

^{60}Co - γ 辐射对广适性水稻品种绥粳 18 的诱变影响

刘宝海¹, 刘 晴¹, 聂守军¹, 刘宝民², 付立新², 王明泉², 高世伟¹, 刘宇强¹,
常汇琳¹, 张佳柠³, 马 成¹, 薛英会¹, 白 瑞¹, 王洪彬¹, 唐 铭¹, 门龙南¹

(1. 黑龙江省农业科学院绥化分院, 绥化 152052; 2. 黑龙江省农业科学院玉米研究所, 哈尔滨 150086;

3. 黑龙江八一农垦大学农学院, 大庆 163319)

摘 要: 为加快选育出能够替代或超越广适性水稻绥粳 18 的新品种, 探索完善寒地水稻 ^{60}Co - γ 射线辐射育种途径, 采用 220 Gy、250 Gy 和 280 Gy 3 个剂量辐射绥粳 18 水稻种子方法, 对辐射后种子活力、出苗及 M_1 群体主要农艺性状遗传变异规律等进行统计分析。结果表明, 在 0~280 Gy ^{60}Co - γ 辐射剂量范围内, 绥粳 18 水稻种子辐射后 15 d 为最佳苗床播种时期, 根活力指数和芽长是限制种子苗床出苗的主要因子, M_1 群体主要农艺性状变异幅度大, 高剂量对成熟期延长、分蘖数增加有显著促进作用, 对株高、穗实粒数和结实率有显著抑制作用。 M_1 群体农艺性状权重值大小依次为: 穗实粒数 (0.528 01) > 结实率 (0.352 72) > 分蘖数 (0.113 87) 株高 > (0.004 62) > 成熟期 (0.000 77) > 千粒重 (0.000 01)。明确今后辐射世代育种要注重早熟、强分蘖力、较高植株、多穗实粒数、高结实率等遗传变异性状材料的选择。本研究为开展替代或超越广适性水稻品种绥粳 18 的新种质创新, 以及寒地水稻辐射育种可能有效途径探索, 提供了一定的种质基础和技术参考。

关键词: ^{60}Co - γ ; 辐射; 水稻; 绥粳 18; 诱变

中图分类号: S511.035.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2021)04-0523-08

Mutagenic effect of ^{60}Co - γ on radiation widely-adapted rice variety Suijing18

LIU Baohai¹, LIU Qing¹, NIE Shoujun¹, LIU Baomin², FU Lixin², WANG Mingquang², GAO Shiwei¹, LIU Yuqiang¹,
CHANG Huilin¹, ZHANG Jianing³, MA Cheng¹, XUE Yinghui¹, BAI Rui¹, WANG Hongbin¹, TANG Ming¹, MEN Longnan¹

(1. Suihua Branch of the Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Suihua 152052;

2. Institute of Maize Research, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Haerbin 150086;

3. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319)

Abstract: To accelerate the breeding of new varieties which can replace or surpass the wide adaptability of rice Suijing18, and to explore ways of improve ^{60}Co - γ ray radiation breeding of rice in cold region, seeds of Suijing18 were irradiated by 220 Gy, 250 Gy and 280 Gy doses, seed vigor, emergence and genetic variation of main agronomic traits of M_1 population were analysed after radiation. The result showed that: at the range of 0~280 Gy ^{60}Co - γ radiation dose, seeds of Suijing18 were irradiated and 15 days after irradiation was the best sowing time, the root vigor index and shoot length were the main factors limiting seeds emergence, the variation of main agronomic characters of M_1 population was large, high dose significantly promoted the extension of maturity and the increase of tiller number, high dose significantly inhibited plant height, full grain number per panicle and seed setting rate. Weighted value of agronomic characters of M_1 population was in turn: full grain number per panicle (0.528 01) > seed setting rate (0.352 72) > tiller number (0.113 87) > plant height (0.004 62) > maturity (0.000 77) > 1 000 grain weight (0.000 01). The selection of genetic variation characters such as early maturing, strong tillering ability, high plant, multi-full grain number per panicle and high seed setting rate should be emphasized in future radiation generation breeding. The results of this study provided a certain germplasm basis and technical reference for the development of new germplasm innovation to replace or surpass Suijing 18 and the possible effective ways of rice radiation breeding in cold region.

收稿日期: 2020-11-11

基金项目: 黑龙江省农业科学院科研项目(2019CGJL003), 黑龙江省“百千万”工程生物育种重大科技专项(2020ZX16B01)和黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX02)共同资助。

作者简介: 刘宝海, 研究员。E-mail: shslbh@163.com

Key words: ^{60}Co - γ ; radiation; rice; Suijing18; mutagenic

中国是世界上最大水稻生产国^[1], 稻米是中国约 65% 人口的主食^[2]。水稻作为黑龙江省主要粮食作物, 2017 年种植 460 多万 hm^2 , 约占全国粳稻种植面积 50% 以上^[3], 新品种选育为黑龙江水稻单产提高、总产持续增加和综合生产能力稳定提升做出了突出贡献^[4], 对保障国家粮食安全生产和国计民生意义重大^[5-6]。水稻品种绥粳 18, 2014 年 1 月通过黑龙江省农作物品种审定委员会审定, 具有早熟、优质、高产、稳产、耐冷、抗病和抗倒伏等优良特性^[7], 种植推广适应性极强, 2017—2019 年在黑龙江省种植面积连续达到 67 万 hm^2 以上, 已成为黑龙江省第二、三积温带主栽品种, 是全国种植面积最大粳稻品种^[8]。然而, 根据以往黑龙江省大面积推广品种的种植经验来看, 随着种植年限延长, 会出现抗病性和抗倒伏性逐渐弱化现象, 存在对水稻安全生产造成不良影响的潜在风险, 同时生产实践对产量和品质等遗传累加有增效的新品种需求也较迫切, 目前绥粳 18 种植面积较大而导致适应区内主栽品种单一和后备品种储备不足的情况日益突显。因此, 以水稻生产安全且品种有益遗传增效需求为索引, 探索实用高效的育种途径, 立足替代或超越水稻品种绥粳 18 的育种目标, 快速选育储备出能够遗传绥粳 18 广适性状且综合农艺性状优良的水稻新品种是非常必要的。

1928 年, 美国科学家 Stadler 最早进行辐射诱变育种^[9]。中国辐射诱变育种研究始于 1957 年, 起步较晚, 但发展迅速^[10], 截至 2016 年育成品种已占国际品种总数 1/4 强^[11]。 γ 射线能量高、穿透力强, 可以造成共价键断裂, 诱导 DNA 产生大片段缺失有效, 最终导致植株性状发生变异^[12-13]。 ^{60}Co - γ 射线作为诱变源引入辐射育种, 具有诱变突变率高、稳定性好、育种周期短和可扩展遗传基础等优点, 是目前最常用辐射诱变源^[14-15], 相比利用育种周期长和创造突变新变异类型有限的常规杂交方法^[16]来讲, 辐射诱变水稻材料将是一个快速获得多种突变新种质的有效方法^[17]。在育种实践中射诱变水稻培育新品种和创制种质新资源的成果最突出^[18]。浙江省 2000—2015 年间利用辐射诱变育成 245 个, 占省级审定品种 60% 以上, 其中直接利用 γ 射线辐照育成品种 16 个^[19], 湖南省自 1985 年以来诱变创制育成品种 45 个, 目前有多个品种年种植面积均在 6.67 万 hm^2 以上^[20], 而黑龙江省近 20 年间仅有五工稻 1 号和龙粳 38 号 2 个水稻品种是利用辐射诱变技术选育而成, 仅占全省审定品种总数的

0.68%^[21]。到目前为止, 有关 ^{60}Co - γ 辐射影响黑龙江省水稻品种种子出苗及 M_1 群体变化规律的研究还鲜有报道。因此, 立足黑龙江省寒地稻作区, 探索突破辐射育种研究成效差的现实瓶颈, 助力新种质创新挖掘和新品种选育具有重要实践意义。

本研究以广适性水稻品种绥粳 18 为供试材料, 利用 220 Gy、250 Gy 和 280 Gy 3 个 ^{60}Co - γ 射线辐射剂量诱变其成熟种子, 探索辐射诱变对其种子活力缓冲期、出苗限制因子以及 M_1 群体遗传变异规律的影响, 以期开展替代或超越广适性品种绥粳 18 的新种质创新以及寒地水稻辐射育种可能有效途径的探索提供一定的种质基础和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为黑龙江省第二积温带广适性主栽水稻品种绥粳 18, 种子来源于黑龙江省农业科学院绥化分院。 ^{60}Co - γ 射线为辐射源, 来源于黑龙江省农业科学院玉米研究所辐射研究室。试验于 2019 年在黑龙江省农科院绥化分院水稻育种试验基地进行。

1.2 试验方法

分别于 2019 年 2 月 27 日、4 月 2 日进行干种子辐射处理 2, 辐照剂量为 220 Gy、250 Gy 和 280 Gy, 剂量率为 $1.1 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$, 以 0 Gy 处理为对照 (CK), 每个处理 200 g 种子。

1.2.1 发芽试验 选取 2019 年 2 月 27 日辐射处理和对照种子各 500 粒, 分 5 期进行种子活力测定试验, 时期 (D) 相隔 5 d, 第 1 期为 3 月 4 日 (D1、5 d)、第 2 期为 3 月 9 日 (D2、10 d)、第 3 期为 3 月 14 日 (D3、15 d)、第 4 期为 3 月 19 日 (D4、20 d)。3 次重复。

1.2.2 出苗试验 选取 4 月 16 日 (辐射后 15 d) 处理和对照种子育秧苗床播种, 苗床上各选择 500 粒行出苗试验, 3 次重复。5 月 10 日, 各处理和对照秧苗本田栽插, 每个处理 10 行, 行长 3 m, 行距 30 cm, 株距 13 cm, 每穴 1 苗, 生育期不防控稻瘟病, 其他栽培管理与生产大田相同。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 发芽试验 种子用蒸馏水浸泡 1 d, 取出种子置入铺有一层滤纸发芽皿中, 放置于 25°C 恒温培养箱 (上海新苗 qxh300) 中培养。3 次重复。以胚芽长度大于 1 mm 即视为发芽, 每天观察其发芽数以计算发芽势和发芽率, 共观测 6 d。以培养箱中 3 d 发芽

种子数计算发芽势,以 6 d 发芽种子个数计算发芽率。随机选取发芽后第 6 天芽苗 30 株,用游标卡尺分别测量其芽长和根长。发芽势 (GP) (%) = 3 d 发芽种子数/试验种子数 $\times 100\%$;发芽率 (GR) (%) = 6 d 发芽种子数/试验种子数 $\times 100\%$;发芽指数 (GI) = $\Sigma Gt/Dt$ (Gt 指时间 t 发芽数, Dt 指相应发芽日数);根活力指数 (RAI) = $S \times \Sigma Gt/Dt$ (S 指发芽苗根长)。

1.3.2 出苗试验 4 月 24 日 (播种后 8 d) 调查出苗率,5 月 23 日 (播种后 29 d) 调查成苗率。成苗率 (%) (SSR) = 成苗数/播种种子数 $\times 100$ 。

1.3.3 本田调查考种 随机选择 M_1 群体及对照处理各收获 100 个单株,选择分蘖数有代表性的 10 穗单株进行考种,调查成熟期、株高、分蘖穗数、穗实粒数、结实率、千粒重及穗颈瘟、倒伏情况。数据调查采集按照黑龙江省种子管理局下发的《水稻田间调查标准与技术规程》执行。

1.3.4 性状权重分析 基于熵权法的方案优选方法^[22],对 M_1 群体及对照收获考种的材料进行综合熵权分析,具体实施步骤:

(1) 设有 m 个待评单株、 n 个评价指标,评价各指标原始数据矩阵可表示为 (1) 式,标准化数据计算如式 (2),确定标准化数据 P :

$$R = \{r_{ij}\}_{m \times n} \quad (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

式中 R_{ij} 表示第 i 个评价对象第 j 个指标值。

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (2)$$

式中 P_{ij} 表示第 i 个评价对象第 j 个指标的综合标准化值, m 为评价单元数量。

(2) 对于第 i 个评价单株,第 j 个指标,其信息熵 e_{ij} 可表示为 (3) 式:

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij}}{\ln(m)} \quad (3)$$

式中 e_j 表示第 j 个指标的信息熵。

(3) 第 j 个指标的客观权重,可表示为 (4) 式:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (4)$$

式中 w_j 表示第 j 个指标的权重 (熵权)。

1.4 数据分析

利用 IBM SPSS Statistics 25.0 统计分析软件进行方差和多重比较等分析,建立最优拟合度曲线估算回归方程。利用 MATLAB (R2017a) 软件编辑源代码,运行公式 (1) — (3) 求解。运用 Origin 2018

数据分析软件绘图。本田试验中各处理均没有发生穗颈瘟和倒伏情况,280 Gy 辐射处理 M_1 群体生育期极晚无结实,这些指标及处理不进行统计分析。

2 结果与分析

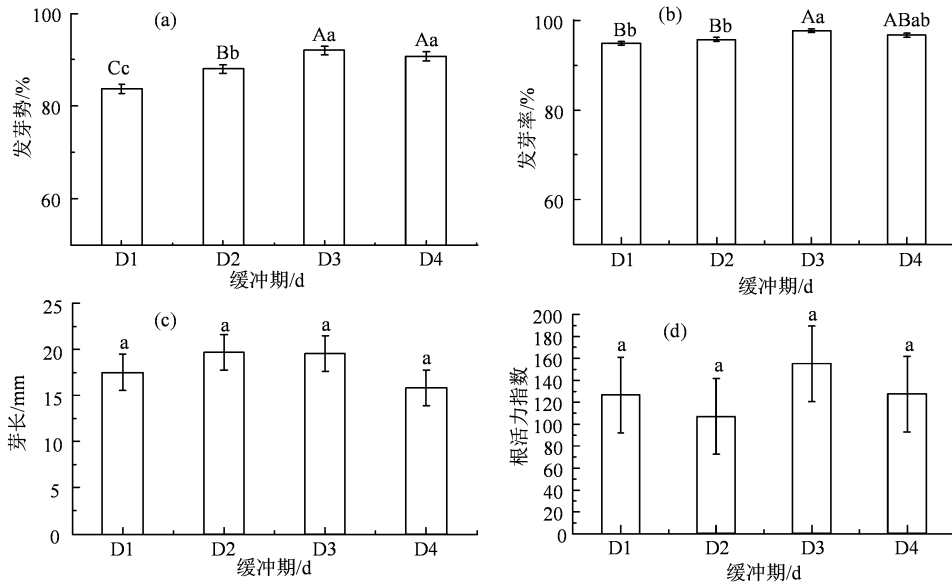
2.1 辐射对种子活力的影响

2.1.1 辐射缓冲期对种子活力影响 受不同缓冲期 (辐射至播种时的间隔时间) 影响,绥粳 18 种子发芽势和发芽率达到显著差异水平,芽长和根活力指数未达显著差异水平 (图 1)。D3 处理发芽势 92.0%,发芽率 97.8%,与其他处理间差异水平趋势相同,均表现为 D3 处理大于 D2 和 D1 处理且达极显著差异水平, D4 处理小于 D3 处理但未达显著差异水平; D3 处理芽长 19.7 mm,根活力指数 155.1 均大于其他处理。说明,缓冲期在 D3 处理时, ^{60}Co - γ 辐射绥粳 18 种子活力最强。

2.1.2 不同辐射剂量对种子活力影响 D3 处理条件下,绥粳 18 种子发芽势、发芽率、芽长和根活力指数受不同辐射剂量处理影响,均达到显著差异水平 (图 2)。280 Gy 处理发芽势 94.0% 大于其他处理,发芽势 280 Gy 与 250 Gy 处理间未达显著差异水平,但与 0 Gy 和 220 Gy 处理达极显著差异水平。250 Gy 发芽率 95.0%,与其他处理达差异显著水平,随辐射剂量增加呈现先下降再升高趋势。280 Gy 处理芽长 12.6 mm,根活力指数 50.0 均为最小值,与 0 Gy 和 220 Gy 处理达极显著差异水平,与 250 Gy 处理未达显著差异水平,0 Gy 处理芽长 33 mm 和根活力指数 406.1 均大于 220 Gy 处理且达极显著差异水平。说明 D3 处理的绥粳 18 种子,在 0~280 Gy 剂量范围内,辐射剂量增加对发芽势具有促进作用,对发芽率具有先抑制后促进作用,而对芽长和根活力指却具有抑制作用。

2.2 辐射对种子出苗的影响

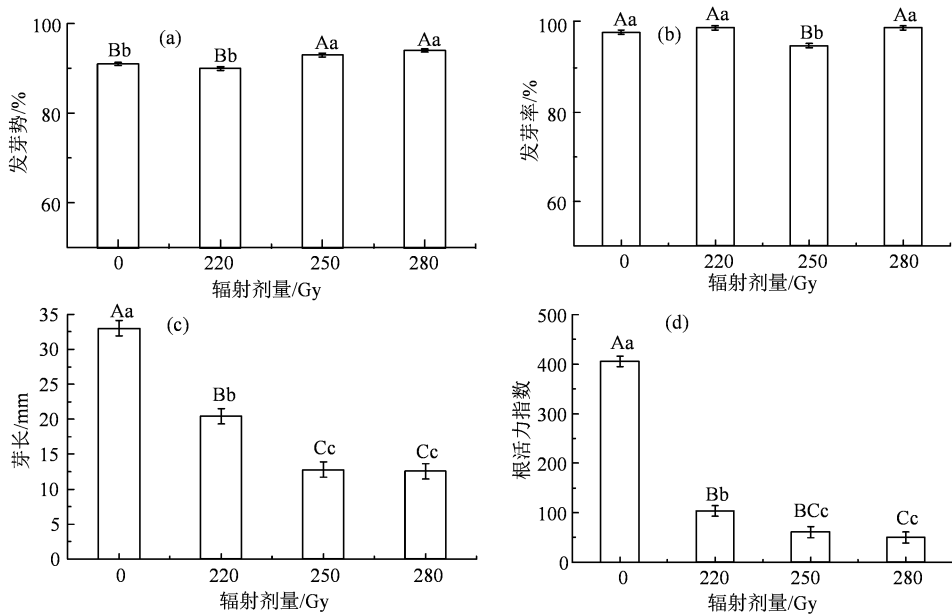
绥粳 18 种子出苗率和成苗率受不同辐射剂量处理影响而表现出差异性 (图 3)。出苗率和成苗率随辐射剂量增加而呈现相似的减少趋势,其中 280 Gy 处理时最小,均仅有 7.0%,且与其他剂量处理达极显著差异水平;其次是 250 Gy 处理时出苗率 25.0%、成苗率 24.0%,与 220 Gy、0 Gy 处理达极显著差异水平;第 3 位是 220 Gy 处理时出苗率 93.3%、成苗率 92.0%,出苗率与 0 Gy 处理未达差异显著水平,成苗率与 0 Gy 处理达差异极显著水平。说明,在 0~280 Gy ^{60}Co - γ 辐射剂量范围内,绥粳 18 种子能够出苗即可成苗,辐射剂量增加对二者均具有抑制作用且达显著水平。



D1.辐射处理后第5天种子; D2.辐射处理后第10天种子; D3.辐射处理后第15天种子; D4.辐射处理后第20天种子。同一列不同小写、大写字母分别在0.05、0.01水平上有显著差异。下同。

图1 不同辐射缓冲期对绥粳18种子活力性状影响多重比较

Figure 1 Multiple comparison of radiation buffer period on seed vitality traits of Suijing18



0为未经辐射处理的绥粳18种子。下同。

图2 D3缓冲期不同辐射剂量对绥粳18种子活力性状多重比较

Figure 2 Multiple comparison of different dosages of radiation on seed vigor traits in Suijing18 during the buffer period of D3

2.3 辐射对 M₁ 群体主要农艺性状的影响

2.3.1 M₁ 群体主要农艺性状遗传变异 绥粳18种子 M₁ 群体主要农艺性状表型值呈现不同差异(表1、图4)。主要农艺性状表型变异系数平均值大小依次为: 穗实粒数(43.2%) > 结实率(40.7%) > 分蘖数(28.6%) > 株高(5.7%) > 成熟期(0.5%) > 千粒重(0.4%)。除千粒重变异系数各处理间未达显著水平外, 其他农艺性状变异系数各处理间均达极显著水平。辐射处理间达显著差异水平的各性状中, 0

Gy 处理变异系数在0%~4.4%之间, 呈现出较好的稳定性; 220 Gy 处理变异系数在0.5%~47.0%之间, 穗实粒数(47.0%) > 结实率(39.6%) > 分蘖数(39.0%) > 株高(6.3%) > 成熟期(0.5%); 250 Gy 处理变异系数在0.9%~79.1%之间, 穗实粒数(79.1%) > 结实率(78.1%) > 分蘖数(42.9%) > 株高(8.6%) > 成熟期(0.9%)。说明, 辐射绥粳18水稻种子, 在 M₁ 代出现了广泛的性状差异, 可能存在可遗传变异, 有利于育种选择。

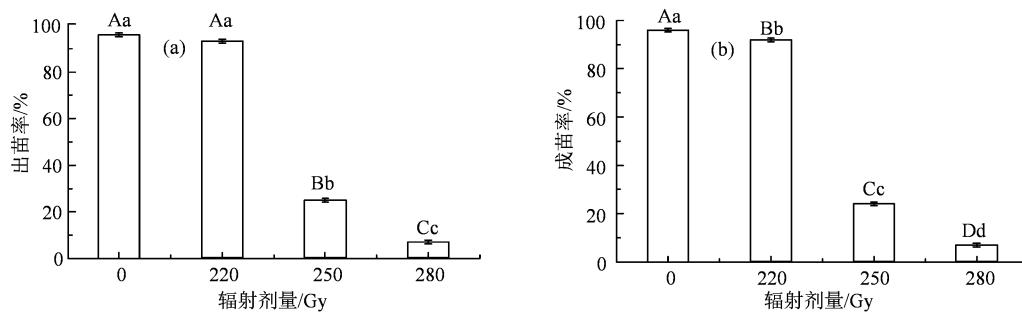


图 3 不同辐射剂量对绥粳 18 种子出苗影响多重比较

Figure 3 Multiple comparison of different radiation doses on seedling emergence of Suijing 18 seeds

表 1 辐射 M_1 群体主要农艺性状值比较Table 1 Comparison of main agronomic traits in population irradiated M_1

辐射剂量/Gy	代号	成熟期/d	株高/cm	分蘖数/个	穗实粒数/个	结实率/%	千粒重/g
0	01901	134	111.0	21	100.0	92.8	26.0
	01902	134	110.0	21	108.0	91.9	26.0
	01903	134	108.0	20	112.0	81.4	26.1
	01904	134	108.4	20	100.0	92.3	26.0
	01905	134	106.5	19	102.2	94.2	26.3
	01906	134	107.6	20	108.5	94.7	26.2
	01907	134	110.0	19	108.0	96.4	26.1
	01908	134	110.6	20	105.3	92.4	26.0
	01909	134	115.0	21	105.5	94.6	26.1
	01910	134	110.0	21	105.9	92.1	26.0
	最大值	134	115.0	21.0	112.0	96.4	26.3
	最小值	134	106.5	19.0	100.0	81.4	26.0
	平均值	134	109.7	20.2	105.5	92.3	26.1
	变异系数%	0	2.2	3.9	3.7	4.4	0.4
220	2201901	137	103.0	7	25.1	35.6	26.0
	2201902	138	106.0	9	29.2	39.4	26.0
	2201903	137	94.0	21	59.5	80.2	26.2
	2201904	138	105.0	17	39.1	48.1	26.0
	2201905	137	103.0	18	41.4	65.3	26.0
	2201906	138	106.0	15	70.0	75.2	26.0
	2201907	139	109.0	17	39.2	49.8	25.9
	2201908	137	101.0	15	33.2	44.1	26.2
	2201909	138	95.0	31	13.3	18.9	26.1
	2201910	138	89.0	18	19.4	33.1	26.0
	最大值	139	109.0	31.0	70.0	80.2	26.2
	最小值	137	89.0	7.0	13.3	18.9	25.9
	平均值	138	101.1	16.8	37.0	49.0	26.0
	变异系数%	0.5	6.3	39.0	47.0	39.6	0.4
250	2501901	142	102.0	23	30.6	47.6	25.8
	2501902	143	104.0	16	51.4	62.7	25.9
	2501903	145	93.0	32	14.7	22.7	26.0
	2501904	142	115.0	42	25.1	29.2	26.1
	2501905	143	82.0	32	0.3	0.5	26.2
	2501906	143	99.0	17	25.1	36.5	26.1
	2501907	144	105.0	13	10.4	13.2	26.0
	2501908	143	105.0	37	11.0	11.6	25.9
	2501909	145	104.0	17	2.1	2.9	26.0
	2501910	146	101.0	15	20.3	25.7	26.1
	最大值	146	115.0	42.0	51.4	62.7	26.2
	最小值	142	82.0	13.0	0.3	0.5	25.8
	平均值	144	101.0	24.4	19.1	25.2	26.0
	变异系数%	0.9	8.6	42.9	79.1	78.1	0.5

注: MP: 成熟期; PH: 株高; TP: 分蘖数; NP: 穗实粒数; SR: 结实率; 1000-GW: 千粒重。下同。

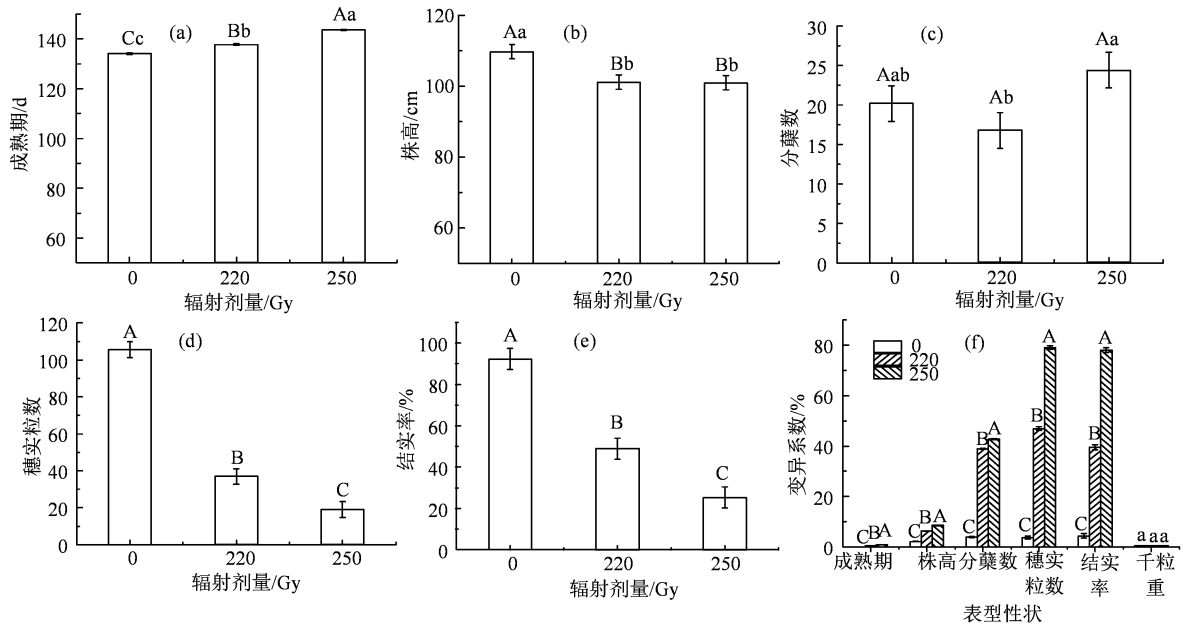


图 4 辐射 M₁ 群体主要农艺性状及变异系数多重比较

Figure 4 Multiple comparison of main agronomic characters and coefficient of variation in population of radiation M₁ population

表 2 辐射 M₁ 群体主要农艺性状的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of main agronomic characters in irradiated M₁ population

性状	株高/cm	分蘖数/个	穗实粒数/个	结实率/%	千粒重/g
成熟期/d	- 0.449*	0.214	- 0.846**	- 0.849**	- 0.263
株高/cm		- 0.121	0.612**	0.570**	- 0.180
分蘖数/个			- 0.149	- 0.229	0.068
穗实粒数/个				0.963**	0.205
结实率/%					0.163

注: *代表 0.05 水平显著($P < 0.05$), **代表 0.01 水平极显著($P < 0.01$)。

表 3 M₁ 群体主要农艺性状对辐射剂量的回归分析

Table 3 Regression analysis of main agronomic traits of M₁ population to radiation dose

性状	回归模型	F 值	P 值	拟合度 R ²	回归方程
株高/cm	二次函数	6.176**	0.006	0.314	$Y = 0.0001x^2 - 0.0706x + 109.71$
成熟期/d	二次函数	308.766**	0.000	0.958	$Y = 0.001x^2 - 0.141x + 134$
穗实粒数/个	二次函数	114.770**	0.000	0.895	$Y = 0.001x^2 - 0.063x + 105.54$
结实率/%	二次函数	44.378**	0.000	0.767	$Y = 0.002x^2 + 0.325x + 92.28$

注: x 是辐射剂量, Y 是相应的农艺性状。

表 4 主要农艺性状指标权重值

Table 4 Weight value of main agronomic traits

成熟期/d	株高/cm	分蘖数/个	穗实粒数/个	结实率/%	千粒重/g
0.000 77	0.004 62	0.113 87	0.528 01	0.352 72	0.000 01

成熟期随辐射剂量增加而延长, 各辐射处理间达极显著差异水平, 250 Gy 处理成熟期平均值 144 d, 较 0 Gy 处理成熟期平均值 134 d 晚了 11 d, 田间试验 280 Gy 处理未成熟而没有收获籽粒, 这种成熟期延长变异对受积温限制严格的寒地水稻育种是极其不利的; 分蘖数有随辐射剂量增加而增多的趋

势, 且各辐射处理间达显著差异水平, 250 Gy 处理分蘖数多于 220 Gy 处理且达显著差异水平, 多于 0 Gy 处理但未达显著差异水平, 220 Gy 处理分蘖数少于 0 Gy 处理但未达显著差异水平, 并获得代号 2501904、2501908、2501903、2501905 和 2201909 分蘖数达 42、37、32、32 和 31 株的高分蘖突变株,

说明高剂量辐射对植株分蘖能力有促进作用。株高、穗实粒数和结实率性状各辐射处理间达极显著差异水平,且呈现随辐射剂量增加而有减少趋势,其中株高平均值 220 Gy、250 Gy 时达 101.1 cm、101.0 cm 未达显著差异水平,但均低于 0 Gy 株高平均值 109.7 cm 且达极显著差异水平,说明辐射有抑制植株长高的作用,穗实粒数平均值 0 Gy、220 Gy 和 250 Gy 时为 105.5 粒、37.0 粒和 19.1 粒且达极显著差异水平,结实率平均值 0 Gy、220 Gy 和 250 Gy 时为 92.3%、49.0% 和 25.2% 且达极显著差异水平,说明辐射有抑制植株穗实粒结实的作用。

2.3.2 M_1 群体主要农艺性状的相关性 对 3 个辐射剂量 6 个农艺性状的相关性分析显示(表 2),相关系数达显著水平有 6 个,约占 16 个相关关系的 37.5%。成熟期与株高、穗实粒数和结实率相关系数为 -0.449、-0.846 和 -0.849,呈极显著负相关;株高与穗实粒数和结实率相关系数为 0.612 和 0.570,呈极显著正相关;穗实粒数与结实率相关系数为 0.963,呈极显著正相关,且为相关系数中最大值。

以辐射剂量为自变量,以主要农艺性状为因变量,进行线性、二次、复合和 Logistic 等 11 种函数最优拟合度曲线估算,获得拟合度极好的最优回归曲线方程(表 3)。分蘖数和千粒重的 11 种拟合曲线 F 值不显著。株高最优二次函数 P 值为 0.006 达极显著水平,但 R^2 最大值仅为 0.314,其拟合度不好。成熟期、穗实粒数和结实率的二次函数拟合度 R^2 值为 0.958、0.895 和 0.767,其拟合度极好,说明,可以根据辐射剂量对这 3 个农艺性状进行拟合推测。

2.3.3 M_1 群体农艺性状分析 对 3 个辐射剂量 6 个农艺性状进行熵权分析(表 4),权重值大小依次为:穗实粒数(0.528 01) > 结实率(0.352 72) > 分蘖数(0.113 87) > 株高(0.004 62) > 成熟期(0.000 77) > 千粒重(0.000 01)。说明,穗实粒数、结实率和分蘖数的遗传变异程度,将直接影响收获单株的综合性状的表现。

3 讨论与结论

高产、优质及多抗是水稻育种永恒的主题^[23],种质资源是遗传改良及新品种培育的重要物质基础^[24-25]。实践证明诱变育种可以打破基因连锁,提高重组率,诱发产生自然界原来没有的或一般常规方法难以获得的新基因和新种质^[26]。目前,黑龙江省稻种质资源相对匮乏且遗传基础相对狭窄^[27-28],严重制约着突破性水稻新品种选育,引入 ^{60}Co - γ 射线辐射源,探索广适性品种绥粳 18 辐射诱变效应规

律,挖掘利用起源头作用的优异种质资源,将是目前黑龙江选育突破性水稻新品种的可能有效途径。

3.1 不同辐射后缓冲期对种子活力的影响

耿兴敏等^[29]研究表明, ^{60}Co - γ 辐射处理后的砂藏期对桂花种子萌发状况有影响。吕秀珍等^[30]研究发现,大豆种子辐射后随着贮藏日数增加而生长受抑制。作者查阅文献关于水稻辐射后贮藏的缓冲期研究还鲜见报道。本研究通过绥粳 18 种子辐射后到播种时的缓冲期试验室种子活力测定方法,获得种子发芽势、发芽率、芽长和根活力指数在辐射后 15 d 时最佳,明确了缓冲期 15 d 时为辐射种子最适宜土壤苗床播种期,规范统一有效的苗床播种时间,将有助于辐射后代材料表型遗传性状的充分表达。

3.2 不同辐射剂量对种子活力和出苗的影响

前人研究表明,随着辐射剂量的加大,水稻种子发芽率明显降低^[17,31]。刘春贵等^[32]研究表明,适宜剂量可以有效打破种子休眠,提高种子发芽率。谢崇华等^[33]研究发现,辐照对水稻种子发芽势和发芽率影响不明显,对水稻存活率有明显影响。吴茂力等^[34]研究表明,随着 γ 射线辐照处理剂量的加大,供试陈种子的发芽势、发芽率和发芽指数呈先升高,后又逐渐下降的趋势。本研究表明,在 0~280 Gy ^{60}Co - γ 辐射剂量范围内,辐射剂量增加会对绥粳 18 种子发芽势有显著促进作用,发芽率有先抑制后促进的显著作用,对芽长和根活力指数有显著抑制作用,对土壤苗床出苗率和成苗率具有显著抑制作用。结合试验室种子活力和土壤苗床出苗率测定分析,明确了根活力指数和芽长成为了限制辐射种子出苗和成苗的主要因子,这可能与品种种子拱土能力有关,但还待进一步研究。

3.3 不同辐射剂量对 M_1 群体遗传变异的影响

本研究通过绥粳 18 种子辐射后 M_1 群体主要农艺性状遗传变异规律统计分析表明,在 0~250 Gy ^{60}Co - γ 辐射剂量范围内,随着辐射剂量增加成熟期延长、分蘖数增加、株高变短、穗实粒数变少、结实率变小且达显著差异水平,千粒重变化小未达显著差异水平。成熟期延长与吴世长等^[35]研究结果相同,但分蘖数增加却与其研究结果不同。株高变短与富昊伟^[36]研究结果相同,但与李伟等^[17]研究结果不同。结实率变小与前人^[17,35-36]研究结果相同。千粒重变化不显著与李伟等^[17]研究结果不同。这些不同表现,可能是不同品种基因型受辐射影响效应不同所致,但还需要进一步探索。本研究表明, ^{60}Co - γ 射线辐射能够使 M_1 群体主要农艺性状产生变异系数在 0.4%~79.1% 范围内的遗传变异突变体

材料,高辐射剂量对成熟期和分蘖数有促进作用达极显著差异水平,对株高、穗实粒数和结实率有抑制作用达极显著差异水平。 M_1 群体主要农艺性状间存在相关性,表现为成熟期与株高、穗实粒数和结实率呈极显著负相关,株高与穗实粒数和结实率呈极显著正相关,穗实粒数与结实率呈极显著正相关,同时穗实粒数、结实率和分蘖数的遗传变异权重较大,将直接影响收获单株的综合性状的表现,为此可明确今后辐射世代育种材料选择,要注重早熟、分蘖力强、植株较高、穗粒数多和结实率高等遗传变异性状的筛选。这些辐射材料后代能否遗传相关性状还待进一步研究。本研究结果为开展替代或超越广适性品种绥粳 18 的新种质创新以及寒地水稻辐射育种途径的探索提供了一定的种质基础和技术参考。

参考文献:

- [1] 孙彦坤,李浩然,兰倩,等. 黑龙江省热量资源变化特征及对水稻不同发育期生长的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(9): 1794-1803.
- [2] 周新桥,陈达刚,郭洁,等. 高抗性淀粉水稻研究现状与展望[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 515-520.
- [3] 刘宝海. 黑龙江粳稻育种亲本主要农艺及品质性状的筛选及类群划分[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 790-806.
- [4] 潘国君. 寒地粳稻育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [5] 罗斌,潘大宇,高权,等. 基于物联网技术的寒地水稻程控催芽系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 180-185.
- [6] 林海,李婷婷,童汉华,等. 我国水稻主栽品种演替分析[J]. 中国水稻科学, 2018, 32(6): 565-571.
- [7] 刘宝海,聂守军,高世伟. 寒地香粳水稻主栽品种绥粳 18 的选育难点与创新点[J]. 中国稻米, 2018, 24(5): 35-38, 44.
- [8] 全国各主要农作物推广面积前 5 的品种及分布图[EB/OL]. 智种网, 2019 [2020-03-25]. https://www.sohu.com/a/360321288_225946.
- [9] STADLER L J. Mutations in barley induced by x-rays and Radium[J]. Science, 1928, 68(1756): 186-187.
- [10] 刘录祥,郭会君,赵林妹,等. 植物诱发突变技术育种研究现状与展望[J]. 核农学报, 2009, 23(6): 1001-1007.
- [11] 赵林妹,刘录祥. 农作物辐射诱变育种研究进展[J]. 激光生物学报, 2017, 26(6): 481-489.
- [12] MUDGETT J S, TAYLOR W D. Recombination between irradiated shuttle vector DNA and chromosomal DNA in African green monkey kidney cells[J]. Mol Cell Biol, 1990, 10(1): 37-46.
- [13] TAKAHASHI N, HIEDA K, MOROHOSHI F, et al. Base substitution spectra of nalidixylate resistant mutations induced by monochromatic soft X and ^{60}Co γ -rays in *Bacillus subtilis* spores[J]. J Radiat Res, 1999, 40(2): 115-124.
- [14] 黄桂丹. ^{60}Co - γ 射线辐射育种研究进展[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(2): 107-111.
- [15] 刘子瑜,黄先群,唐章林,等. 马铃薯诱变育种研究进展[J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 2124-2128.
- [16] 王雪,刘长锴,涂冰洁,等. 辐射诱变及其在大豆育种中的应用[J]. 土壤与作物, 2018, 7(3): 293-302.
- [17] 李伟,吴超,李正和,等. ^{60}Co - γ 辐射对香软型水稻品种“滇屯 502”的诱变效应[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(1): 7-15.
- [18] 斯琴图雅,高德玉,张玉宝,等. 我国水稻辐射诱变育种现状[J]. 黑龙江科学, 2013, 4(5): 42-43, 83.
- [19] 陆艳婷,陈金跃,张小明,等. 浙江省水稻辐射育种研究进展[J]. 核农学报, 2017, 31(8): 1500-1508.
- [20] 庞爱军,庞伯良,彭选明,等. 湖南省水稻辐射与航天诱变育种研究及其展望[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(2): 248-250.
- [21] 中国水稻品种及其系谱数据[EB/OL]. 国家水稻数据中心, 2008[2020-03-25]. http://www.ricedata.cn/variety/identified/hlj_1.htm.
- [22] 单宝英,郭萍,张帆,等. 基于遗传算法与方案优选的多目标优化模型求解方法[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(6): 157-165.
- [23] 肖国樱,肖友伦,李锦江,等. 高效是当前水稻育种的主导目标[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(4): 287-292.
- [24] 张爱民,阳文龙,方红曼,等. 作物种质资源研究态势分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 377-382.
- [25] GLASZMANN J, KILIAN B, UPADHYAYA H, et al. Accessing genetic diversity for crop improvement[J]. Curr Opin Plant Biol, 2010, 13(2): 167-173.
- [26] 冯学金,郭秀娟,杨建春,等. 诱变技术在亚麻育种中的应用[J]. 核农学报, 2017, 31(7): 1310-1316.
- [27] 李红宇,潘世驹,姜玉伟,等. 1961—2006 年黑龙江水稻育成品种种质的来源及遗传贡献分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(11): 1937-1942.
- [28] 吴比,胡伟,邢永忠. 中国水稻遗传育种历程与展望[J]. 遗传, 2018, 40(10): 841-857.
- [29] 耿兴敏,王良桂,李娜,等. ^{60}Co - γ 辐射对桂花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(2): 216-223.
- [30] 吕秀珍,刘忠堂,何煜. ^{60}Co - γ 射线照射大豆风干种子当代贮藏效应的研究[J]. 核农学报, 1983(4): 15-19.
- [31] 张瑞勋,冯水英,祁永斌,等. 不同作物品种对 ^{60}Co - γ 射线的辐照敏感性[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 266-269.
- [32] 刘春贵,李风童,孙叶,等. ^{60}Co - γ 射线对路易斯安那鸢尾种子的辐射效应研究[J]. 核农学报, 2018, 32(1): 1-7.
- [33] 谢崇华,王丹,郑春,等. 中子辐照及其与赤霉素复合处理水稻种子对水稻苗期生长的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(3): 212-216.
- [34] 吴茂力,刘勇强,张子龙. ^{60}Co - γ 射线辐照对水稻陈种子活力复苏的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1013-1016.
- [35] 吴世长,戴红燕,胡开伦,等. Co^{60} - γ 射线不同剂量辐射黑稻 M1 代性状研究[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2007, 21(1): 13-17.
- [36] 富吴伟. 水稻伽玛射线辐射诱变: 突变体质量保证与若干重要突变性状的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.