

<sup>137</sup>Cs-γ 射线辐照对水稻品种发芽的影响

崔亚军, 刘超纲, 熊立东, 王炳奎, 杨文新, 陈金跃, 陆艳婷\*

(浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所, 浙江杭州 310021)

**摘要** 用<sup>137</sup>Cs-γ 辐射剂量 0~700 Gy 对 4 个籼型、6 个粳(糯)型水稻种子进行了辐照处理。结果显示, 随着辐照剂量增加, 不同类型的不同品种发芽情况出现差异, 籼型品种金早 47、中早 39、浙香银针的半致死剂量为 600 Gy 左右; 粳型品种秀水 134、秀水 519、浙泮糯 188、浙糯 106、浙梗 96、宁 81 的致死剂量为 700 Gy 左右。辐照剂量对水稻种子发芽率有显著影响, 且粳型品种比籼型品种敏感。

**关键词** 水稻; 辐照; 种子发芽率

**中图分类号** S511 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)06-0005-02

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.06.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Effects of <sup>137</sup>Cs-γ Ray Irradiation on Rice Seed Germination of Different Varieties

CUI Ya-jun, LIU Chao-gang, XIONG Li-dong et al (Institute of Crop and Nuclear Technology Utilization, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021)

**Abstract** Four indica and six japonica (glutinous) rice seeds were irradiated with <sup>137</sup>Cs-γ radiation dose of 0 - 700 Gy. The results showed that with the increase of irradiation dose, the half lethal dose of indica varieties Jinzao 47, Zhongzao 39 and Zhexiangyinzhen was about 600 Gy, while that of japonica varieties Xiushui 134, Xiushui 519, Zhefengnuo 188, Zhennuo 106, Zhejing 96 and Ning 81 was about 700 Gy. The irradiation dose had a significant effect on the germination rate of rice seeds. Japonica varieties are more sensitive than indica varieties.

**Key words** Rice; Irradiation; Seed germination rate

辐射指的是由场源发出的电磁能量中一部分脱离场源向远处传播, 而后再不再返回场源的现象, 能量以电磁波或粒子的形式向外扩散<sup>[1]</sup>。常用于农作物辐射诱变的是 γ 射线辐射, 它属于电离辐射, 电子从电子壳层中击出, 使原子带正电, 由于细胞由原子组成, 电离作用可致细胞损伤, 并导致农作物染色体、基因和细胞质变异。一个细胞由数万亿个原子组成。电离辐射引起的突变概率取决于辐射剂量率及接受辐射的生物感应性。研究表明, 利用 γ 射线辐射农作物可以改良某些或某个性状, 选育出性状优良的农作物新品种, 效果较好<sup>[2-9]</sup>。水稻辐射诱变育种在国内始于 20 世纪 50 年代末<sup>[4]</sup>, 在诱变方法和实际成果方面都取得了可喜进展, 创造了一大批水稻优良突变体和突变品种<sup>[6-9]</sup>, 但有关于<sup>137</sup>Cs-γ 射线辐射对水稻种子芽率影响的研究却鲜见报道。该研究以籼、粳亚种水稻种子为材料, 进行了<sup>137</sup>Cs-γ 射线多种剂量的辐射处理, 了解<sup>137</sup>Cs-γ 射线对不同类型水稻种子芽率的影响, 以期水稻辐射诱变中提高有效诱变率提供理论依据。

1 材料与方法

**1.1 材料** 选用的水稻品种有籼型早稻金早 47、中早 39, 粼型中稻黄华占、浙香银针, 单季晚粼秀水 134、秀水 519, 粼糯稻浙泮糯 188、浙糯 106, 连作晚粼稻浙梗 96、宁 81。

相关品种的主要特性为金早 47(中 87-425/陆青早 1 号), 浙江省金华市农业科学研究院育成的常规早籼稻品种, 2001 年通过浙江省品种审定; 中早 39(嘉育 253/中组 3 号), 中国水稻研究所育成的常规早籼稻品种, 2012 年通过国家品

种审定; 黄华占(黄新占/丰华占), 广东省农业科学院水稻研究所育成的常规晚籼稻品种, 2005 年通过广东省品种审定; 浙香银针, 浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所(以下简称浙江省农业科学院作核所)育成的常规晚籼稻新品系; 秀水 134(丙 95-59//测 212/RH//丙 03-123), 嘉兴市农业科学研究院等单位育成的常规晚粼稻, 2010 年通过浙江省品种审定, 在浙江省作单季稻种植; 秀水 519(苏秀 9 号/秀水 123), 嘉兴市农业科学研究院育成的常规特早熟晚粼稻, 2012 年通过浙江省品种审定, 在浙江省作单季稻种植; 浙泮糯 188(浙糯 5 号/广梗 102), 上海黄海种业有限公司等育成的常规晚粼糯稻, 2019 年通过安徽省品种审定; 浙糯 106(嘉 0487/绍糯-446//浙梗 88), 浙江省农业科学院作核所育成的常规晚粼糯稻, 2018 年通过浙江省品种审定; 浙梗 96(Y73/宁 67//嘉花 1 号), 浙江省农业科学院作核所等育成的常规晚粼稻, 2018 年通过浙江省品种审定, 在浙江省作连作稻种植; 宁 81(甬单 6 号/秀水 110), 宁波市农业科学研究院育成的常规晚粼稻, 2018 年通过浙江省品种审定, 在浙江省作连作稻种植。各品种的基本情况见表 1。

**1.2 辐照剂量** 辐照处理在浙江省农业科学院国家水稻改良中心辐射育种研究室(浙江省辐照中心)进行, 分别用 200、300、400、500、600、700 Gy 的<sup>137</sup>Cs-γ 射线共 6 种剂量处理上述水稻干种子, 每处理种子约 50 g, 以不辐照处理(即 0 Gy)为对照。

**1.3 发芽试验** 发芽试验于 2020 年 6 月在浙江省农业科学院作核所核技术利用研究室实验室进行。从不同处理的样品中随机抽取样品种子各 300 粒, 所取种子统一放置于实验室中, 取 12 cm×12 cm 试验用种子发芽盒, 底部放入 3 张滤纸, 加入适量纯净水, 随机将 100 粒水稻种子均匀放置于各发芽盒中, 种子之间保持足够的距离, 以保证种子都能充分接触水分,

**基金项目** 国家重点研发专项(2016YFD0102103)。  
**作者简介** 崔亚军(1963—), 男, 浙江宁波人, 助理实验师, 从事核技术利用研究。\*通信作者, 副研究员, 硕士, 从事辐射诱变育种研究。  
**鸣谢** 浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所叶胜海、俞法明、赵向前老师提供试验种子。  
**收稿日期** 2020-07-29

吸水一致,生长良好,设 3 次重复,随机排列。在试验过程中随时检查,保持滤纸湿润。发芽盒放入博迅牌生化培养箱(SPX-150B-Z 型)培养,设定温度 30 ℃,变幅不超过±2 ℃。

只长芽不发根或只发根不长芽的种子不计算在内并取出。

1.4 发芽率与生长势统计 第 3 天开始计算出芽率,第 7 天

1.5 数据分析 用 SPSS 软件进行所有数据的统计分析和显著性检验。

表 1 供试水稻种子基本情况

Table 1 Basic information of tested rice seeds

| 品种<br>Varieties        | 类型<br>Type | 千粒重<br>1 000 grain<br>weight//g | 粒型<br>Grain type | 含水量<br>Water<br>content//% | 直链淀粉<br>Amylose<br>% |
|------------------------|------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------|
| 金早 47 Jinzao 47        | 籼型         | 26.7                            | 椭圆形              | 12.8                       | 21.4                 |
| 中早 39 Zhongzao 39      | 籼型         | 27.4                            | 圆粒形              | 12.8                       | 24.2                 |
| 黄华占 Huanghuazhan       | 籼型         | 23.0                            | 长粒形              | 11.8                       | 13.8                 |
| 浙香银针 Zhexiangyinzen    | 籼型         | 27.8                            | 长粒形              | 13.2                       | 15.0                 |
| 秀水 134 Xiushui 134     | 粳型         | 24.5                            | 椭圆形              | 13.4                       | 16.6                 |
| 秀水 519 Xiushui 519     | 粳型         | 23.8                            | 圆粒形              | 13.6                       | 18.0                 |
| 浙泮糯 188 Zhefengnuo 188 | 粳糯型        | 28.6                            | 圆粒形              | 13.8                       | 1.4                  |
| 浙糯 106 Zhenuo 106      | 粳糯型        | 26.3                            | 椭圆形              | 13.1                       | 1.5                  |
| 浙梗 96 Zhejiang 96      | 粳型         | 27.0                            | 椭圆形              | 13.0                       | 16.0                 |
| 宁 81 Ning 81           | 粳型         | 25.3                            | 椭圆形              | 13.0                       | 15.6                 |

2 结果与分析

2.1 辐照剂量对不同品种发芽的影响 由表 2 可知,0~700 Gy 不同辐照剂量处理对不同品种的发芽有显著影响,并表现出不同的规律性。在 700 Gy 大剂量辐照下,4 个籼型品种金早 47、中早 39、黄华占、浙香银针的出芽率分别为 52.3%、68.7%、93.3%、87.0%,发芽率分别为 19.7%、38.7%、77.7%、35.7%,发芽率较出芽率呈现明显下降,经 700 Gy 剂量辐照处理后萌发的种子在之后出现生长停滞并死亡,且品种间差异极显著;6 个粳型品种秀水 134、秀水 519、浙泮糯 188、浙糯 106、浙梗 96、宁 81 的出芽率分别为 16.3%、23.0%、45.3%、81.7%、89.0%、74.0%,发芽率分别为 4.7%、6.7%、8.3%、0.3%、0.7%、1.0%,同样与籼型品种一样,在 700 Gy 大剂量辐照下,发芽率较出芽率呈现明显下降,且发芽率下降至10.0% 以下,远低于籼型品种经该剂量辐照后的发芽率,接近致死剂量,这说明籼型品种的致死剂量要高于粳型品种。从表 2 可以看出,在 600 Gy 剂量下,籼型品种除黄华占外,其他 3 个品种的发芽率分别为 61.3%、49.3%、46.7%,可以推断金早 47、中早 39、浙香银针这 3 个籼型品种的一半致死剂量在600 Gy 左右。0、200、300 Gy 等几个剂量辐照处理后大部分品种芽率处理间没有显著或极显著差异。

表 2 10 个水稻品种在不同辐照剂量下的发芽情况

Table 2 The germination status of 10 rice varieties under different irradiation doses

| 辐照剂量<br>Radiation<br>dose//Gy | 金早 47<br>Jinzao 47    |          | 中早 39<br>Zhongzao 39      |         | 黄华占<br>Huanghuazhan  |          | 浙香银针<br>Zhexiangyinzen |         | 秀水 134<br>Xiushui 134 |          |
|-------------------------------|-----------------------|----------|---------------------------|---------|----------------------|----------|------------------------|---------|-----------------------|----------|
|                               |                       |          |                           |         |                      |          |                        |         |                       |          |
|                               | 3 d                   | 7 d      | 3 d                       | 7 d     | 3 d                  | 7 d      | 3 d                    | 7 d     | 3 d                   | 7 d      |
| 0                             | 92.7 aA               | 94.3 aA  | 83.3 aA                   | 88.0 aA | 93.3 abAB            | 96.7 aA  | 93.0 aAB               | 93.0 aA | 87.7 aA               | 94.3 aA  |
| 200                           | 83.3 bBC              | 90.7 abA | 83.7 aA                   | 88.3 aA | 94.3 aA              | 96.7 aA  | 92.3 aAB               | 92.3 aA | 77.3 bB               | 92.7 abA |
| 300                           | 86.7 bB               | 88.0 bA  | 81.3 aA                   | 85.3 aA | 94.7 aA              | 95.0 aA  | 92.3 aAB               | 92.3 aA | 66.3 cC               | 89.7 bA  |
| 400                           | 85.0 bB               | 88.3 bA  | 77.0 bB                   | 78.3 bB | 89.3 cB              | 89.7 bB  | 93.7 aA                | 86.7 bB | 57.7 dD               | 84.3 cB  |
| 500                           | 83.3 bBC              | 78.7 cB  | 74.7 bB                   | 75.7 bB | 89.7 cB              | 90.3 bB  | 89.3 bcBC              | 83.3 cC | 58.7 dD               | 83.0 cB  |
| 600                           | 78.7 cC               | 61.3 dC  | 82.3 aA                   | 49.3 cC | 90.7 bcAB            | 79.0 cC  | 91.3 abAB              | 46.7 dD | 42.3 eE               | 33.3 dC  |
| 700                           | 52.3 dD               | 19.7 eD  | 68.7 cC                   | 38.7 dD | 93.3 abAB            | 77.7 cC  | 87.0 cC                | 35.7 eE | 16.3 fF               | 4.7 eD   |
| 辐照剂量<br>Radiation<br>dose//Gy | 秀水 519<br>Xiushui 519 |          | 浙泮糯 188<br>Zhefengnuo 188 |         | 浙糯 106<br>Zhenuo 106 |          | 浙梗 96<br>Zhejiang 96   |         | 宁 81<br>Ning 81       |          |
|                               |                       |          |                           |         |                      |          |                        |         |                       |          |
|                               | 3 d                   | 7 d      | 3 d                       | 7 d     | 3 d                  | 7 d      | 3 d                    | 7 d     | 3 d                   | 7 d      |
| 0                             | 80.7 aA               | 89.3 aA  | 76.7 aA                   | 84.7 aA | 83.7 abAB            | 90.0 abA | 87.7 bA                | 93.7 aA | 80.3 aA               | 85.3 aA  |
| 200                           | 71.7 bAB              | 83.3 aA  | 82.0 aA                   | 86.7 aA | 85.3 aA              | 95.7 aA  | 92.3 aA                | 93.0 aA | 80.7 aA               | 84.0 aA  |
| 300                           | 69.3 bB               | 83.7 aA  | 78.7 aA                   | 84.7 aA | 83.7 abAB            | 86.3 bA  | 90.7 abA               | 92.7 aA | 81.3 aA               | 82.7 aA  |
| 400                           | 67.7 bB               | 53.0 bB  | 42.0 cB                   | 65.3 bB | 79.7 bcAB            | 70.7 cB  | 90.7 abA               | 83.3 bB | 74.7 bAB              | 44.7 bB  |
| 500                           | 69.3 bB               | 58.7 bB  | 49.3 bB                   | 47.0 cC | 78.3 cB              | 67.7 cB  | 89.3 abA               | 65.7 cC | 73.7 bcAB             | 38.7 cC  |
| 600                           | 66.7 bB               | 24.3 cC  | 44.7 bcB                  | 6.3 dD  | 85.0 aA              | 20.7 dC  | 89.7 abA               | 14.0 dD | 68.3 cB               | 5.3 dD   |
| 700                           | 23.0 cC               | 6.7 dC   | 45.3 bcB                  | 8.3 dD  | 81.7 abcAB           | 0.3 eD   | 89.0 abA               | 0.7 eE  | 74.0 bcAB             | 1.0 eE   |

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著(P<0.05),同列数据后大写字母不同表示差异极显著(P<0.01)

Note:Different small letters within the same column mean significant differences (P<0.05),different capital letters within the same column show extremely significant differences (P<0.01)

- 干旱区资源与环境,2001,15(1):72-77.
- [42] 付明胜,钱卫东,牛萍,等.连续干旱对土壤干层深度及植物生存的影响[J].干旱区研究,2002,19(2):71-74.
- [43] 秦大河,罗勇.全球气候变化的原因和未来变化趋势[J].科学对社会的影响,2008(2):16-21.
- [44] 晏利斌.1961—2014年黄土高原气温和降水变化趋势[J].地球环境学报,2015,6(5):276-282.
- [45] 赵景波,孙贵贞,顾静,等.陕西省靖边县不同土层含水量与干层差异研究[J].水土保持通报,2007,27(5):1-5.
- [46] LI C Z,ZHAO L H,SUN P S,et al.Deep soil C,N,and P stocks and stoichiometry in response to land use patterns in the Loess Hilly Region of China[J].PLoS One,2016,11(7):1-15.
- [47] 王力.陕北黄土高原土壤水分亏缺状况与林木生长关系[D].杨凌:西北农林科技大学,2002.
- [48] 曹奇光.晋西黄土区人工刺槐林地土壤水分特征及合理密度研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [49] 胡良军,邵明安,杨文治.黄土高原土壤水分的空间分异及其与林草布局的关系[J].草业学报,2004,13(6):14-20.
- [50] 刘刚,王志强,王晓岚,吴旗县不同植被类型土壤干层特征分析[J].水土保持研究,2004,11(1):126-129.
- [51] 曾辰,邵明安.黄土高原水蚀风蚀交错带柠条幼林地土壤水分动态变化[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):155-158.
- [52] 余冬立.黄土高原水蚀风蚀交错带小流域植被恢复的水土环境效应研究[D].咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2009.
- [53] 刘丙霞.黄土区典型灌草植被土壤水分时空分布及其植被承载力研究[D].咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2015.
- [54] WANG Y Q,SHAO M A,LIU Z P,et al.Regional spatial pattern of deep soil water content and its influencing factors[J].Hydrological sciences journal,2012,57(2):265-281.
- [55] 万素梅,贾志宽,韩清芳,等.黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干层形成及水分恢复[J].生态学报,2008,28(3):1045-1051.
- [56] ZHAO C L,JIA X X,ZHU Y J,et al.Long-term temporal variations of soil water content under different vegetation types in the Loess Plateau,China[J].Catena,2017,158:55-62.
- [57] 韩仕峰.宁南山区苜蓿草地土壤水分利用特征[J].草业科学,1990,7(5):47-53.
- [58] 李军,陈兵,李小芳,等.黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应[J].生态学报,2007,27(1):75-89.
- [59] 杨文治.黄土高原土壤水资源与植树造林[J].自然资源学报,2001,16(5):433-438.
- [60] 王艳萍,王力,韩雪,等.黄土塬区不同土地利用方式土壤水分消耗与补给变化特征[J].生态学报,2015,35(22):7571-7579.
- [61] 梁海斌,史建伟,李宗善,等.晋西北黄土丘陵区不同林龄柠条林地土壤干燥化效应[J].水土保持研究,2018,25(2):87-93.
- [62] 赵忠,李鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96-99,107.
- [63] 李田浩,王俊,刘文兆,等.增施氮肥对黄土高原旱作冬小麦农田土壤干层动态的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):152-155,160.
- [64] ZHAO C L,SHAO M A,JIA X X,et al.Using pedotransfer functions to estimate soil hydraulic conductivity in the Loess Plateau of China[J].Catena,2016,143:1-6.
- [65] 李秧秧,邵明安.玉米单根木质部水势与径向水力导度的轴向变化[J].土壤学报,2003,40(2):200-204.
- [66] 黄明斌,杨新民,李玉山.黄土高原生物利用型土壤干层的水文生态效应研究[J].中国生态农业学报,2003,11(3):113-116.
- [67] 赵栋,屠彩芸,李丹春.封育年限对干旱河谷灌丛土壤理化性质的影响[J].水土保持通报,2017,37(2):39-44,49.
- [68] 井乐,李建平,张翼,等.黄土高原不同土地利用方式下土壤干层差异[J].草业科学,2018,35(8):1829-1835.
- [69] 王猛,袁福锦,吴文荣,等.封育对滇西北高山草甸群落及土壤的影响[J].草原与草坪,2017,37(2):69-74.
- [70] 王志强,刘宝元,路炳军.黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J].生态学报,2003,23(9):1944-1950.
- [71] 田璐,张敬晓,高建恩,等.深层干化土壤水分恢复试验研究[J].农业机械学报,2019,50(4):255-262.
- [72] 刘恋.修剪限定生长下的枣树耗水特征研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [73] 汪星,高志永,汪有科,等.修剪与覆盖对黄土丘陵区枣林土壤干层的修复效应[J].林业科学,2018,54(7):24-30.
- [74] 曹玉军,魏雯雯,徐国安,等.半干旱区不同地膜覆盖滴灌对土壤水、温变化及玉米生长的影响[J].玉米科学,2013,21(1):107-113.
- [75] 胡敏,苗庆丰,史海滨,等.不同地膜覆盖对春玉米生长发育及水分利用效率的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(2):173-177.
- [76] 李丽霞,郝明德,李鹏,等.模拟降雨条件下不同材料覆盖对水分入渗特征的影响[J].水土保持研究,2004,11(3):46-47,87.

(上接第6页)

**2.2 辐照剂量对不同品种发芽趋势的影响** 从表2可以看出,金早47、中早39、黄华占、浙香银针、秀水134、秀水519、浙洋糯188、浙糯106、浙梗96、宁81对辐照处理敏感,随着剂量的增加,其发芽率在处理剂量小于300 Gy范围无显著差异,在500 Gy以上辐照剂量处理后出芽率、发芽率不同程度出现极显著下降。

### 3 结论与讨论

(1)  $^{137}\text{Cs}-\gamma$  射线对水稻种子具有较强的辐照效应。低剂量辐照对水稻种子发芽率无显著影响,低剂量辐照促进个别品种浙洋糯188、浙糯106、浙梗96萌发,原因可能是适当剂量的辐照处理会引起种子内部生物自由基或有关酶活性的变化,从而提高种子的新陈代谢水平,促进种胚组织细胞生长和分裂,提高种子活力<sup>[10-11]</sup>,这与该试验结论相一致。

(2) 不同遗传背景的品种之间对辐射敏感性不同,从试验结果来看,不同类型的品种辐照敏感性要大于同一类型品种,也就是说粳型和梗型间存在明显差异。该研究表明,粳型品种金早47、中早39、浙香银针的半致死剂量在600 Gy左右;梗型品种秀水134、秀水519、浙洋糯188、浙糯106、浙梗96、宁81的致死剂量在700 Gy左右。综合出芽率、发芽率,在700 Gy处理下的辐照敏感性依次为黄华占>中早39>浙香

银针>金早47>浙洋糯188>秀水519>秀水134>宁81>浙梗96>浙糯106,总体上表现为梗型品种>粳型品种。

### 参考文献

- [1] 刘宏波.防辐射与健康饮食[J].解放军健康,2020(4):23.
- [2] 张瑞勋,冯水英,祁永斌,等.不同作物品种对 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 射线的辐照敏感性[J].中国农学通报,2008,24(8):266-269.
- [3] LI S,ZHENG Y C,CUI H R,et al. Frequency and type of inheritable mutations induced by  $\gamma$  rays in rice as revealed by whole genome sequencing[J]. J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol),2016,17(12):905-915.
- [4] 朱子轶,叶胜海,翟荣荣.不同辐照强度和浸种时间对作物种子萌发的影响[J].安徽农业科学,2017,45(24):26-28.
- [5] 兰松龄,林兆松.水稻辐射育种研究的进展[J].福建稻麦科技,1993,11(1):9-14.
- [6] 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.
- [7] 沈圣泉,王彩霞,叶红霞,等. $\gamma$ 射线诱发水稻粒色突变体的研究[J].核农学报,2006,20(5):358-360,364.
- [8] 刘庆龙,严文潮,俞法明,等.辐照 $F_1$ 代干种子育成高产优质早粳品种糯296[J].核农学报,2010,24(4):744-747.
- [9] 刘庆龙,严文潮,俞法明,等.高产抗病早粳品种糯501的选育[J].核农学报,2012,26(6):884-887.
- [10] BORZOU EI A,KAFI M,KHAZAEI H,et al.Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings[J].Pakistan journal of botany,2010,42(4):2281-2290.
- [11] 吴天庭,王贤裕,周志远,等.低剂量 $\gamma$ 射线辐照对水稻种子发芽、成苗的影响[J].种子,1993,12(2):13-15.