

# 香稻品种盐粳 939 $^{60}\text{Co}$ 诱变 $M_2$ 代品质性状变异分析

赵一洲, 倪善君, 张 战, 李 鑫, 毛 艇, 张丽丽, 刘 研

(辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁 盘锦 124010)

**摘 要:** 为研究辐射香稻品种后代品质性状的变异情况, 以  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐射处理香稻品种盐粳 939 种子获得的  $M_2$  代群体为研究材料, 对其香味性状、外观品质性状、淀粉 RVA 谱特征值进行分析。结果表明, 在盐粳 939 的  $M_2$  代群体中香型株系达到 64.5%, 香型株系外观品质性状、淀粉 RVA 谱特征值的 Shannon-Wiener 多样性指数在 0.773~2.045, 突变频率 2.80%~28.04%。与对照品种相比垩白粒率、垩白度有变好趋势, 峰值粘度、崩解值、有下降的倾向。 $M_2$  代群体中香型株系在外观品质性状、淀粉 RVA 谱特征值上形成不同于原品种类群。本研究结果为辐射诱变香稻品种的品质诱变效应提供参考依据。

**关键词:** 盐粳 939;  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线; 外观品质性状; RVA 谱特征值; 突变

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)05-0009-05

## Variation Analysis of Quality Traits of Fragrant Rice Yanjing 939 $M_2$ Generation by $^{60}\text{Co}$

ZHAO Yizhou, NI Shanjun, ZHANG Zhan, LI Xin, MAO Ting, ZHANG Lili, LIU Yan

(Liaoning Saline-alkaline Land Utilization and Research Institute, Panjin 124010, China)

**Abstract:** To study the variation of quality traits of offspring of irradiated fragrant rice varieties, the  $M_2$  generation population obtained by  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  ray irradiation treatment of the fragrant rice variety Yanjing 939 was used as the research material, and the fragrant traits, appearance quality traits and starch RVA profile properties were analyzed. The results showed that the Shannon-Wiener diversity index of the fragrant lines of the  $M_2$  generation of Yanjing 939 reached 64.5%, the Shannon-Wiener diversity index of the appearance quality traits and the RVA profile properties of the fragrant lines ranged from 0.773 to 2.045, and the mutation frequency was between 2.80% and 28.04%. The chalky rice rate, rice chalkiness had a good trend, peak viscosity, breakdown value had a tendency to decline. The fragrant lines in the  $M_2$  generation group formed a group different from the original cultivar in the appearance quality traits and starch RVA profile properties. The results of this study provide a reference for the quality mutagenic effects of radiation-induced mutant rice varieties.

**Key words:** Yanjing 939;  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  ray; Appearance quality traits; RVA profile properties; Mutant

水稻是世界上第二大粮食作物, 也是中国最重要的粮食作物之一, 在我国粮食生产和消费中处于主导地位, 是我国 65% 以上人口的主食<sup>[1]</sup>。随着人民生活水平的提高, 对粮食的需求也有新的变化。香稻是栽培稻的特殊类型, 因其特有的芳香受到广大消费者的青睐。在国际稻米市场上优质香型稻米的价格远高于普通稻米, 已经成为高档米的代名词。越来越多的国家已将香米作为

水稻育种的目标之一<sup>[2-3]</sup>。稻米品质性状较为复杂, 包括加工品质、外观品质、蒸煮食用品质和营养品质等方面。对于香稻育种而言, 仅有香味是不够的, 还要有优良的理化品质<sup>[4]</sup>。淀粉是稻米的主要成分, 占据了精米干重的 90%<sup>[5]</sup>, 其特性与稻米食用品质直接相关。通过淀粉快速粘度分析仪(RVA)获得的淀粉粘滞性谱可以比较灵敏地反映不同水稻品种间淀粉的品质差异<sup>[6]</sup>, 被认为是评价稻米食味品质的重要指标<sup>[7-8]</sup>。

诱变育种是指在人为条件下, 利用物理因素、化学因素、空间改变和生物刺激等处理植物的种子、器官和组织, 使其遗传物质发生改变的育种方法<sup>[9]</sup>。与其他育种方法相比, 具有方法简单、周

收稿日期: 2019-12-03

基金项目: 辽宁省自然科学基金面上项目(20170540549); 辽宁省农业科学院院长基金项目(2020QN2417)

作者简介: 赵一洲(1976-), 男, 副研究员, 主要从事水稻遗传育种研究。

期短、诱变效果好等特点,并且在保持原有品种特性的前提条件下改变单一性状,进而产生一般常规方法难以获得的或者自然界没有的新基因、新类型、新性状<sup>[10-11]</sup>。根据对FAO/IAEA(联合国粮农组织/国际原子能机构)突变品种数据库(<http://mvgs.iaea.org/>)的统计,截至2018年,世界上70个国家在263种植物上利用诱发突变技术育成并推广了3 284个品种,其中30个国家育成821个水稻突变品种。中国在49种植物上培育出812个突变品种,其中水稻突变品种292个,直接利用突变体育成水稻品种178个,占突变品种总数的61%。利用诱变技术泰国、越南培育出RD6、RD15、ND95-20等系列香稻品种,已成为其种植、出口的重点品种<sup>[12,13]</sup>,中国也先后育成紫香糯861、香梗832、申香梗4号、航香18等香稻品种<sup>[3]</sup>。但通过辐射香稻品种研究香味及品质性状变化的报道较少。本研究利用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线为诱变源,对香稻品种盐梗939种子进行辐照处理,对其M<sub>2</sub>代单株进行品质性状分析,以期研究辐射诱变对香稻品种品质的诱变效应提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料及诱变处理

供试材料为辽宁省审定香稻品种盐梗939。2016年用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线照射处理干种子,剂量为150 Gy,剂量率为25 Gy/min。

### 1.2 田间试验及数据测定

辐照后各世代诱变材料及原品种(CK)均单株种植于本所试验田,行株距30.0 cm×13.3 cm。2017年将M<sub>1</sub>代单株全部移栽大田,成熟后混收。2018年种植M<sub>2</sub>代,群体规模达2 000余株,CK种植100余株。成熟后从M<sub>2</sub>代群体中随机调查166株,CK随机调查20株,按单株进行香味、外观品质性状、淀粉糊化特性测定。

#### 1.2.1 稻米香味性状测定

采用氢氧化钾(KOH)法<sup>[14]</sup>对盐梗939的M<sub>2</sub>代群体单株籽粒进行香味鉴定。在有盖的培养皿中,加入10粒糙米,然后加入1.7% KOH溶液10 mL,迅速盖上盖子,在25~30℃环境中静置10 min后,打开培养皿,逐一嗅样品气味,记作香、非香两类。

#### 1.2.2 稻米外观品质性状测定

参照中华人民共和国农业农村部部颁标准NY147-88《米质测定方法》<sup>[14]</sup>测定垩白粒率、垩白度。透明度由SDT-A型稻米透明度测定仪直接测出。粒长、粒宽、粒厚用游标卡尺随机测量整

精米20粒,计算其平均值。

#### 1.2.3 淀粉糊化特性测定

采用澳大利亚Newport Scientific仪器公司生产的Super3快速粘度分析仪(rapid viscosity analyzer, RVA)测定稻米淀粉粘滞谱特性,并用TCW(Thermal Cycle for Windows)配套软件分析RVA谱特征参数。将试验样品磨成过孔径100目筛的米粉,根据中华人民共和国国家标准GB/T 5497-85《粮食、油料检验水分测定法》<sup>[15]</sup>测定米粉含水量,校正试验样品质量和加水量。具体操作参照中华人民共和国粮食行业标准LS/T 6101-2002《谷物粘度测定快速粘度仪法》<sup>[16]</sup>中规定的方法进行。获得一级特征参数:峰值粘度(peak viscosity, PKV)、最低粘度(trough viscosity, THV)、最终粘度(final viscosity, FV)、峰值粘度时间(peak time, PT)和起始糊化温度(pasting temperature, PT),并通过计算获得二级特征参数:崩解值(breakdown viscosity, BV)、回复值(consistence viscosity, CV)、消减值(setback viscosity, SV)。其计算公式为:崩解值=峰值粘度-最低粘度,回复值=最终粘度-最低粘度,消减值=最终粘度-峰值粘度,淀粉粘滞性以RVU(rapid viscosity units)为单位,1RVU=12cP。

### 1.3 数据处理与分析方法

#### 1.3.1 多样性指数

采用Shannon-Wiener多样性指数计算不同性状多样性。先计算群体全部材料各性状的总体平均值(X)和标准差( $\delta$ ),然后划分为10级,从第1级 $[X_1 < (X - 2\delta)]$ 到第10级 $[X_{10} > (X + 2\delta)]$ ,每0.5 $\delta$ 为一级,每一级的相对频率用于计算多样性指数。计算公式为: $H' = -\sum p_i \ln(p_i)$ ,式中H'为多样性指数, $p_i$ 为某性状第i个级别内材料份数占总份数的百分数, $\ln$ 为自然对数<sup>[17]</sup>。

#### 1.3.2 突变频率

将各性状在对照平均值 $\pm 2$ 倍标准差范围以外的植株定为突变株<sup>[18]</sup>。统计M<sub>2</sub>代群体在外观品质性状、RVA谱特征值上的突变株,计算突变频率。突变频率(%)=突变株数/群体大小×100。

#### 1.3.3 主坐标分析

主坐标分析(principal coordinate analysis, PCoA)是一种降低变量维数的多元统计分析方法,即用较少的主坐标对样方进行排序。首先将样方的主坐标作为新的综合指标,再以散点图的形式映射到二维或三维空间中,进而从整体上直观反映样方间的关系。本研究利用NTsys 2.10e软件将盐梗939及其M<sub>2</sub>代群体中的香型株系外观

品质性状进行主坐标分析,并依据引起变异的第1、第2、第3主坐标做出三维散点图。

1.3.4 聚类分析

在对盐粳939M<sub>2</sub>代群体中的香型株系RVA谱8个特征值标准化的基础上,利用NTsys 2.10e软件采用欧氏距离、complete法对其进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 盐粳939 M<sub>2</sub>代群体香型株系外观品质性状变异

通过KOH试验,166个盐粳939的M<sub>2</sub>代株系中有香味的株系为107个,占株系总数的64.5%。由表1可见,经t检验CK及其M<sub>2</sub>代香型株系群体

在粒宽、粒厚、透明度、垩白粒率、垩白度性状上的差异达到显著或极显著水平,M<sub>2</sub>代香型株系群体粒宽、透明度极显著或显著高于CK,垩白粒率、垩白度、粒厚极显著或显著低于CK。M<sub>2</sub>代香型株系各性状H'值在1.813~2.045,其大小顺序依次为:透明度>粒宽>粒长>粒厚>垩白粒率>垩白度。变异系数在2.66%~81.49%,突变频率在5.61%~28.04%,其中垩白度、垩白粒率均表现最大。表明盐粳939M<sub>2</sub>代群体的香型株系与CK相比在外观上表现出籽粒变宽、透明度增加,粒厚、垩白粒率、垩白度下降的趋势。各性状具有较高的多样性水平和一定的形态变异,在垩白性状上出现突变体的频率较高。

表1 盐粳939与其M<sub>2</sub>香型群体外观品质性状变异

| 性状      | $\bar{x} \pm s$ |             | 香型株系  |         |         |
|---------|-----------------|-------------|-------|---------|---------|
|         | CK              | 香型株系        | H'    | 变异系数(%) | 突变频率(%) |
| 粒长(mm)  | 4.88±0.01       | 4.88±0.16   | 1.949 | 3.24    | 7.48    |
| 粒宽(mm)  | 2.58±0.01       | 2.63±0.07** | 1.985 | 2.66    | 12.15   |
| 粒厚(mm)  | 1.99±0.01*      | 1.97±0.08   | 1.829 | 3.89    | 5.61    |
| 透明度     | 0.67±0.02       | 0.69±0.04*  | 2.045 | 5.46    | 5.61    |
| 垩白粒率(%) | 24.0±4.27**     | 12.8±8.93   | 1.823 | 70.21   | 25.23   |
| 垩白度(%)  | 7.3±0.99**      | 3.5±2.89    | 1.813 | 81.49   | 28.04   |

注:“\*”表示在0.05水平差异显著,“\*\*”表示在0.01水平差异显著,下同

2.2 盐粳939 M<sub>2</sub>代群体香型株系RVA谱特征值变异

由表2可见,经t检验盐粳939的M<sub>2</sub>代香型株系群体的峰值粘度、崩解值极显著低于CK,消减值极显著高于CK。M<sub>2</sub>代香型株系8个RVA特征值参数的H'值在0.773~1.572,其中最低粘度、崩解值、峰值粘度时间、消减值的H'值大于1.5;峰值粘度、最终粘度、回复值H'值在1.3~1.5;起始糊化温度H'值最小为0.773。在变异系数方面,消减值最大达到69.95%,最终粘度、最低粘度、峰值粘

度、回复值、崩解值变异系数在12.18%~16.66%,峰值粘度时间、起始糊化温度较小,只有2.56%和4.42%。在突变频率方面,8个RVA特征值参数的突变频率均较小,在2.80%~6.54%,平均值为5.02%。表明盐粳939的M<sub>2</sub>代群体中的香型株系RVA特征值参数的多样性水平相对较低,出现突变体的频率也较低,但部分RVA特征值的变异系数较高。CK与其M<sub>2</sub>代群体中的香型株系在RVA谱上的差异主要由峰值粘度产生,并影响崩解值、消减值的大小。

表2 盐粳939与其M<sub>2</sub>香型群体RVA 特征值变异

| RVA 特征值     | $\bar{x} \pm s$ |               | 香型株系  |         |         |
|-------------|-----------------|---------------|-------|---------|---------|
|             | CK              | 香型株系          | H'    | 变异系数(%) | 突变频率(%) |
| 峰值粘度(RVU)   | 384.7±6.34**    | 356.3±48.11   | 1.356 | 13.44   | 2.80    |
| 最低粘度(RVU)   | 160.2±4.23      | 158.5±19.51   | 1.507 | 12.26   | 2.80    |
| 最终粘度(RVU)   | 307.7±3.74      | 303.3±37.12   | 1.400 | 12.18   | 5.61    |
| 崩解值(RVU)    | 224.6±5.54**    | 197.9±33.12   | 1.530 | 16.66   | 5.61    |
| 回复值(RVU)    | 147.5±6.76      | 144.8±21.72   | 1.420 | 14.93   | 6.54    |
| 消减值(RVU)    | -77.1±7.79      | -53.0±37.27** | 1.572 | 69.95   | 6.54    |
| 峰值粘度时间(min) | 5.8±0.17        | 5.7±0.15      | 1.552 | 2.56    | 5.61    |
| 起始糊化温度(℃)   | 70.1±0.63       | 70.7±3.14     | 0.773 | 4.42    | 4.67    |



### 2.3 盐粳939及其M<sub>2</sub>代群体香型株系外观品质性状主坐标分析

水稻外观品质由多个性状构成,并且性状间存在着相关性,因此有必要从整体上对分离群体外观品质性状进行综合分析。图1为盐粳939及其M<sub>2</sub>代群体香型株系的主坐标散点图,图中坐标位置越接近表明其性状相似性越高,越远表明其性状差异性越大。M<sub>2</sub>代群体香型株系可划分为4个类群,第I~IV类群所包含株系数占全部香型株系总数的比例分别为11.2%、66.4%、11.2%、11.2%,CK与第II类群株系最为接近。

由表3可见,除粒长、透明度2个性状外其他性状香型株系各类群及CK间差异达到显著或极显著水平。与CK相比,第I、II、III类群粒宽显著提高,垩白粒率、垩白度极显著下降;第IV类群粒厚、垩白粒率、垩白度均极显著下降。第I、

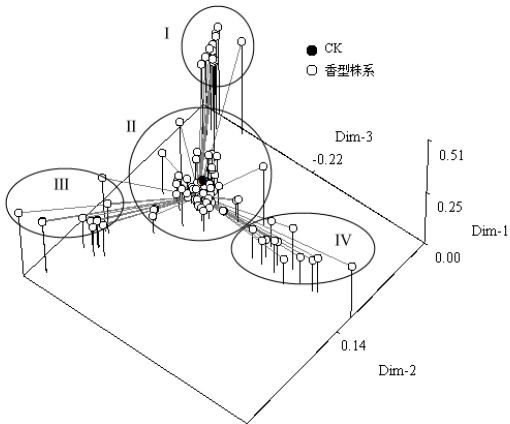


图1 盐粳939与其香型株系外观品质性状PCoA排序

II、III、IV类群间的差异主要体现在粒厚、垩白粒率、垩白度性状上。可见,盐粳939的M<sub>2</sub>代群体的香型株系产生了不同于CK的变异类型。

表3 盐粳939与其香型株系不同类群外观品质性状值比较

| 性状      | CK         | I          | II          | III         | IV          |
|---------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 粒长(mm)  | 4.88±0.01  | 4.86±0.10  | 4.88±0.17   | 4.88±0.15   | 4.86±0.13   |
| 粒宽(mm)  | 2.58±0.01b | 2.63±0.05a | 2.64±0.08a  | 2.63±0.03a  | 2.61±0.04ab |
| 粒厚(mm)  | 1.99±0.01A | 1.97±0.06A | 1.98±0.06A  | 1.96±0.06AB | 1.90±0.14B  |
| 透明度     | 0.67±0.02  | 0.70±0.02  | 0.68±0.04   | 0.70±0.04   | 0.69±0.02   |
| 垩白粒率(%) | 24.0±4.27A | 9.0±0.00BC | 15.1±10.00B | 4.5±0.90C   | 10.7±0.98BC |
| 垩白度(%)  | 7.3±0.99A  | 2.4±1.04BC | 4.3±3.22B   | 0.9±0.26C   | 3.1±0.29BC  |

注:大、小写字母不同分别代表0.01和0.05水平差异显著,下同

### 2.4 盐粳939及M<sub>2</sub>代群体香型株系RVA谱特征值差异比较

依据8个RVA谱特征值对盐粳939的M<sub>2</sub>代群体中的香型株系进行聚类,香型株系群体可归为6个类群。第I~VI类群株数占香型株系总数的比例分别为32.7%、38.3%、19.6%、1.9%、4.7%、2.8%。

由图2、表4可见,CK与第I、II、III类群的RVA谱曲线较为接近,与CK相比,第I类群最低粘度极显著提高;第II类群峰值粘度、最终粘度、崩解值极显著降低;第III类群峰值粘度、崩解值极显著降低,消减值极显著提高。CK与第IV类群的RVA谱曲线差异性较大,与CK相比,其峰值粘度、最低粘度、最终粘度极显著降低,起始糊化温度极显著升高。CK与第V、VI类群的RVA谱曲线差异更为明显,与CK相比,第V类群峰值粘度、崩解值极显著降低,最低粘度、最终粘度、回复值、消减值、峰值粘度时间、起始糊化温度极显著提高;第VI类群峰值粘度、最低粘度、最终粘度、崩解值、回复值、消减值极显著降低,起始糊化温度极显著升高。6个类群在RVA谱特征值上也存在着不同程度的差

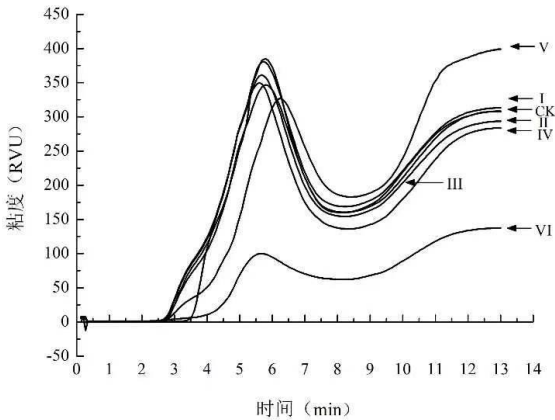


图2 盐粳939与香型株系RVA谱曲线特异类型

异,第V、VI类群与第I、II、III、IV类群和CK相比最终粘度值大于峰值粘度值。

## 3 讨论

遗传变异性是品种改良的遗传基础<sup>[19]</sup>。优良育种材料的获得在很大程度上取决于育种群体遗传多样性的丰富程度<sup>[20]</sup>。研究表明,通过辐射诱变处理的诱变材料可发生广泛的遗传变异,具有

表4 盐粳939与香型株系不同类群RVA谱特征值比较

| RVA 特征值     | CK           | I             | II           | III          | IV             | V            | VI          |
|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|----------------|--------------|-------------|
| 峰值粘度(RVU)   | 384.7±3.11A  | 381.9±14.76A  | 361.7±11.42B | 347.1±11.42C | 349.9±8.24 BCD | 328.1±28.31D | 100.1±2.60E |
| 最低粘度(RVU)   | 160.1±2.10CD | 168.6±7.53B   | 154.2±4.15D  | 160.2±4.79C  | 135.9±16.94E   | 182.6±9.75A  | 61.5±6.86F  |
| 最终粘度(RVU)   | 307.7±2.12B  | 313.3±8.49B   | 293.6±9.15C  | 308.4±8.37B  | 283.7±11.05C   | 399.1±26.91A | 138.7±5.68D |
| 崩解值(RVU)    | 224.6±1.54A  | 213.3±11.16AB | 207.5±8.08B  | 187.0±10.5C  | 214.0±8.7AB    | 145.5±22.70D | 38.5±4.40E  |
| 回复值(RVU)    | 147.5±0.96BC | 144.7±6.22B   | 139.4±7.64C  | 148.3±7.87B  | 147.8±5.88BC   | 216.5±26.65A | 73.9±2.52D  |
| 消减值(RVU)    | -77.1±1.69D  | -68.6±15.20D  | -68.1±9.45D  | -38.7±11.93C | -66.3±2.81CD   | 70.9±47.96A  | 37.2±2.54B  |
| 峰值粘度时间(min) | 5.76±0.11BC  | 5.71±0.07BC   | 5.66±0.06C   | 5.79±0.08B   | 5.67±0.09BC    | 6.24±0.09A   | 5.80±0.29B  |
| 起始糊化温度(℃)   | 70.2±0.61DE  | 69.8±0.56E    | 70.0±0.43E   | 70.4±0.83D   | 79.0±1.41B     | 71.6±0.36C   | 87.3±0.50A  |

很大的育种潜力<sup>[21-22]</sup>。而通过<sup>60</sup>Co-γ射线照射处理水稻品种能显著影响水稻的品质变异<sup>[23-24]</sup>。M<sub>2</sub>代是辐射育种中变异最大也是性状选择的关键世代,评价其性状多样性对于后代选择性具有重要意义。表型多样性指数是变异分布和频率分布的综合指标<sup>[25]</sup>,反映了性状类型的丰富程度。变异频率是性状表型多样性的数量化体现,变异系数越大性状选择的余地也越广。突变频率则是一个群体或物种在特定条件下的特定频率变异。多样性指数、变异系数、突变频率可反映辐射诱变后代群体的变异程度和选择潜力。本研究通过<sup>60</sup>Co-γ射线照射处理后香稻盐粳939的M<sub>2</sub>代群体有香味植株为107株,无香味植株为59株。M<sub>2</sub>代香型群体在外观品质性状和RVA谱特征值参数的多样性指数在0.773~2.045,外观品质性状的多样性指数较高,平均值为1.907,RVA谱特征值参数的多样性指数较低,平均值只有1.389。变异系数在2.56%~81.49%,其中垩白粒率、垩白度、消减值变异系数较大。突变频率在2.80%~28.04%,外观品质性状的突变频率平均值为14.02%,RVA谱特征值参数的突变频率平均值只有5.02%,其中垩白粒率、垩白度突变频率更接近30%。可见,通过辐射育种方式在香稻分离后代群体中获得的香型植株的比例较多,为香稻品质改良提供了较多的群体基础。香型植株中外观品质性状和RVA谱特征值发生不同程度的变异和突变效应,提高了香型后代群体的多态性,这为品质性状改良及新品种选育奠定了良好的遗传基础。

水稻品质性状间存在正相关和负相关,在对某个品质性状改良时,将引起相关品质性状发生变化<sup>[26]</sup>,从而产生不同于原品种的品质性状类型。稻米淀粉在水中由于加热、高温、冷却等不同温度下其粘度不断变化而呈现出具有特征性的糊化曲线。对外观品质性状、RVA谱进行综合分析可从整体上划分品种品质特征类群<sup>[27-28]</sup>。本研究结

果表明,盐粳939的M<sub>2</sub>代香型群体与原品种相比表现出粒宽、透明度、消减值升高,垩白粒率、垩白度、粒厚、峰值粘度、崩解值下降的趋势。具体在外观品质性状、RVA谱特征值上形成与原品种不同的性状类型。表明对于盐粳939的M<sub>2</sub>代香型群体而言,后代群体与原品种既有一定的相似性,又产生不同的形态变异,有利于从群体中筛选出符合育种目标的育种材料,为通过辐射育种改良原品种、选育新品种指明了方向。

参考文献:

[1] 赵 凌,赵春芳,周丽慧,等.中国水稻生产现状与发展趋势[J].江苏农业科学,2015,43(10):105-107.

[2] 刘录祥,郭会君,赵林姝,等.植物诱变突变技术育种研究现状与展望[J].核农学报,2009,23(6):1001-1007.

[3] 胡培松,唐绍清,顾海华,等.水稻香味的遗传研究与育种利用[J].中国稻米,2006(6):1-5.

[4] 资云章.香稻品种的特点及其改良目标[J].西昌农业高等专科学校学报,2004,18(1):70-73.

[5] 杨博文,向珂朝,许顺菊,等.Wx基因与SSⅢ-2基因互作对稻米蒸煮食味品质的影响[J].西北植物学报,2017,37(5):879-884.

[6] 吴洪恺,梁国华,严长杰,等.水稻不同生态型品种间直链淀粉含量的变异及其遗传分析[J].作物学报,2006,32(9):1301-1305.

[7] 贾 良,丁雪云,王平荣,等.稻米淀粉RVA谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J].作物学报,2008,34(5):790-794.

[8] 李 刚,邓其明,李双成,等.稻米淀粉RVA谱特征与品质性状的相关性[J].中国水稻科学,2009,23(1):99-102.

[9] 任志强,杨慧珍,卜华虎,等.诱变在作物遗传育种中的应用进展[J].中国农学通报,2016,32(33):125-129.

[10] 杨凯敏,李贵全,郭数进,等.晋大78 <sup>60</sup>Co 诱变M<sub>5</sub>代的遗传变异分析[J].天津农业科学,2014,20(7):11-15.

[11] 裴友财,杨桐珲,焦苏淇,等.大豆化学诱变后M<sub>2</sub>代主要品质性状的遗传变异及相关性分析[J].东北农业科学,2018,43(3):8-12.

[12] 陈德飞.优质香稻研究进展[J].湖南农业科学,2006,36(4):26-28.

- 量的影响[D]. 郑州: 河南大学, 2008.
- [ 3 ] Li Z, Shao L, Ruan Z, et al. Converting untreated waste office paper and chitosan into aerogel adsorbent for the removal of heavy metal ions[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 193: 221-227.
- [ 4 ] 张建伟, 王中原, 范红伟, 等. 中药水提液的絮凝和选择性絮凝[J]. 中草药, 2006, 37(8): 1271-1274.
- [ 5 ] 王森业, 殷博迪, 王玉宁, 等. 不同方法提取地榆总三萜含量的比较及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 111-115.
- [ 6 ] Chua L S, Latiff N A, Mohamad M. Reflux extraction and cleanup process by column chromatography for high yield of andrographolide enriched extract[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2016, 3(2): 64-70.
- [ 7 ] 姜涛涛, 金 玲, 陀扬凌, 等. BBD-响应面法优化黑果枸杞色素的渗漉法提取工艺及其纯化工艺研究[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 244-250.
- [ 8 ] 徐玉玲, 谭清红, 伍利华, 等. 地龙渗漉工艺参数优选[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(21): 41-43.
- [ 9 ] 梁贺升, 陈少瑾. 大孔树脂脱除中药水煎液中铅、镉和铜的研究[J]. 广东微量元素科学, 2010, 17(3): 46-49.
- [ 10 ] 李 琼, 梁成满, 吴 婷. 超临界 $\text{CO}_2$ 萃取法去除橘红中重金属Cu、As、Pb的研究[J]. 中草药, 2006, 37(7): 1005-1008.
- [ 11 ] 邝才志, 陈两绵, 高慧敏, 等.  $\gamma$ -巯丙基硅键合胶脱除黄连药液中重金属[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(18): 20-23.
- [ 12 ] 叶利民, 赖志平. 壳聚糖对铬胁迫下豌豆种子萌发的影响[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(5): 16-18.
- [ 13 ] 刘 杰. 中药水提液典型杂质果胶絮凝效果与机理研究[D]. 天津: 天津大学, 2015.
- [ 14 ] 张忠国, 康 勇, 冯 颖, 等. 絮凝技术在中药提纯中的应用[J]. 化学工业与工程, 2003, 20(6): 377-386.
- [ 15 ] 程红霞, 林 强. 壳聚糖对中药水提液中重金属残留的吸附特性研究[J]. 北京联合大学学报, 2006, 20(1): 69-72.
- [ 16 ] 江 伟, 苏海佳, 谭天伟. 分子印迹吸附剂对红景天水煎液中重金属的吸附[J]. 化工学报, 2008, 59(5): 1179-1183.
- [ 17 ] 张建伟, 丁晓光, 冯 颖, 等. 壳聚糖对中药甘草水提液的絮凝效果及沉降模型[J]. 过程工程学报, 2015, 15(2): 236-241.
- [ 18 ] 潘育方, 黄丹莹. 壳聚糖去除中药水煎液中重金属的初探[J]. 化工时刊, 2005, 19(11): 27-28.
- (责任编辑: 王丝语)

(上接第13页)

- [ 13 ] Amarawathi Y, Singh R, Singh A K, et al. Mapping of quantitative trait loci for basmati quality traits in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Molecular Breeding, 2008, 21(1): 49-65.
- [ 14 ] 罗玉坤, 林榕辉, 陈玉英, 等. NY147-88 米质测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
- [ 15 ] 高修吾, 杨浩然, 吴艳霞, 等. GB/T 5497-85 粮食、油料检验水分测定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [ 16 ] 凌家煜. LS/T6101-2002 谷物粘度测定快速粘度仪法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [ 17 ] 刘三才, 郑殿升, 曹永生, 等. 中国小麦选育品种与地方品种的遗传多样性[J]. 中国农业科学, 2000, 33(4): 20-24.
- [ 18 ] 张宏纪, 王广金, 孙 岩, 等. 春小麦航天诱变入选后代的变异研究[J]. 核农学报, 2007, 21(2): 111-115.
- [ 19 ] 郑康乐, 庄杰云. 我国水稻推广品种的遗传变异性和种质资源的开发利用[J]. 中国农业科技导报, 2000, 2(3): 69-72.
- [ 20 ] 张继峰, 刘玉梅, 方智远, 等. 青花菜相同亲本的DH与 $F_2$ 群体遗传多样性的比较[J]. 园艺学报, 2012, 39(6): 1090-1098.
- [ 21 ] 徐振东, 兰秀红, 杨 曼, 等.  $\text{Co}^{60}$ - $\gamma$ 辐射对2种高羊茅染色体核型的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(3): 18-24.
- [ 22 ] 姜 昱, 李毅丹, 刘相国, 等. EMS诱变技术在我国玉米育种中的应用[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(6): 21-24.
- [ 23 ] 黄永相, 郭 涛, 蔡金洋, 等. 空间环境和 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照对水稻稻米品质的诱变效应[J]. 核农学报, 2013, 27(6): 709-714.
- [ 24 ] 曲 龙, 卢夏茹, 李阳生, 等. 水稻辐射诱变突变体的种子蛋白质成分分析[J]. 核农学报, 2015, 29(2): 209-214.
- [ 25 ] 李 斌, 顾万春. 松属植物遗传多样性研究进展[J]. 遗传, 2003, 25(6): 740-748.
- [ 26 ] 郑文凯, 陈光辉, 周清明, 等. 两系杂交水稻稻米品质性状及相关性研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(4): 313-315.
- [ 27 ] 李 欣, 张 蓉, 隋炯明, 等. 稻米淀粉粘滞性谱特征的表现及其遗传[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 384-390.
- [ 28 ] 姚月明, 沈新平, 沈明星, 等. 太湖流域水稻地方种的稻米品质RVA谱多样性[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(6): 1213-1218.
- (责任编辑: 刘洪霞)

(上接第131页)

- [ 34 ] D C Wolf, J Gan. Influence of rhamnolipid biosurfactant and Brij-35 synthetic surfactant on  $^{14}\text{C}$ -Pyrene mineralization in soil [J]. Environmental Pollution, 2018, 243(Part B): 1846-1853.
- [ 35 ] Mena E, Villaseñor J, Rodrigo M A, et al. Electrokinetic remediation of soil polluted with insoluble organics using biological permeable reactive barriers: effect of periodic polarity reversal and voltage gradient[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 299: 30-36.
- (责任编辑: 刘洪霞)