要是 OH<sup>·</sup>)有关。二氨基联苯胺(DAB, 3,3'-Diaminobenzidine)被过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)氧化生成不溶于水的暗棕色颗粒(红棕色沉淀),四唑氮蓝(NBT, Nitro blue tetrazolium)与超氧阴离子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)发生反应并形成深蓝色不溶性甲瓞化合物,因此 DAB 和 NBT 可分别用于检测 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub><sup>-</sup><sup>[10]</sup>。突变体 *Spl34* 的斑点表型出现后,取突变体 *Spl34* 有斑点表型和无斑点植株(CK)的叶片,分别采用 DAB、NBT 检测叶片中斑点部位 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、O<sub>2</sub><sup>-</sup> 的沉积情况。

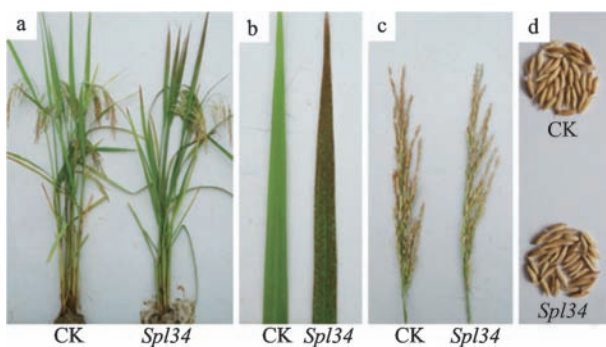
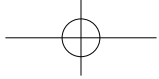
## 2 结果与分析

**2.1 突变体 *Spl34* 表型及农艺性状鉴定** 调查早季突变体 *Spl34* 植株田间生长情况,分蘖期调查发现田间种植的突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)的株高和叶片生长情况没有差异(图 1)。突变体 *Spl34* 的斑点从幼穗分化期开始一直持续到成熟期,属于全生育期扩散型斑点叶突变体;田间观察发现突变体 *Spl34* 植株在成熟期没有出现明显的早衰现象(图 2a);突变体 *Spl34* 成熟期叶片斑点扩散到了整个叶片(图 2b);突变体 *Spl34* 成熟期的稻穗、籽粒与无斑点植株(CK)没有明显差异(图 2c、d)。结果表明,斑点叶突变体 *Spl34* 成熟期植株、稻穗、籽粒的表型性状与无斑点植株(CK)相比均未出现差异。



a: 分蘖期植株; b: 分蘖期叶片

图 1 分蘖期无斑点植株(CK)与突变体 *Spl34* 的表型



a:成熟期植株;b:成熟期叶片;c:成熟期稻穗;  
d:成熟脱粒后的籽粒

图2 成熟期无斑点植株(CK)与突变体 *Spl34* 的表型

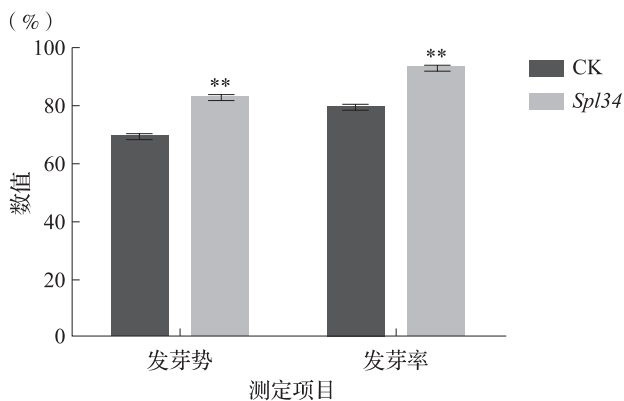
对突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)的株高、单株穗重、一次枝梗数、穗长、结实率、粒长、粒宽、千粒

重等农艺性状调查后,利用 SAS (Statistical analysis system) 生物统计分析软件对数据进行差异显著性分析,结果显示突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)相比,各性状差异不显著(表1)。表明突变体 *Spl34* 的主要农艺性状未受到斑点性状的不利影响。

**2.2 种子活力及品质分析** 种子活力测定试验结果显示,突变体 *Spl34* 的发芽势和发芽率分别达到了 82.67%、91.33%,而无斑点植株(CK)分别为 69.30%、79.60% (图3)。突变体 *Spl34* 的发芽势和发芽率均高于无斑点植株(CK),差异达到极显著水平。结果表明,突变体 *Spl34* 斑点表型的出现并未影响种子的活力,反而在一定程度上提高了突变体 *Spl34* 的种子活力。

表1 突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)农艺性状鉴定

材料	株高 (cm)	单株穗重 (g)	一次枝梗数	穗长 (cm)	结实率 (%)	粒长 (cm)	粒宽 (cm)	千粒重 (g)
CK	99.20 ± 1.01	31.13 ± 4.75	12.62 ± 0.66	26.83 ± 0.65	77.38 ± 3.12	0.91 ± 0.39	0.22 ± 0.04	19.00 ± 0.29
<i>Spl34</i>	98.43 ± 1.51	29.18 ± 6.35	12.92 ± 0.14	27.59 ± 0.51	71.47 ± 5.82	0.92 ± 0.11	0.22 ± 0.05	19.53 ± 0.50



\*\* 在 0.01 水平上差异显著,下同

图3 突变体无斑点植株(CK)与突变体 *Spl34* 的种子活力鉴定

利用 SAS 软件分析突变体 *Spl34* 和无斑点植株(CK)的稻米品质相关数据发现,突变体 *Spl34* 糙米率为 84.00%,精米率为 72.10%,垩白粒率为 10.75%,均与无斑点植株(CK)没有明显差异,而突变体 *Spl34* 整精米率为 66.25%,高于无斑点植株(CK),两者差异达极显著水平(表2)。表明突变体 *Spl34* 稻米品质未受到斑点性状的不利影响。

表2 突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)稻米品质鉴定

材料	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)	垩白粒率 (%)	粒长 (cm)	粒宽 (cm)
CK	83.65 ± 0.20	71.68 ± 0.42	57.95 ± 0.32	10.50 ± 0.65	0.62 ± 0.04	0.18 ± 0.02
<i>Spl34</i>	84.00 ± 0.21	72.10 ± 0.12	66.25 ± 0.26**	10.75 ± 0.85	0.61 ± 0.02	0.17 ± 0.01

**2.3 突变体 *Spl34* 对紫外光的反应** 紫外光(UV)辐照试验显示:培养箱种植的植株,观察发现突变体 *Spl34* 在辐照条件下 16d 叶尖开始出现斑点,而没有辐照条件的叶尖则未出现斑点。对成熟期叶片斑点面积进行比较,发现辐照 12h 的突变体 *Spl34* 的叶片同样大小区域内(1cm<sup>2</sup>)斑点面积比辐照 8h 的要大(图4)。此外,没有辐照 8h、12h 条件下的培养箱中突变体 *Spl34* 的叶片均未出现斑点。因此可以推测紫外光(UV)是诱导斑点出现的因素,并且随着照射时间的增加斑点面积也会变大,推测突变体 *Spl34* 的斑点可能是紫外光诱导某种未知色素的积累导致。



a : 8h 培养箱中的叶片表型; b : 12h 培养箱中的叶片表型;  
- 表示无 UV ; + 表示有 UV

图4 UV 对突变体 *Spl34* 的影响

**2.4 SPAD 和可溶性蛋白含量测定** SPAD 测定结果显示,从开花期开始突变体 *Spl34* 的 SPAD 值就低于无斑点植株(CK),其下降速度也较快,开花 30d 时突变体 *Spl34* 的 SPAD 值远低于无斑点植株(CK)(图 5a)。在开花期开始时突变体 *Spl34* 的 SPAD 值为 36.90,随着开花时间的推移 SPAD 值下降很快,开花 30d 时已经降至 9.81;而无斑点植株(CK)的 SPAD 值在开花 10d 后开始明显下降,30d 时降至 25.01。

在开花期突变体 *Spl34* 叶片的可溶性蛋白含量均低于无斑点植株(CK),且突变体 *Spl34* 叶片的可溶性蛋白含量的下降速度大于无斑点植株(CK)(图 5b)。突变体 *Spl34* 叶片的可溶性蛋白含量在开花期开始时是 18.26mg/g(鲜叶),在开花 15d 后下降速度变快,30d 时降至 5.90mg/g(鲜叶)。结果表明,突变体 *Spl34* 斑点的形成导致叶片叶色指标迅速降低,随着斑点出现的爆发下降速度增加。同时叶片中的可溶性蛋白也有同样的下降趋势;可溶性蛋白大多是参与各种代谢的酶类,因此可以推测斑点的形成一定程度上降低了代谢酶活性,影响了突变体 *Spl34* 的代谢活动。

**2.5 光合作用指标的测定** 光合作用指标测量结果显示,开花期突变体 *Spl34* 的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、蒸腾速率(Ts)分别为 11.54  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、0.23  $\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、301.50  $\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、4.26  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ;而无斑点植株(CK)分别为 17.70  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、0.26  $\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、258.78  $\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、

4.60  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。从试验结果可以发现开花期突变体 *Spl34* 的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均低于无斑点植株(CK),其中净光合速率差异性极显著,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度则极显著高于无斑点植株(CK)(图 6)。表明突变体 *Spl34* 植株斑点的出现影响了水稻叶片的光合作用。

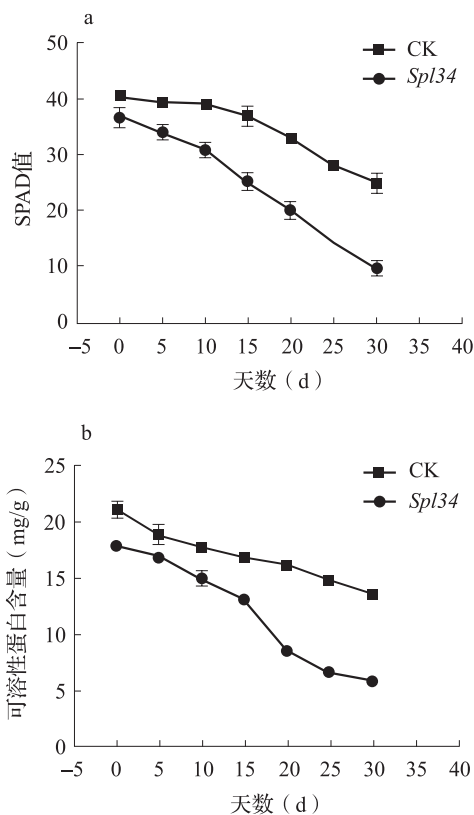
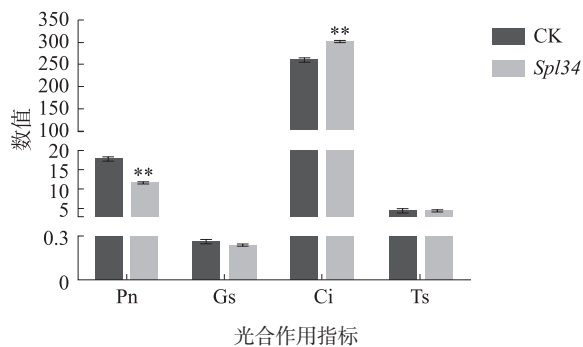


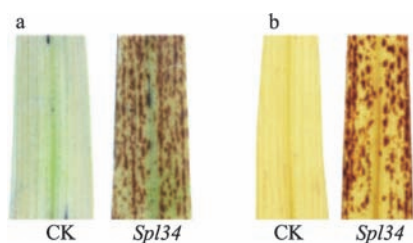
图5 开花期突变体 *Spl34* 与无斑点植株(CK)的 SPAD 值和可溶性蛋白含量变化



光合作用指标  
Pn : 净光合速率,单位:  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  ;  
Gs : 气孔导度,单位:  $\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  ;  
Ci : 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,单位:  $\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  ;  
Ts : 蒸腾速率,单位:  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

图6 开花期无斑点植株(CK)与突变体 *Spl34* 剑叶的光合特性

**2.6  $H_2O_2$  和  $O_2$  的检测** 为了进一步了解突变体 *Spl34* 的抗活性氧 (ROS) 能力和抗逆性, 设置了 NBT、DAB 的染色试验。试验结果显示, 突变体 *Spl34* 叶片斑点部位经 NBT 染色后仍是褐色, 没有出现蓝-紫色沉淀 (图 7a); 经 DAB 染色后, 斑点部位并没有明显的黑褐色沉淀 (图 7b)。结果表明, 突变体 *Spl34* 斑点部位没有大量积累  $O_2$  和  $H_2O_2$ , 因此推测突变体 *Spl34* 比无斑点植株 (CK) 有更强的抗氧化能力。



a: NBT 染色结果; b: DAB 染色结果

图 7 无斑点植株 (CK) 与突变体

*Spl34* 的 NBT、DAB 染色反应

### 3 结论与讨论

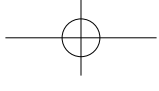
在以往的报道中, 大多数水稻突变体斑点性状的出现都会影响农艺性状, 如水稻斑点叶突变体 *spl28* 在分蘖期株高明显低于野生型, 表现出严重的早衰现象<sup>[1]</sup>; 水稻突变体 *lbsl1* 与野生型相比, 株高、结实率和千粒重等性状均有降低<sup>[2]</sup>。突变体 *Spl34* 植株在成熟期没有明显的早衰现象, 多个农艺性状也无显著差异。稻米品质分析发现突变体 *Spl34* 与无斑点植株 (CK) 的整精米率差异达到极显著水平, 其他指标没有显著性差异。紫外光照射试验表明, 突变体 *Spl34* 的斑点可能是紫外光诱导某种未知色素积累导致, 未知色素的积累可能影响叶片的光合作用。SPAD 值和可溶性蛋白含量的测定结果显示突变体 *Spl34* 的 SPAD 值、可溶性蛋白含量均低于无斑点植株 (CK), 且下降速度较快。田间光合作用测定结果表明气孔导度降低, 蒸腾作用减弱, 胞间  $CO_2$  浓度积累, 最终导致叶片的光合速率降低, 因此影响叶片的光合作用。NBT、DAB 染色试验结果说明突变体 *Spl34* 斑点部位没有  $O_2$  和  $H_2O_2$  沉积, 斑点叶突变体 *Spl34* 比无斑点植株 (CK) 有更强的抗氧化能力。

发掘和鉴定各式各样的叶色突变体, 不仅有助于叶绿素合成与降解、光合作用机理等的研究, 对水稻品种改良、抗病性研究也具有现实意义。

突变体出现类病变突变的原因非常复杂, 如水稻类病斑突变体 *spl7* 在高温 ( $>35^\circ C$ ) 和紫外线的诱导下产生斑点<sup>[12]</sup>; 突变体 *lmm4* 类病斑表型受自然光照的诱导<sup>[13]</sup>。本研究的紫外光诱导试验表明突变体 *Spl34* 斑点形成的诱导因素是紫外光, 开花期是突变体 *Spl34* 斑点爆发的时间段; 光合作用指标测定试验结果表明突变体 *Spl34* 植株斑点的出现影响叶片的光合作用。目前关于细胞死亡类水稻斑点叶突变体的研究报道很多, 如 *spl11*<sup>[14]</sup>、*spl28*<sup>[11]</sup> 以及最新发现的 *spl32*<sup>[15]</sup> 和 *spl33*<sup>[16]</sup> 等。一类由色素积累导致的斑点叶突变体还少有报道, 已经报道的 *spl30* 突变体出现的红棕色斑点并非是由细胞死亡引起, 而是未知色素的积累<sup>[3]</sup>。本研究中突变体 *Spl34* 也是一份特殊的非细胞死亡型斑点叶突变体, 具有较好的研究应用价值; 此外, 发掘新的水稻斑点叶突变体对增强植株抗病性及对抗病反应的认知具有重要的意义。

### 参考文献

- [1] Hu G, Richter T E, Hulbert S H, Pryor T. Disease lesion mimicry caused by mutations in the rust resistance gene *rp1*. *Plant Cell*, 1996, 8 (8): 1367-1376
- [2] 奉保华, 杨杨, 施勇烽, 林璐, 陈洁, 黄奇娜, 魏颜林, Hei LEUNG, 吴建利. 水稻淡褐斑叶突变体 *lbsl1* 的遗传分析与基因定位. *中国水稻科学*, 2012, 26 (3): 297-301
- [3] Huang Q N, Shi Y F, Yang Y, Feng B H, Wei Y L, Chen J, Baraoidan M, Leung H, Wu J L. Characterization and genetic analysis of a light- and temperature-sensitive spotted-leaf mutant in rice. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2011, 53 (8): 671-681
- [4] Lorrain S, Vailleau F, Balagué C, Roby D. Lesion mimic mutants: keys for deciphering cell death and defense pathways in plants?. *Trends in Plant Science*, 2003, 8 (6): 263-271
- [5] Río L A D. ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 2015, 66 (10): 2827
- [6] 郭龙彪, 储成才, 钱前. 水稻突变体与功能基因组学. *植物学报*, 2006, 23 (1): 1-13
- [7] Krishnan A, Guiderdoni E, An G, Hsing Y, Han C, Lee M, Yu S. Mutant resources in rice for functional genomics of the grasses. *Plant Physiology*, 2009, 149 (1): 165-170
- [8] 应奇才, 钟国庆, 邱明. 水稻叶片中可溶性蛋白质提取介质的比较. *杭州师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 3 (1): 34-36
- [9] 刘林, 张迎信, 李枝, 刘群恩, 余宁, 孙滨, 杨正福, 周全, 程式华, 曹立勇. 水稻类病变突变体 *g303* 的鉴定和基因定位. *中国水稻科学*, 2014, 28 (5): 465-472
- [10] Romero-Puertas M C, Rodríguez-Serrano M, Corpas F J, Gómez M, Del Río L A, Sandalio L M. Cadmium-induced subcellular



# 不同种植密度对裕丰 303 农艺性状和产量的影响

王 煜 刘 金 韩 涛 李玉鹏  
(新疆金天山农业科技有限责任公司, 昌吉 831100)

**摘要:**为研究裕丰 303 在昌吉州地区的最佳种植密度及主要性状的相关性,设置了 5 个种植密度,分别为 5000 株/667m<sup>2</sup>、5500 株/667m<sup>2</sup>、6000 株/667m<sup>2</sup>、6500 株/667m<sup>2</sup>、7000 株/667m<sup>2</sup>,分析了不同种植密度对裕丰 303 产量和农艺性状的影响。研究表明,种植密度与株高、茎粗、第 2 节间长度、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重和棒三叶面积的相关性达到极显著水平;与第 1 节间长度、倒伏率和秃尖长达到显著水平。随着种植密度的增加,玉米的株高、穗位高、第 1 节间长度、第 2 节间长度都会增加,产量性状穗长、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重都会减少,而产量却随着种植密度的增加呈先增加后降低趋势。在 6500 株/667m<sup>2</sup> 的种植密度下产量达到最大,为 1268.73kg/667m<sup>2</sup>,值得在昌吉州进行大面积推广。

**关键词:**新疆;玉米;裕丰 303;种植密度;相关性

玉米是世界第三大粮食作物,也是重要的畜牧业饲料作物和工业原料。随着生物技术的不断发展,世界范围内能源危机的不断加深,玉米也越来越成为重要的战略资源,对于玉米的需求量也呈现出不断上升的趋势,尤其是饲料用量和工业深加工用量,更是呈现出刚性增长趋势<sup>[1-3]</sup>。随着我国城市化进程的不断深入,耕地面积不断减少,玉米种植面积也不断减少,为了保证玉米供应,应不断增加玉米产量,而加大种植密度是提高产量的重要方式<sup>[4]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来,由于在玉米生产中选育和推广耐肥、抗倒、耐密品种,增施化肥和大

面积应用测土配方施肥技术,改善灌溉条件,提高耕作、病虫害防治水平,玉米种植密度不断加大,密植成为世界各地玉米实现大面积高产的关键措施和发展趋势<sup>[5-6]</sup>。新疆玉米种植面积较大<sup>[7]</sup>,但是受各种自然和人为因素的影响与制约,产量不高、效益差,严重地影响了广大种植户的生产效益和种植积极性。为此,本试验通过研究不同种植密度对裕丰 303 产量及其农艺性状的影响,旨在寻找适合新疆本地的种植密度,为农户提供可靠的技术依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 以裕丰 303 作为供试材料,试验于 2017 年在新疆金天山农业科技有限责任公司试验

通信作者:刘金

- accumulation of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in pea leaves. Plant Cell Environ, 2004, 27 ( 9 ): 1122-1134
- [11] Qiao Y, Jiang W, Lee J H, Park B S, Choi M S. SPL28 encodes a clathrin-associated adaptor protein complex 1, medium subunit  $\mu$ 1 ( AP1M1 ) and is responsible for spotted leaf and early senescence in rice ( *Oryza sativa* ). New Phytologist, 2010, 185 ( 1 ): 258-274
- [12] Yamanouchi U, Yano M, Lin H, Ashikari M, Yamada K. A rice spotted leaf gene *Spl7* encodes a heat stress transcription factor protein. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99 ( 11 ): 7530-7535
- [13] 邱结华, 马宁, 蒋汉伟, 圣忠华, 邵高能, 唐绍清, 魏祥进, 胡培松. 水稻类斑斑突变体 *lmm4* 的鉴定及其基因定位. 中国水稻科学, 2014, 28 ( 4 ): 367-376
- [14] Zeng L R, Qu S H, Bordeos A, Yang C W, Baraoidan M, Yan H Y, Xie Q, Nahm B H, Leung H, Wang G L. Spotted leaf11, a negative regulator of plant cell death and defense, encodes a U-box/armadillo repeat protein endowed with E3 ubiquitin ligase activity. Plant Cell, 2004, 16 ( 10 ): 2795-2808
- [15] Koren S, Walenz B P, Berlin K, Miller J R, Bergman N H, Adam M. Phillippy A M. Canu : scalable and accurate long-read assembly via adaptive k-mer weighting and repeat separation. Genome Research, 2017, 27 ( 5 ): 722
- [16] Wang S, Lei C L, Wang J L, Ma J, Tang S, Wang C L, Zhao K J, Tian P, Zhang H, Qi C Y, Cheng Z J, Zhang X, Guo X P, Liu C Y, Wan J M. SPL33, encoding an eEF1A-like protein, negatively regulates cell death and defense responses in rice. Journal of Experimental Botany, 2017, 68 ( 5 ): 899-913

( 收稿日期: 2018-08-23 )