

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 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

李 波,李祥莉

(齐齐哈尔大学生命科学与农林学院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘 要: 为了解 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射对无芒雀麦种子幼苗耐旱性的影响,试验利用聚乙二醇(PEG-6000)为渗透介质模拟水分胁迫,以无芒雀麦种子为材料,采用发芽盒滤纸萌发,研究不同剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射对无芒雀麦幼苗生长、细胞膜透性、渗透调节物质和保护酶活性的影响。结果表明:10% PEG为无芒雀麦种子萌发期的最佳胁迫浓度。低剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射提高种子的根系吸水能力,促进幼苗的含水量增加,从而促进种子的幼苗生长,高剂量辐射则具有抑制作用。相对电导率含量与辐射剂量呈正相关,随辐射剂量逐渐升高,对细胞膜的破坏性增强。脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量变化均与辐射剂量呈负相关,低剂量辐射可以促进渗透调节物质含量的积累,进而维持正常的生理代谢。随着辐射剂量的增加,无芒雀麦幼苗的保护酶活性均呈现先升后降趋势,说明低剂量辐射促进无芒雀麦幼苗清除自由基的能力,而高剂量具有抑制作用。低剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射(50~100 Gy)促进无芒雀麦幼苗的生长,且通过相对电导率的降低对细胞膜起到保护作用。同时,无芒雀麦幼苗可通过体内渗透调节物质及抗氧化酶活性的增加来适应水分胁迫环境。

关键词: 无芒雀麦;PEG胁迫; $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照;抗旱性

中图分类号: S332.1 **文献标志码:** A

Effect of drought resistance of Bromes irradiated by $^{60}\text{Co}-\gamma$ - ray in the seed germination stage

LI Bo, LI Xiang-li

(College of Agriculture, Forestry and Life Sciences, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China)

Abstract: In order to explain the effect of water tolerance of $^{60}\text{Co}-\gamma$ radiation on the seed germination of Bromes, polyethylene glycol (PEG-6000) was used to simulate water stress, The seeds of Bromes are used as materials, using germination box filter paper germination. the effects of different $^{60}\text{Co}-\gamma$ radiation on the seeding growth、cell membrane permeability、osmotic adjustment and the activity of protective enzymes were studied. The results showed that:10% PEG was the best stress concentration in the seed germination period of Bromes. Low dose radiation to improve the root of the seed water absorption capacity, and promote the water content of seedling, there by promotion seedling growth, high-dose radiation is inhibited. But the relative conductivity content was positively correlated with the radiation dose, the radiation dose gradually increased, the destruction of the cell membrane is enhanced. The contents of proline, soluble sugar and soluble protein were negatively correlated with the radiation dose. Low dose radiation could promote the osmotic adjustment of substance and maintain normal physiological metabolism. With the increase of radiation dose, the protective enzyme activities of Bromes were all increased first and then decreased, which indicated that low dose radiation could promote the free radical scavenging ability of Bromes, and the high dose had inhibitory effect. Low dose radiation can promote promotes its ability of scavenging radicals of Bromes, while the high dose has inhibitory effect. Thus, the low dose of $^{60}\text{Co}-\gamma$ radiation (50~100 Gy) to promote the growth of Bromes and protected the cell membrane by the decrease of relative conductivity. At the same time, there is no increase in osmotic regulation and antioxidant enzyme activity to adapt to the water stress environment Inhibition, the degree of damage to a minimum.

Keywords: bromes; PEG stress; $^{60}\text{Co}-\gamma$ - ray; drought resistance

随着水资源的日益匮乏,干旱早已成为全球内最受关注的环境问题,也是影响植物生长和产量的重要因素之一。近年来我国相继遭遇严重的秋旱和伏旱,其旱情具有持续时间长、发展速度快等特点,对牧草生产造成了很大的影响。因此,筛选具有较强耐干旱的牧草是实现环境绿化和干草饲料最实用的途径。

无芒雀麦(*Bromes inermis* Leyss)又名光雀麦,属于多年生雀麦属,是水土保持最好的冷季型的禾本科牧草,原产于亚洲、欧洲和北美洲等寒冷地区的一种重要的栽培牧草,多分布于山坡、道旁、河岸。具有叶量丰富,营养价值高,适口性好,消化率高,抗寒抗旱,适度放牧,再生性能力强,各种家畜均喜采食等优良品质,是建立人工草地和优良水保的重要草种^[1]。

⁶⁰Co-γ 辐照具有能够提高突变率,后代遗传稳定,缩短育种周期等优点,是获得新种质资源的有效途径^[2-3]。近年来辐射诱变技术主要集中在粮食和经济作物上,已成为当代植物改良和作物育种的一种重要手段。目前,对无芒雀麦的研究方向在种间关系、产量、资源培育等方面^[4],迄今关于无芒雀麦种子耐旱方面的研究较少。聚乙二醇(PEG)可用于鉴定不同植物种子萌发期的耐旱性研究^[5]。种子发育成苗是生活史上最为脆弱的发育时段,开展种子萌发期抗旱性,对干旱环境适应性及响应机制研究尤为重要。本试验采用 PEG-6000 高渗溶液模拟干旱胁迫,初步确定无芒雀麦适宜的胁迫浓度,再通过不同剂量的⁶⁰Co-γ 射线辐射对无芒雀麦的多项指标进行抗旱性综合分析,为无芒雀麦种子的萌发和幼苗生长的耐旱性研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试的无芒雀麦种子由黑龙江畜牧研究所提供,利用烘干机烘干后,室温干燥器内保存。

1.2 试验设计

1.2.1 辐照处理 以⁶⁰Co-γ 射线作为辐射源,2016 年 5 月在中国农业科学院原子能研究所对无芒雀麦干种子进行辐射处理,辐射剂量为 50、100、150、200、250 Gy 和 300 Gy,剂量 15 Gy·min⁻¹,每个处理 100 g 种子,以未经过处理的种子作对照。

1.2.2 PEG 胁迫浓度的设置 采用 PEG-6000 模

拟不同浓度的 PEG 处理液,共设 6 个胁迫浓度,质量分数分别为 0、5%、10%、15%、20% 和 25%,与之相对应的溶液水势分别为 0、-0.05、-0.20、-0.40、-0.60 MPa 和 -0.86 MPa^[6]。选取均匀、饱满的种子 30 粒置于发芽盒内浸透胁迫溶液的滤纸上进行发芽,3 次重复。待发芽结束,根据发芽率来推断出种子最适宜的胁迫浓度。

1.2.3 种子萌发试验 选取各组的种子若干粒,用 35℃ 蒸馏水浸泡 2 h,用吸水纸吸干种子表面的水分,再将种子均匀排布于发芽盒内浸透 PEG 胁迫浓度为 10% 的滤纸上,置于光照培养箱中培养,培养条件为:25℃ 恒温,光照强度 120 μmol·m⁻²·s⁻¹,光照时间 12 h·d⁻¹,为了防止发芽盒中水势的变动,每 3 d 更换一次滤纸,并添加 20 ml 原液,培养幼苗。

1.3 指标测定及方法

待发芽结束后(10 d),用滤纸吸干 10 株幼苗上的水分称其鲜质量,用游标卡尺分别测定根长和苗高,采用烘干法测其干质量,取平均值。

胚芽长度($L_{芽}$) = ($L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_{10}$)/10; 胚根长度($L_{根}$) = ($L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_{10}$)/10

称取 0.1 g 鲜样进行抗旱相关指标测定,细胞膜透性采用相对电导率法,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法,可溶性糖含量采用硫代巴比妥酸法,游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮法;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用淡蓝四唑法,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚氧化法,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法^[7],上述每项指标均做 3 次重复。

1.4 数据分析

采用 Excel 进行数据统计处理,SPSS17.0 软件进行单因素方差(ANOVA)检验分析,试验数据取 3 次数据的平均值,对数据进行方差统计分析。

对其抗逆性的综合评价采用隶属函数法^[8],由公式计算与抗逆性的关系的指标的具体隶属值。应用隶属法对不同处理的无芒雀麦幼苗的抗逆性进行综合评价。

隶属函数值计算公式: $R(X_i) = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$,反隶属函数值计算公式: $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ (式中, X_i 为指标测定值, X_{min} 、 X_{max} 为所有实验材料某项指标的最小值和最大值)。将抗性隶属值进行累加求出平均数,如公式: $X = \sum U(X_i) / n$, X 是所求平均抗性的隶属值,其中隶属值越大的其抗逆性越强。

2 结果与分析

2.1 PEG 模拟干旱胁迫适宜浓度的确定

在 PEG 胁迫环境下,适宜胁迫浓度的选择是前提依据。实践中多以 LD₅₀(发芽率降低 50% 的剂量)作为判断作为种子胁迫适应浓度的指标^[9]。利用回归方程求得发芽率的半致死胁迫浓度见图 1,因此,综合分析初步确定无芒雀麦种子的 PEG 胁迫浓度为 10%。

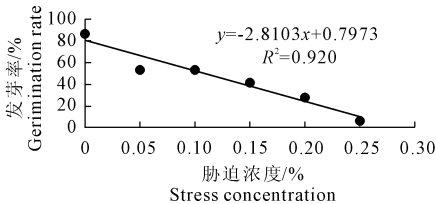


图 1 种子发芽率与胁迫浓度的关系

Fig.1 The relationship between germination rate and stress concentration

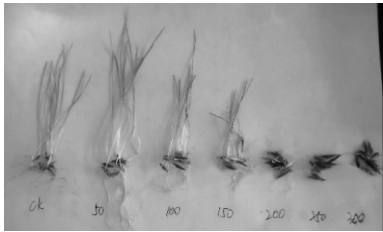


图 2 PEG 胁迫 10 d 后幼苗

Fig.2 Shoot after 10 days under PEG stress

2.2 ⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦苗高和根长的影响

种子萌发后,幼苗和胚根的延伸反映出植物成苗的特性,PEG 胁迫浓度为 10% 时,不同辐射剂量下无芒雀麦幼苗生长状况见图 2。由表 1 可知,PEG

胁迫下,种子的苗高、根长与辐射剂量呈负相关关系。在胁迫处理结束(10 d)后,低剂量辐射(50 ~ 100 Gy)种子苗高高于对照,分别为对照的 0.23 和 0.11 倍,高剂量辐照(150 ~ 300 Gy)低于对照,分别为对照的 0.14、0.33、0.57 和 0.77 倍,与对照差异显著($P \leq 0.05$),且辐射剂量在 50 Gy 和 300 Gy 时达到最大值和最小值。低剂量辐射种子根长高于对照,为对照的 0.21 和 0.12 倍,高剂量辐照(150 ~ 300 Gy)低于对照,为对照的 0.33、0.58 和 0.78 倍,与对照差异显著($P \leq 0.05$)。

2.3 ⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗生物量及含水量的影响

由表 1 可知,PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗,随着辐射剂量的不断增加,幼苗鲜重和干重均有一定程度增加。低剂量辐射(50 Gy 和 100 Gy)高于对照,与对照相比分别增加了 34.18% 和 14.14%,与对照相比差异显著($P \leq 0.05$),干重增加了 4.90% 和 1.80%,且与对照相比无显著差异($P \geq 0.05$)。含水量直接影响植物的生长、营养状况及产量,很容易受到外界因素的影响。低剂量⁶⁰Co-γ 辐照后,含水量有所增加,分别比对照增加了 37.44% 和 15.5%,且与对照相比差异显著($P \leq 0.05$)。

2.4 ⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗细胞膜透性的影响

细胞膜是一种选择透过性膜,它能够控制和调节植物内外的交换和运输,其透性是评价植物对逆境反应的指标之一。细胞膜透性与辐射剂量呈正相关(见表 1),低剂量辐照(50 ~ 100 Gy)低于对照,而高剂量辐照(150 ~ 200 Gy)高于对照,分别增加了 0.49% 和 1.47%,说明高剂量辐射对细胞膜产生了一定的损伤,导致细胞内物质的外渗。

表 1 ⁶⁰Co-γ 辐照对干旱胁迫条件下无芒雀麦苗高、根长、生物量和含水量及细胞膜透性的影响

Table 1 Effect of shoot height、root length、relative water content and call membrane permeability of bromes seedling under PEG stress by ⁶⁰Co-γ-rays

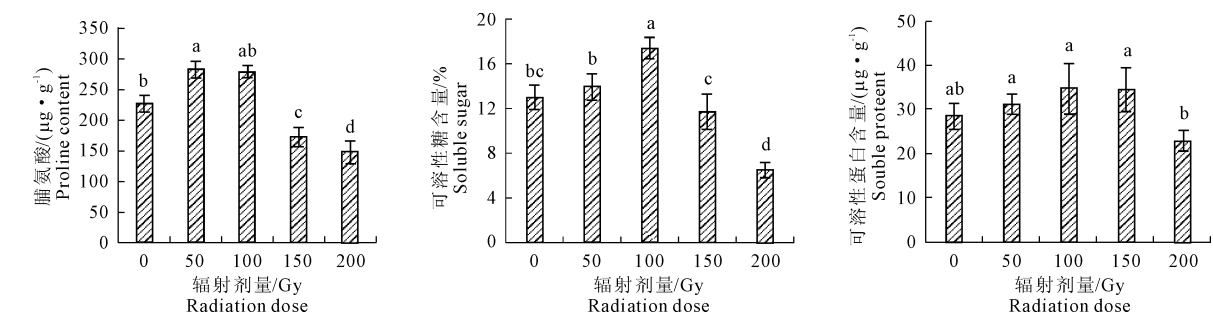
剂量/Gy Dose	苗高/mm Shoot height	根长/mm Root length	鲜质量/mg Fresh weight	干质量/mg Dry weight	含水量/% Water content	细胞膜透性 Call membrane permeability
0	33.43 ± 1.92b	23.99 ± 0.77c	125.80 ± 5.74c	12.20 ± 0.30a	113.56 ± 5.54c	64.34 ± 1.20b
50	40.47 ± 1.10a	29.54 ± 0.55a	168.80 ± 1.30a	12.80 ± 0.30a	156.00 ± 1.03a	63.97 ± 0.80b
100	38.18 ± 1.58b	26.60 ± 0.84b	143.60 ± 6.88b	12.43 ± 0.35a	131.13 ± 6.81b	63.39 ± 1.78b
150	28.68 ± 1.1.3c	19.43 ± 0.94d	100.30 ± 5.62d	9.53 ± 0.25b	90.73 ± 5.80d	65.88 ± 2.69a
200	22.37 ± 1.66d	12.15 ± 1.78e	81.00 ± 9.24e	8.50 ± 0.26c	72.53 ± 9.17e	67.11 ± 3.01a
250	14.13 ± 1.47e	7.64 ± 0.77f	67.90 ± 4.89f	4.76 ± 0.15d	63.16 ± 4.76f	—
300	7.41 ± 0.57f	4.48 ± 0.78g	41.20 ± 2.27g	3.03 ± 00.15e	38.16 ± 2.32g	—

注:表中数据为 3 次重复的平均值;同列不同字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平有显著差异。
Note: The data are averages of three replicates; letters within the same column with different letter mean significant differences at $P < 0.05$ below.

2.5 ⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗渗透调节物质的影响

图 3 表明,⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗渗透调节物质含量的变化趋势均呈现先升后降,剂量在 100 Gy 以下均可促进渗透调节物质含量的增加。剂量在 100 Gy 以下时脯氨酸含量均高于对照,与对照相比上升了 24.54%和 23.03%,随之下 降,剂量在 200 Gy 时达到最小值,与对照相比下降了 34.58%,且与对照差异显著($P\leq0.05$)。剂量在 100 Gy 以下均可促进可溶性糖的含量,与对照相

比分别提高了 7.4%和 34.35%。剂量在 150~200 Gy 时,可溶性糖含量呈下降趋势且均小于对照,与对照相比下降了 9.6%和 50.34%。蛋白质的代谢受多种因素的影响,包括 PEG 胁迫在内的非正常环境条件都会影响细胞内的可溶性蛋白质。剂量在 150 Gy 以下,可溶性蛋白含量均高于对照,与对照相比上升了 9.3%、21.67%和 20.9%,剂量在 200 Gy 时降到最小,与对照相比降低了 19.64%,且与对照无显著性差异($P\geq0.05$)。说明高剂量辐射对渗透调节物质含量具有明显的抑制作用。



注:不同处理不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different treatments with the different letters mean s significant different by Duncan's test $P<0.05$. The same below.

图 3 ⁶⁰Co-γ 辐射对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig.3 The proline、soluble sugar and soluble protein of brome seedling under PEG stress by ⁶⁰Co-γ-rays

2.6 ⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗保护酶系活性的影响

由图 4 可以看出,无芒雀麦幼苗 CAT 活性随着辐射剂量的增加呈现先升后降趋势,剂量在 100 Gy 时,CAT 活性达到最大值,与对照相比提高了 11.82%。剂量为 200 Gy 时显著降低了萌发期的 CAT 活性,较对照下降了 38.83%,与对照间差异显著($P\leq0.05$)。POD 的变化同 CAT 变化趋势相似,随着辐射剂量的增加,POD 活性呈先升后降趋势,剂量在 50~100 Gy 范围内,POD 活性均高于对照,较对照分别提高了 9.70%和 19.72%,且与对照无显著性差异($P\geq0.05$)。辐射剂量为 200 Gy 时,POD

活性达到最低,较对照下降了 35.45%,且与对照差异显著($P\leq0.05$)。各辐射剂量的 SOD 活性的变化趋势呈现先升后降,剂量在 50~150 Gy 范围内,SOD 活性均高于对照,较对照分别提高了 44.49%、25.16%和 12.63%,与对照差异显著($P\leq0.05$),且剂量在 50 Gy 时 SOD 活性升到最大。辐射剂量为 200 Gy 时,SOD 活性降低到最小,较对照下降了 17.83%,且与对照无显著性差异($P\geq0.05$)。由此可见,PEG 模拟水分胁迫下,⁶⁰Co-γ 射线辐射的无芒雀麦种子可以通过增加体内保护酶活性来提高抵抗干旱环境的能力。

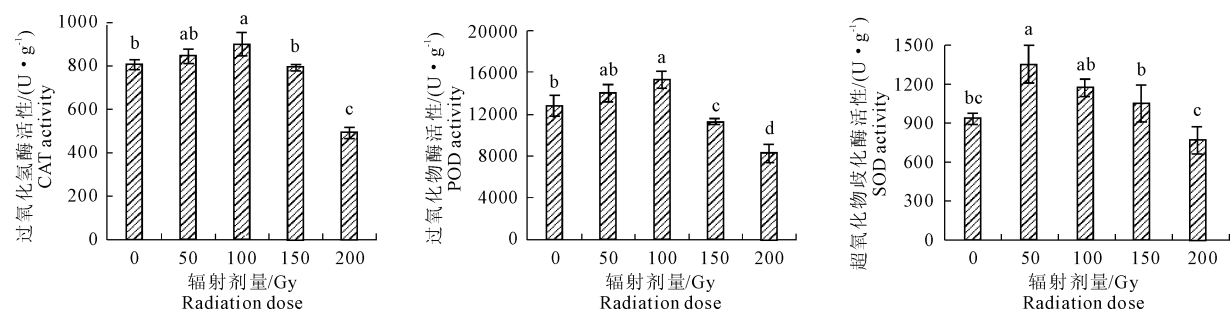


图 4 ⁶⁰Co-γ 辐射对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗 CAT、POD 和 SOD 活性的影响

Fig.4 The CAT、POD and SOD of brome seedling under PEG stress by ⁶⁰Co-γ radiation

2.7 ⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗抗旱性综合分析

⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗抗旱性的影响反映在幼苗的生长、渗透调节物质、膜脂氧化和抗氧化酶的变化。各指标中存在着一定的相关性和差异性,在具体进行植物耐旱性评价时需要综合考虑。辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗在苗高、根长、鲜质量、干质量、含水量、细胞膜透性、可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸、过氧化物酶、过氧化氢酶和

超氧化物歧化酶的变化不同。因此应用单一指标不能准确反映不同⁶⁰Co-γ 辐照剂量对无芒雀麦幼苗抗旱能力的影响,需要用多种指标进行综合评价,将 12 项指标的数据代入隶属函数公式中计算出隶属函数值,其隶属函数值见表 2,隶属函数综合评价值越大说明其抗旱能力越强。4 种辐射剂量下抗旱的强弱顺序为:50 Gy > 10 Gy > 150 Gy > 200 Gy, 50 ~ 100 Gy 辐射剂量能有效提高无芒雀麦的抗旱能力。

表 2 ⁶⁰Co-γ 辐照对干旱胁迫条件下无芒雀麦幼苗 12 项指标的隶属值
Table 2 Subordinations function of ⁶⁰Co - γ irradiation on the 12 indexes of Bromes under PEG stress

辐射剂量 Radiation dosages	隶属函数值 Subordinations function value												平均隶属值 Average subordinate function value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	0.61	0.68	0.51	0.86	0.49	0.74	0.59	0.47	0.58	0.64	0.77	0.29	0.604
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	0.68	0.70	1.00	0.82	0.86	1.00	0.908
100	0.87	0.83	0.71	0.91	0.70	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	0.69	0.892
150	0.35	0.42	0.22	0.24	0.22	0.33	0.48	0.98	0.18	0.43	0.73	0.49	0.423
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

注:1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 为各指标隶属值,包括有苗高,根长,鲜质量,干质量,含水量,细胞膜透性,可溶性糖,可溶性蛋白,脯氨酸,过氧化物酶,过氧化氢酶,超氧化物歧化酶的隶属值。
Note: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 is the subordinate value of each index,including shoot length, root length, fresh weight, dry weight, water content, cell membrane, soluble sugar, soluble protein, proline, POD, CAT and SOD.

3 讨 论

种子萌发是旱生植物生活史中对土壤干旱十分敏感而关键的阶段。在 PEG 环境中,种子能够萌发是植物生长发育的前提。一般而言,随着辐射剂量的增加,突变频率也会随之提高,但过高的辐射剂量会干扰生物体正常生长代谢能力,从而增加畸变率。辐射诱变首先要确定适宜的辐射剂量^[10]。对于不同植物来讲,在 PEG 胁迫下⁶⁰Co-γ 辐照的反应机理不同,从而出现不同的作用机制。PEG 为 10% 胁迫下,无芒雀麦在不同剂量的抗旱性不同,综合分析最适宜的辐射剂量为 50 ~ 100 Gy。

根系是水分胁迫下最敏感的部位,根系的生长发育状况直接影响着其生长与产量的形成。PEG 胁迫下,低剂量辐射促进种子的根系、幼苗生长,从而更好的维持植物中的水分,可能适宜的辐射剂量迫使同化物更多的配合根系的分配,促进了根系的分枝和下扎,这与李文鹤^[11]对野菊的研究结果相似。而高剂量辐射严重抑制植物的生根及生长,导致植物幼苗几乎不生长。

⁶⁰Co-γ 辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗的生物量和含水量产生不同影响。低剂量辐射提高了植物体内的水分,减缓胁迫对植物造成的负面影响,促进了植物对水分和无机养料的吸收,使其鲜重和干

重增加。随着辐射剂量的逐渐增加,无芒雀麦幼苗的鲜重、干重及含水量均呈现下降趋势,说明高辐射抑制植物对水分和无机养料的吸收,导致鲜重和干重均下降。一般认为在干旱环境下能维持较高含水量的品种具有较强的抗旱性^[12],Kaya^[13]等也有类似结果,即能增加玉米叶片的含水量。

当植物受到辐照和胁迫时细胞内活性氧量增加,导致细胞结构改变,膜系统紊乱,进而影响植物的生长发育。渗透调节在植物抗旱中起着至关重要的作用,可通过提高细胞液浓度、降低植物体的渗透势等方法来维持植物正常的生理代谢^[14-15]。可溶性蛋白能够维持细胞内的渗透势、脯氨酸、可溶性糖含量在一定程度上反映了植物的抗逆性,抗性强的品种往往积累较多的渗透调节物质。研究结果表明,渗透调节物质含量的变化趋势与辐射剂量呈负相关,与张玉^[16]、滕娟^[17]等人研究结果相似。在逆境条件下,积累这些物质以适应外界环境的变化,对植物具有保护作用,从而提高植物的抗逆适应性。高剂量⁶⁰Co-γ 射线辐照对 PEG 胁迫下无芒雀麦幼苗细胞膜透性有一定的破坏作用,导致细胞膜透性增加。由此可见,辐射剂量在 100 Gy 以下时无芒雀麦能够积累较多的渗透调节物质,且膜未受到损伤,可抵御干旱环境维持正常的生理代谢,而高剂量辐射不能维持正常的代谢,甚至破坏了膜结构的完整性。

植物在辐射条件下,活性氧自由基的产生能力增强,酶促活性氧自由基清除系统开启^[18]。本研究中,无芒雀麦种子 3 种保护酶(SOD、POD、CAT)活性在干旱环境下辐射响应不同,随辐射剂量的增加整体变化趋势呈先升后降。这与郑宾国^[19]的研究结果一致,辐射剂量在 100 Gy 时,SOD、POD 达到最大值,随之下降,说明低剂量辐射未使得 SOD、POD 酶活性系统受到损坏,可以清除体内过多的氧化性物质,因此酶活性上升。但辐射剂量过大时,SOD、POD 酶活性系统受到损害,逐渐失去抵御氧化性物质的能力。这与何玮对甜高粱的研究结果相符。CAT 活性可作为植物在其的指示性指标,其变化较为敏感。结果显示,低剂量辐射条件下,其幼苗主要靠 3 种保护酶协同作用下,共同消除自由基。但随着剂量的增加,活性氧积累量的增加致使部分酶失活,导致三种酶活性同时出现下降的趋势。

本研究从多项指标综合分析无芒雀麦种子萌发期抗旱性,但由于植物在不同生长阶段抗旱性不尽相同,干旱对⁶⁰Co-γ 辐射无芒雀麦萌发期研究,不能完全代表田间育苗实际情况,还要进一步进行田间苗期耐旱实验。本试验为利用⁶⁰Co-γ 射线辐射来提高无芒雀麦的耐旱性提供了理论依据。

参 考 文 献:

[1] 杨慧玲,曹志平,董 鸣,等.沙埋对无芒雀麦种子萌发和幼苗生长的影响[J].应用生态学报,2007,18(11):2438-2443.

[2] 张 雪,刘青松,师文贵,等.25 份无芒雀麦种质资源遗传多样性的 ISSR 分析[J].中国草地学报,2014,36(3):104-107.

[3] Song J, Ren M, Song C, et al. The effect of ⁶⁰Coγ-rays on the crystal structure, melting and crystallization behavior of poly(butylene succinate)[J]. Polymer International, 2011,53(11):1773-1779.

[4] 陈积山,朱瑞芬,高 超,等.苜蓿和无芒雀麦混播草地种间竞争研究[J].草地学报,2013,21(6):1157-1161.

[5] Shuya Wei, Wei Hu, Xiaomin Deng. A rice calciun – dependent protein ⁶⁰Co-γ positively regulates drought stress tolerance and spikelet fertility[J]. BMC Plant Biology, 2014,(14):133-136.

[6] 张 娜,赵宝平,张艳丽,等.干旱胁迫下燕麦叶片抗氧化酶活性等生理特性变化及抗旱性比较[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):166-171.

[7] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006.

[8] 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.

[9] 熊秋芳,陈玉霞,张雪清,等.⁶⁰Co-γ 辐射对萝卜种子萌发和幼苗生长的影响[J].浙江农业科学,2014,(3):356-359.

[10] Ansari O, Chogazardi H R, Sharifzadeh F, et al. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (Secale montanum) as affected by drought stress[J]. Cercetari Agronomice in Moldova, 2012,45(2):43-48.

[11] 李文鹤,何 淼,卓丽环.PEG-6000 处理对野菊种子萌发期抗旱性的影响[J].种子,2010,29(11):51-54.

[12] 杨玮辰,牛惠杰,张跃进,等.干旱胁迫对蒙古黄芪种子萌发及生长生理的影响[J].种子,2015,34(3):30-35.

[13] Kaya C, Tuna L, H. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress condition[J]. Journal of Plant Nutrition, 2006,29(8):1469-1480.

[14] 高 睿,马 淼,赵红艳.⁶⁰Co-γ 辐射对光果甘草种子耐盐性影响的研究[J].农学报,2016,6(7):77-82.

[15] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell and Environment, 2002,25(2):239-250.

[16] 张 玉,白史旦,李达旭,等.⁶⁰Co-γ 辐射对菊苣种子发芽及幼苗生理的影响[J].草地学报,2013,21(1):147-151.

[17] 滕 娟,熊俊芬,何忠俊,等.⁶⁰Co-γ 辐射对三七幼苗生理特性的影响[J].云南农业大学学报自然科学,2015,30(3):445-449.

[18] 李 波,徐婉玉,彭 丹,等.卫星搭载苜蓿种子叶片愈伤组织对逆境胁迫的响应[J].干旱地区农业研究,2015,33(6):167-171.

[19] 郑宾国,崔节虎,彭伟功,等.不同 γ-射线辐照剂量对鱼腥藻生长及生理特性的影响[J].西北农林科技大学学报自然科学版,2013,41(8):182-188.



(上接第 26 页)

[14] 谭军利,康跃虎,焦艳平,等.滴灌条件下种植年限对大田土壤盐分及 pH 值的影响[J].农业工程学报,2009,25(9):43-50.

[15] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000:14-199.

[16] 何文寿,刘阳春,何进宇.宁夏不同类型盐渍化土壤水溶盐含量与其电导率的关系[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):111-116.

[17] 孙 博,解建仓,汪 妮,等.不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):246-250.

[18] 肖克飏.宁夏银北地区耐盐植物改良盐碱土机理及试验研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.

[19] 颜 宏,赵 伟,尹尚军,等.羊草对不同盐碱胁迫的生理响应[J].草业学报,2006,15(6):49-55.

[20] 郭继勋,祝廷成.羊草草原枯枝落叶分解的研究——枯枝落叶分解与生态环境的关系[J].生态学报,1993,13(3):214-220.

[21] 李志安,邹 碧,丁永祯,等.植物残茬对土壤酸度的影响及其作用机理[J].生态学报,2005,25(9):2382-2388.

[22] 柏会子,王 洋,石 海,等.秸秆不同还田方式对土壤蒸发特性影响[J].土壤与作物,2012,1(4):241-247.

[23] Zhao C Y, Wang Y C, Song Y D, et al. Biological drainage characteristics of alkalized desert soils in north-western China[J]. Journal of Arid Environment, 2004,56(1):1-9.