

不同剂量⁶⁰Co-γ射线对谷稗种子萌发 及幼苗生长特性的影响

贾秀峰¹,李波²,李红³,邬婷婷²,马赫²

(1.齐齐哈尔大学教育与传媒学院,黑龙江齐齐哈尔 161006;2.齐齐哈尔大学生命科学与农林学院 抗性基因工程与寒地生物多样性保护黑龙江省重点实验室,黑龙江齐齐哈尔 161006;3.黑龙江省农业科学院畜牧兽医分院,黑龙江齐齐哈尔 161005)

摘要:以朝牧1号谷稗种子为试材,采用不同剂量(50、100、150、200、250、300、350、400、450 Gy)的⁶⁰Co-γ射线辐照其种子,测定种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数,芽苗的主根长、芽长、芽苗总长、鲜重、干重和相对含水量,种子的出苗率和幼苗成苗率,并对种子萌发期各指标进行相关性和主成分分析。结果表明,随着辐射剂量的增加,中高辐射剂量发芽率降低了3.34%~25.00%,发芽势增加了6.84%~41.09%,发芽指数增加了1.84~33.50%,活力指数降低了8.87%~62.86%,芽长降低了9.97%~56.78%,主根长降低了18.48~70.52%,芽苗总长降低了11.25~62.20%,鲜重(除150 Gy外)降低了0.32%~34.50%,干重降低了2.91%~11.58%,相对含水量增加了29.37%~57.54%,50~350 Gy处理出苗率增加了3.12%~18.75%,50~300 Gy处理成苗率降低了5.13%~94.87%。不同剂量⁶⁰Co-γ射线辐射后,发芽率、活力指数、芽长、主根长、芽苗总长、鲜重均与成苗率呈极显著正相关,以特征向量值大于0.30为标准,辐射影响谷稗种子萌发和幼苗生长主要指标分别为芽长、芽苗总长、主根长、成苗率、活力指数、发芽率、相对含水量和出苗率。

关键词:谷稗种子;⁶⁰Co-γ辐射;种子萌发;芽苗生长;相关性分析;主成分分析

中图分类号:S515;S124⁺.1 **文献标志码:**A

Effects of different doses of ⁶⁰Co-γ ray on seed germination and seedling growth characteristics of *Echinochloa crusgalli*

JIA Xiu-feng¹, LI Bo², LI Hong³, WU Ting-ting², MA He²

(1. College of Education and Media, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China;

2. College of Agriculture, Forestry and Life Sciences, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Resistance Gene Engineering and Protection of Biodiversity in Cold Areas, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China;

3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar, Heilongjiang 161005, China)

Abstract: *Echinochloa crusgalli* (zhaomu No.1) seed were used as experimental materials, and seeds were treated with different doses (50、100、150、200、250、300、350、400、450 Gy) of ⁶⁰Co-γ ray. The germination rate, germination potential, germination index, vigor index, main root length, bud length, total length of bud seedling, fresh weight, dry weight, relative water content of bud, seed germination rate and seedling survival rate were measured. The correlation and principal component analyses on various indicators during seed germination were conducted. The results showed that with the increase in radiation dosage, the germination rate with middle and high radiation doses decreased by 3.34%~25.00%, the germination potential increased by 6.84%~41.09%, the germination index increased by 1.84%~33.50%, the vigor index decreased by 8.87%~62.86%, the bud length decreased by 9.97%~56.78%, the main root length decreased by 18.48%~70.52%, the total length of bud seedling decreased by 11.25%~62.20%, the fresh weight (except 150 Gy) decreased by 0.32%~34.50%, the dry

收稿日期:2018-05-29

修回日期:2019-04-19

基金项目:黑龙江省应用技术研究与开发计划重大项目(GA15B105-5);黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(135209267, YSTSXK201886)

作者简介:贾秀峰(1963-),男,河北景县人,副教授,主要从事生理学研究。E-mail:qqhrjxf@tom.com

通信作者:李波(1962-),女,辽宁鞍山人,教授,研究生导师,主要从事细胞生物学的教学和科研工作。E-mail:libo1962@163.com

weight decreased by 2.91%~11.58%, the relative water content increased by 29.37%~57.54%, the 50~350 Gy seed germination rate increased by 3.12%~18.75%, and the seedling survival rate of 50~300 Gy decreased by 5.13%~94.87%. After different doses of ⁶⁰Co-γ radiation, germination rate, vigor index, bud length, main root length, total length of bud seedlings and fresh weight were significantly positively correlated with seedling survival rate. According to the eigenvector value of more than 0.30 as the standard, the main indicators of seed germination and seedling growth of *Echinochloa crusgalli* were bud length, total length of bud seedling, main root length, survival rate, vigor index, germination rate, relative water content and germination rate.

Keywords: *Echinochloa crusgalli* seed; ⁶⁰Co-γ radiation; seed germination; seedling growth; correlation analysis; principal component analysis

诱变育种一般分为物理和化学诱变育种。在物理因素中,辐射通常用于处理植物并诱导突变以培育新品种。因此,物理诱变育种常被称为辐射诱变育种。辐射诱变技术已经成为生物育种中重要的物理诱变手段,是创造新品种及新种质资源的一条有效途径,辐射诱变的种类很多,主要有 X 射线、γ 射线、中子、离子束及多种因素结合的空间诱变^[1],由于各种射线电离密度不同,产生生物效应不同,突变率也不同。在辐射诱变中常采用 γ 射线辐照,而⁶⁰Co-γ 射线又是其中最常用的一种辐射源^[2]。利用辐射已成功地获得了很多早熟、矮化、抗逆、优质、育性及其他特异突变体,为基因功能的研究和育种提供了优良的种质资源^[3]。

辐射育种首先要确定适宜的诱变剂量才能获得有效的诱变效果,而诱变剂量是按照材料对辐射敏感程度来确定的。在一定剂量的辐射作用下,生物体组织的形态和功能及细胞内含物会发生相应变化,它是评价植物对辐射反应的重要指标,也是确定诱变剂量以及处理方法的依据。针对特定的品种,需通过试验重新确定其适宜的辐射剂量,研究人员先后对狗牙根^[4]、扁穗牛鞭草^[5]、高羊茅^[6]和无芒雀麦^[7]等重要的牧草进行⁶⁰Co-γ 射线辐射的种子萌发和幼苗生长影响的研究,并确定其最适辐射剂量。近年来,利用 γ 射线辐射诱变了许多牧草种类,如沙打旺、苏丹草、苜蓿、黑麦草等,育成了新牧 1 号紫花苜蓿、超早熟沙打旺、多花黑麦草等牧草新品种和新材料,为我国草业发展做出了卓越贡献^[8]。

谷稗(*Echinochloa crusgalli*)是一种一年生的禾本科牧草,其适应性较强,生长快,是一种产量高、适口性好的优良饲料^[9]。在盐碱及干旱条件下也可生长,其干草、籽实的粗蛋白、粗脂肪及维生素均高于其他禾谷类植物,对畜牧业发展有着重要的应用价值,但对其种质资源更新的研究甚少,导致谷稗品种单一。本研究探讨不同⁶⁰Co-γ 射线辐照剂量

对谷稗种子萌发及芽苗生长特性的影响,为谷稗的人工诱变育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以黑龙江畜牧研究所提供的⁶⁰Co-γ 不同辐射剂量的谷稗(朝牧 1 号)干种子为材料。

1.2 试验方法

1.2.1 ⁶⁰Co-γ 射线辐照处理谷稗种子 以中国农业科学院原子能利用研究所的⁶⁰Co-γ 射线为辐射源,于 2016 年 5 月进行谷稗干种子辐射处理,强度分为低剂量(50、100、150 Gy);中剂量(200、250、300 Gy);高剂量(350、400、450 Gy),剂量率 15 Gy·min⁻¹,每个处理 100 g 种子,以同批未辐照的种子为对照。

1.2.2 谷稗种子发芽试验 选取辐射处理和对照的种子各 150 粒,用 35℃ 蒸馏水浸泡 2 h,置入铺有 2 层滤纸的发芽盒中,25℃ 恒温培养箱中培养,以胚芽长度大于 2 mm 即视为发芽,以 3 d 发芽种子数计算发芽势,以 7 d 发芽种子数计算发芽率。取 7 d 芽苗 20 株,用游标卡尺测量其芽长、根长和芽苗总长度。选取芽苗 10 株,测其鲜重,80℃ 烘箱烘干后测其干重。各指标均重复 3 次。

发芽率 $GR(\%) = \frac{\text{第 7 d 发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$;发芽势 $GE(\%) = \frac{\text{3 d 内发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$;发芽指数 $GI = \frac{\sum G_t}{D_t}$ (G_t 指时间 t 的发芽数, D_t 指相应的发芽天数);活力指数 $VI = S \times \frac{\sum G_t}{D_t}$ (S 指芽苗的根长);相对含水量 = $\frac{\text{第 7 d 芽苗重量} - \text{烘干后芽苗重量}}{\text{第 7 d 芽苗重量}} \times 100\%$ 。

1.2.3 出苗率与成苗率调查 选取辐射处理和对照的种子各 45 粒,用 35℃ 蒸馏水浸泡 2 h,播于装有 2:1 的营养土与珍珠岩混合育苗钵中,置于温室。播后 7 d 统计种子的出苗率,21 d 统计幼苗的存活率即为种子的成苗率,重复测定 3 次。

出苗率(%) = 出苗数/播种种子总数×100%

成苗率(%) = 成苗数/播种种子总数×100%

1.2.4 数据的分析处理 图表绘制使用 Excel 2010 软件,利用 SPSS 16.0 统计分析软件进行数据差异显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 辐照处理对谷稗种子萌发的影响

由表 1 可见,⁶⁰Co-γ 射线辐照处理后,种子发芽率、发芽势、发芽指数随着辐射剂量的增加呈先增后降的趋势,而活力指数则随着辐射剂量增加而降低。低辐射剂量后谷稗种子的发芽率、发芽势、发芽指数均高于对照组,而中高辐射剂量明显降低了谷稗种子的发芽率和活力指数,但却提高了谷稗种子的发芽势和发芽指数。

谷稗种子发芽率比较低,50~150 Gy 低辐射剂量提高种子发芽率,辐射剂量为 150 Gy 时发芽率达最大值,但与对照组比较差异不显著($P>0.05$),300~450 Gy 辐射剂量下,种子的发芽率均低于 70%;50~450 Gy 辐射剂量下种子的发芽势和发芽指数均高于对照组,而活力指数均低于对照组,在 250 Gy 和 350 Gy 辐射剂量时发芽势和发芽指数分别达到最大值,450 Gy 辐射剂量时活力指数达到最小值,高辐射剂量对种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数影响极大($P<0.05$),说明辐射处理影响谷稗种子发芽的整齐度和生命力。

2.2 辐照处理对谷稗种子芽苗生长特性的影响

⁶⁰Co-γ 射线辐照处理后对谷稗种子芽苗的总长、主根长和芽长的影响随辐射剂量增加而减少(表 2),低剂量辐射对芽苗的生长影响较小,而中高辐射剂量对芽苗的生长影响较大,400 Gy 和 450 Gy

时芽长比对照下降了 50%以上,350、400、450 Gy 的高剂量下主根长和芽苗总长分别比对照下降了 60%和 50%以上,450 Gy 辐射剂量下芽苗生长的抑制作用最强,中高辐射剂量对谷稗芽苗生长带来了一定的不利影响,辐射使谷稗芽苗出现了一定程度的矮化。辐射组与对照相比芽苗的总长、主根长和芽长差异显著($P<0.05$)。

2.3 辐照处理对谷稗芽苗生物量和相对含水量的影响

⁶⁰Co-γ 射线辐射种子的芽苗鲜重、干重和相对含水量随辐射剂量增加呈先增后降的趋势(表 2),不同辐射剂量对芽苗鲜重、干重和相对含水量的影响程度不同。低辐射剂量除 50 Gy 外对鲜重的影响不大,150 Gy 的鲜重比对照增加了 8.80%,但差异不显著($P>0.05$),300~450Gy 辐射组对芽苗鲜重影响较大,均较对照组下降 30%以上,除 100 Gy 和 150 Gy 辐射剂量外,其它辐射剂量和对照的芽苗鲜重差异显著($P<0.05$);芽苗干重均低于对照,50~450 Gy 辐射组与对照相比芽苗干重降低了 2.91%~11.58%,辐射组与对照比较差异显著($P<0.05$);不同辐射剂量促进芽苗相对含水量的增加,50~450 Gy 辐射剂量比对照的相对含水量增加了 29.37%~57.54%。辐射对幼苗相对含水量影响较大($P<0.05$)。

2.4 辐照处理对谷稗种子出苗率和幼苗成苗率的影响

种子出苗率和幼苗成苗率均随辐射剂量的增加呈先增后减的趋势(表 3),中低辐射剂量对种子出苗率有一定的促进作用,高辐射剂量中 450 Gy 体现为抑制作用。低辐射剂量对幼苗成苗率影响不大,中高辐射剂量则体现出极高的抑制作用,甚至高辐射剂量使谷稗幼苗无法成苗。

表 1 辐照处理对谷稗种子萌发特性的影响

Table 1 Effects of germination characteristics of *Echinochloa crusgalli* seed under the irradiation

辐射剂量 Radiation dose/Gy	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	
对照 Control	0	80.00±1.15ab	48.67±0.67c	38.84±0.74c	2206.62±42.29a
低剂量 Low dose	50	83.33±1.33ab	52.00±1.15bc	40.78±0.18bc	2010.87±8.86b
	100	84.00±1.15a	57.33±4.67b	41.53±1.36b	1717.61±56.13c
	150	84.67±3.33a	53.33±0.67bc	41.62±0.88b	1570.11±33.16d
	200	77.33±2.40b	58.00±1.15b	41.55±0.81b	1614.44±31.39d
中剂量 Middle dose	250	74.67±1.76b	68.67±2.91a	44.25±0.63b	1297.68±18.57e
	300	65.33±2.67c	65.33±2.67ab	47.96±0.42b	1291.91±11.25e
	350	64.67±0.67c	64.67±1.33ab	54.44±2.00a	1155.88±42.36f
高剂量 High dose	400	63.33±1.16c	63.33±1.76ab	48.48±0.49b	934.30±9.39g
	450	60.00±0.67c	60.00±1.16b	48.93±1.88b	819.65±31.54h

注:同列不同小写字母表示处理间显著差异($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among treatment ($P<0.05$), the same below.

表2 辐照处理对谷稗种子芽苗生长特性的影响

Table 2 Effects of bud growth characteristics of *Echinochloa crusgalli* seed under the irradiation

辐射剂量/Gy Radiation dose	芽长/mm Bud length	主根长/mm Main root length	芽苗总长/mm Total length of bud seedling	鲜重/mg Fresh weight	干重/mg Dry weight	相对含水量/% Relative water content	
对照 Control	0	87.22±1.55a	56.81±1.69a	144.03±2.50a	313.60±6.30ab	91.96±0.13a	25.20±0.80b
低剂量 Low dose	50	78.52±2.01b	49.31±2.01b	127.83±3.28b	221.80±7.80c	84.77±0.59c	33.80±2.00b
	100	77.88±2.06bc	41.36±1.76c	119.24±3.33c	312.60±9.40ab	87.31±1.27bc	39.70±3.10a
	150	72.16±1.87c	37.73±1.94c	109.89±3.46d	341.20±21.30a	89.28±1.19bc	36.60±2.10ab
	200	66.31±2.65d	38.86±1.72c	105.17±3.76d	301.50±16.00b	89.12±0.32bc	32.80±0.90b
中剂量 Middle dose	250	54.00±1.97e	29.33±1.20d	83.32±2.68e	227.10±8.00c	85.66±0.28c	32.60±0.50b
	300	48.54±1.94f	26.94±1.36d	75.48±2.67e	209.40±5.40c	84.24±0.57c	33.00±0.40b
	350	43.87±1.62fg	21.23±1.04e	65.10±1.91f	209.50±2.30c	83.82±0.05c	33.90±0.30b
高剂量 High dose	400	42.27±1.73g	19.27±1.01ef	61.54±2.35fg	206.90±1.90c	83.10±0.24d	35.00±0.40b
	450	37.70±1.23g	16.75±0.87f	54.45±1.81g	205.40±3.70c	81.31±0.62d	38.40±0.60ab

表3 辐照处理对谷稗出苗率和成苗率的影响

Table 3 Effects of germination rate and survival rate of *Echinochloa crusgalli* under the irradiation

辐射剂量/Gy Radiation dose	出苗率/% Germination rate	成苗率/% Survival rate	
对照 Control	0	71.11±5.88b	86.67±3.85a
低剂量 Low dose	50	75.56±2.22ab	77.78±2.22a
	100	77.78±5.88ab	82.22±2.22a
	150	84.44±4.44a	86.67±3.85a
中剂量 Middle dose	200	80.00±3.85ab	35.56±4.44b
	250	75.56±2.22ab	15.56±2.22c
	300	75.56±2.22ab	4.44±2.22d
高剂量 High dose	350	73.33±3.85ab	0.00±0.00e
	400	71.11±2.22b	0.00±0.00e
	450	62.22±5.88b	0.00±0.00e

2.5 辐照处理后谷稗种子萌发相关指标的相关性分析和主成分分析

不同剂量的⁶⁰Co-γ射线辐射后谷稗种子萌发指标的相关性分析见表4。经⁶⁰Co-γ射线辐射后,发芽率、活力指数、芽长、主根长、芽苗总长、鲜重均与成苗率呈极显著正相关,相关系数分别为0.933、0.874、0.958、0.894、0.936和0.802,干重与成苗率呈显著相关,相关系数为0.754,发芽势和发芽指数与成苗率呈极显著负相关,相关系数分别为-0.854和-0.853,为了进一步了解⁶⁰Co-γ射线辐射对谷稗种子萌发期各指标的关系,对其进行主成分分析。

⁶⁰Co-γ辐射后谷稗种子萌发相关指标的主成分分析特征值和贡献率见表5,⁶⁰Co-γ辐射后谷稗萌

表4 辐照处理后谷稗种子萌发相关性状的相关系数矩阵

Table 4 Correlation coefficient matrix of correlation characteristics of *Echinochloa crusgalli* seed germination under the irradiation

指标 Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂
X ₁	1											
X ₂	-0.664 *	1										
X ₃	-0.867 **	0.720 *	1									
X ₄	0.851 **	-0.771 **	-0.826 **	1								
X ₅	0.930 **	-0.812 **	-0.895 **	0.966 **	1							
X ₆	0.861 **	-0.805 **	-0.880 **	0.993 **	0.978 **	1						
X ₇	0.905 **	-0.814 **	-0.893 **	0.983 **	0.996 **	0.993 **	1					
X ₈	0.785 **	-0.650 *	-0.733 *	0.634 *	0.769 **	0.668 *	0.730 *	1				
X ₉	0.760 *	-0.631	-0.769 **	0.792 **	0.829 **	0.811 **	0.826 **	0.894 **	1			
X ₁₀	-0.109	0.249	0.278	-0.504	-0.336	-0.492	-0.405	-0.097	-0.520	1		
X ₁₁	0.701 *	-0.163	-0.442	0.439	0.501	0.409	0.464	0.618	0.569	0.036	1	
X ₁₂	0.933 **	-0.854 **	-0.853 **	0.874 **	0.958 **	0.894 **	0.936 **	0.802 **	0.754 *	-0.135	0.504	1

注: X₁~X₁₂分别为发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽长、主根长、芽苗总长、鲜重、干重、相对含水量、出苗率和成苗率。*为P<0.05水平显著相关,**为P<0.01水平极显著相关。下同。

Note: X₁~X₁₂ are germination rate, germination potential, germination index, vigor index, bud length, main root length, total length of bud seedling, fresh weight, dry weight, relative water content, germination rate and survival rate, respectively. * is significantly correlated with P<0.05 level, ** is significantly correlated with P<0.01 level. The same below.

发性状主成分分析矩阵见表 6, 在所测定的 12 个萌发相关指标中, 前 2 个主成分的累计贡献率为 85.736%, 特征值总和为 10.289。通过对 10 个辐射剂量 12 个相关指标的计算, 获得了各指标对综合性状贡献大小的特征向量(表 6)。通过各萌发性状在主成分中系数的大小, 确定了其在萌发过程中的作用以及方向。同时各主成分之间彼此独立, 它们分别来自不同的萌发指标。

由表 6 可知, 第一主成分 Y1 中, 芽长、芽苗总长和主根长具有较大的正系数值, 其中以芽长度的荷载值最大, 芽苗总长和主根长的荷载值次之, 而发芽指数、发芽势和相对含水量则具有较大的负系数值, 表明第一主成分主要反映了芽长、芽苗总长和主根长等形态数据, 描述了芽苗的生长指标特性。

第二主成分 Y2 中, 相对含水量、出苗率、发芽率和鲜重具有较大的正系数值, 其中以相对含水量的荷载值最大, 出苗率和鲜重次之, 而活力指数和芽苗长度则具有较大的负系数值, 第二主成分升高时, 相对含水量、出苗率、发芽率和鲜重必然增加, 而芽苗长度和活力指数则会降低, 因此第二主成分可以看作是出苗率、发芽率为主的早期萌发指标特性。

依据主成分的方差贡献率和主成分的原性状相关矩阵值计算出特征向量, 特征向量大于 0.3 的

表 5 辐照处理后谷稗种子萌发指标主成分分析的特征值和贡献率

Table 5 Eigenvalue and contribution rate of principal components of *Echinochloa crusgalli* seed germination under the irradiation

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
Y1	8.954	74.614	74.614
Y2	1.335	11.122	85.736

表 6 辐照处理谷稗种子萌发性状主成分矩阵和特征向量

Table 6 Principal component matrix and eigenvector of *Echinochloa crusgalli* seed germination characteristics under the irradiation

指标 Index	主成分矩阵 Principal component matrix		特征向量 Eigenvector	
	Y1	Y2	Y1	Y2
X_1	0.933	0.280	0.3118	0.2423
X_2	-0.814	0.162	-0.272	0.1402
X_3	-0.91	-0.011	-0.3041	-0.0095
X_4	0.948	-0.214	0.3168	-0.1852
X_5	0.989	-0.027	0.3305	-0.0234
X_6	0.965	-0.213	0.3225	-0.1843
X_7	0.984	-0.108	0.3288	-0.0935
X_8	0.828	0.323	0.2767	0.2796
X_9	0.886	-0.047	0.2961	-0.0407
X_{10}	-0.363	0.800	-0.1213	0.6924
X_{11}	0.557	0.601	0.1861	0.5202
X_{12}	0.951	0.138	0.3178	0.1194

作为 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照影响谷稗萌发特性的主要指标, 它们分别为芽长、芽苗总长、主根长、成苗率、活力指数、发芽率、相对含水量和出苗率。

3 讨论

关于辐射诱变, 其关键点在于找到合适的辐射剂量, 根据韩贵清、刘军丽等^[9-10]的相关研究, 在一定范围内增加辐射剂量可以拓宽突变谱, 但过高的辐射剂量会降低出芽率、增加畸变率。不同种类的植物对于辐射的敏感度不同导致适宜剂量也不同^[10]。在经过辐射处理后, 谷稗种子的发芽率和发芽势出现了先增加后减小的趋势, 这与韩贵清等^[9]所提出的谷稗种子在经过 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照后, 随着辐射剂量的增大谷稗种子发芽率和发芽势逐渐降低的结论不同, 其原因在于其研究的是超低剂量的辐射对谷稗种子的影响, 我们扩大了辐照范围后发现低剂量的辐射是对谷稗种子发芽有促进作用的, 这与王月华等^[11]对早熟禾的研究结果一致。随着辐射剂量的增大, 辐射能量积累量越来越多, 导致谷稗活力指数出现了随辐射剂量增加而降低的趋势, 这与耿兴敏等^[12]研究 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对桂花种子萌发的影响的结果一致。

随着辐射剂量的增加, 对谷稗种子芽苗生长也产生了明显的抑制作用, 导致种子芽苗的根长和芽长显著降低, 生物量也出现降低的趋势, 原因可能与 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照过程中破坏了部分种胚有关, 因为种胚受损就会导致细胞生长和增殖受阻, 自然会对芽苗生长产生影响, 这与耿兴敏等^[12]对桂花种子芽苗和蔡春菊等^[13]研究毛竹种子幼苗的结果一致。

辐射能量的堆积也可能导致芽尖分生区细胞分裂产生抑制作用, 且会随着芽苗生长而不断体现出来, 最终导致幼苗难以生长, 甚至不能成苗^[14]。试验发现, 虽然中高辐射剂量种子可以正常出苗, 但一周后芽苗出现了大量死亡, 具体表现为从芽尖开始自上而下的萎蔫直至死亡, 这种中高剂量的辐射对谷稗芽尖的影响最终导致其出苗率和成苗率不一致。

辐射育种首先要确定适宜的诱变剂量才能获得有效的诱变, 而诱变剂量是按照材料的辐射敏感性来确定的。Xu 等^[15]1998 年报道, 目前已知的禾本科作物适宜诱变剂量为: 燕麦种子半致死剂量在 200~350 Gy 之间, 黑麦、高粱、小黑麦种子半致死剂量在 200~300 Gy 之间。但韩贵清等^[9]研究中使用超低剂量的 γ 射线辐射, 御谷和谷稗幼苗高度不同程度地高于对照。本研究参照前人试验确定了初步辐射范围为 50~450 Gy, 每 50 Gy 为一个辐射剂

量共计9个试验组。在试验过程中发现,虽然辐射剂量的增加使得发芽势有所增加,但是7 d时发芽率出现了明显的先增后减的趋势,且活力指数出现明显的下降。且在7 d时芽苗长度及根长也随辐射剂量的增加而减小。除450 Gy组外,7 d时出苗率虽均有所增高,但21 d成苗率表现出了极其强烈的抑制作用,300~450 Gy辐射组导致谷稗种子幼苗无法成苗。

辐射对种子萌发和幼苗生长的影响是由多种因素相互作用而构成的较为复杂的体系,用单一指标很难准确分析辐射的影响^[16],必须对多个指标运用相关性分析法、主成分分析法、矩阵分析法等进行综合分析^[17],真实地评价⁶⁰Co-γ射线辐射诱变处理对不同性状因子的影响。通过主成分分析法,采用发芽率、成活率等共12个测量指标,对辐射剂量处理谷稗种子诱变效应进行综合评价,表明影响谷稗诱变效应的主导因子为芽长、芽苗总长、主根长、成苗率、活力指数、发芽率、相对含水量和出苗率。综合考虑各主成分的重要程度、生长特性指标和早期萌发指标,初步认为低辐射剂量可以很好地反映⁶⁰Co-γ射线对谷稗的诱变效应。

不同辐射剂量对谷稗种子的萌发、芽苗生长和种子出苗率及幼苗成苗率产生了不同的影响。低辐射剂量可促进种子萌发,中高辐射剂量由于辐射的作用导致多项萌发特性指标显著下降,甚至使谷稗幼苗无法成苗。综合分析50~150 Gy低辐射剂量对谷稗种子有良好的诱变效果。

参考文献:

- [1] 杨兆民,张璐.辐射诱变技术在农业育种中的应用与探析[J].基因组学与应用生物学,2011,30(1):87-91.
- [2] 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.
- [3] 翟国伟,邹桂花,陶跃之.⁶⁰Co-γ射线辐照高粱的生物学效应及适宜诱变剂量的研究[J].中国农学通报,2010,26(8):119-123.
- [4] 郭海林,刘建秀,郭爱桂,等.杂交狗牙根诱变后代综合评价[J].草地学报,2008,16(2):145-149.
- [5] 曾捷,黄琳凯,张新全,等.⁶⁰Co-γ辐射扁穗牛鞭草剂量筛选及表型变异研究[J].草地学报,2014,22(4):828-833.
- [6] 费永俊,吴亭谦.⁶⁰Co-γ辐射在高羊茅表型和子代上的响应[J].中国草地学报,2009,31(4):53-56.
- [7] 李波,李祥莉.⁶⁰Co-γ辐射诱变处理对无芒雀麦种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(2):118-123.
- [8] 韩微波,张月学,唐凤兰,等.我国牧草诱变育种研究进展[J].核农学报,2010,24(1):62-66.
- [9] 韩贵清,韩微波,张月学,等.⁶⁰Co-γ射线诱变谷稗和御谷的辐射生物学效应研究[J].草业科学,2009,26(8):97-100.
- [10] 刘军丽,张杰,耿慧,等.⁶⁰Co-γ辐射对观赏海棠组培苗的诱变效应[J].中国农业科学,2010,43(20):4255-4264.
- [11] 王月华,韩烈保,尹淑霞,等.⁶⁰Co-γ射线辐射对早熟禾种子发芽及种子内酶活性的影响[J].中国草地学报,2006,28(1):54-57.
- [12] 耿兴敏,王良桂,李娜,等.⁶⁰Co-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.
- [13] 蔡春菊,高健,牟少华.⁶⁰Co-γ辐射对毛竹种子活力及早期幼苗生长的影响[J].核农学报,2007,21(5):436-440.
- [14] 朱宗文,查丁石,朱为民,等.⁶⁰Co-γ射线辐射对番茄种子萌发及早期幼苗生长的影响[J].种子,2010,29(8):15-18.
- [15] Xu G R. Application of nuclear technique for development of bio-industry in China[J]. Nuclear Techniques, 1988,11(10):17-24.
- [16] 赵海明,游永亮,李源,等.紫花苜蓿资源抗旱性鉴定评价方法研究[J].草地学报,2017,25(6):1308-1316.
- [17] 王婧泽,高树仁,孙丽芳,等.3个玉米自交系对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):89-95.

(上接第65页)

- [17] 朱小文.不同提取条件对植物组织SOD、POD和CAT酶活性的影响[J].食品科技,2018,43(5):265-269.
- [18] 崔晋龙,郭顺星,肖培根.内生菌与植物的互作关系及对药用植物的影响[J].药学报,2017,52(2):214-221.
- [19] 陶如,冯蕾,赵法兴,等.白花丹参毛状根诱导体系的建立与其内生真菌提高毛状根中丹酚酸含量的研究[J].时珍国医国药,2015,26(6):1469-1473.
- [20] 张瑞芬,李培琴,周立刚.真菌诱导子对植物培养物生长和次生代谢产物合成影响之研究进展[J].中国农学通报,2008,24(9):260-264.
- [21] 宁进,张秀英,程玉,等.真菌诱导子对毛葡萄愈伤组织细胞次生代谢的影响[J].中国南方果树,2015,44(2):33-38.
- [22] 邱立友,戚元成,王明道,等.植物次生代谢物的自毒作用及其与连作障碍的关系[J].土壤,2010,42(1):1-7.
- [23] 张长平,李春,元英进.真菌诱导子对悬浮培养南方红豆杉细胞次生代谢的影响[J].化工学报,2002,53(5):498-502.
- [24] 徐晓梅,杨曙光.苯丙氨酸解氨酶研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(31):15115-15119.
- [25] Polidoros A N, Scandalios J G. Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.) [J]. Physiologia Plantarum, 1999,106(1):112-120.
- [26] 刘零怡,赵丹莹,郑杨,等.植物在低温胁迫下的过氧化氢代谢及信号转导[J].园艺学报,2009,37(11):1701-1708.
- [27] 刘淑宇,于新,陈发河,等.绿色木霉菌发酵液对枞果炭疽菌胞内抗性酶活性的影响[J].果树学报,2013,30(2):285-290.
- [28] 张雨竹,董雪梅,郭春兰,等.桃色顶孢霉发酵液对大豆的促生及对抗氧化酶活性的影响[J].中国油料作物学报,2014,36(4):519-523.
- [29] 薛鑫,张芊,吴金霞.植物体内活性氧的研究及其在植物抗逆方面的应用[J].生物技术通报,2013(10):6-11.
- [30] 陶金华,濮雪莲,江曙.内生真菌诱导子对茅苍术细胞生长及苍术素积累的影响[J].中国中药杂志,2011,36(1):27-31.
- [31] Maojun. Nitric oxide: a potential key point of the signaling network leading to plant secondary metabolite biosynthesis [J]. Progress in Natural Science, 2007,17(12):1397-1404.