

化学诱变剂 EMS 和 MNU 对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响

李娟宁¹, 吕英², 赵桂琴¹, 柴继宽¹, 蔺豆豆¹, 王苗苗¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 内蒙古自治区草原工作站, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要:用甲基磺酸乙酯(EMS)、N-甲基-N-亚硝基脲(MNU)2种化学诱变剂,分别对3个燕麦品种(爱沃、陇燕4号、贝勒2代)进行不同浓度、不同时间的浸种诱变处理,测定其发芽率、发芽势和相对致死率、幼苗根长、芽长等指标,探究不同化学诱变剂对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响,筛选半致死处理,为燕麦化学诱变育种提供基础数据。结果表明:诱变剂处理显著影响了燕麦种子萌发和幼苗生长,其中诱变剂浓度的效应远大于处理时间和品种的效应,EMS和MNU浓度所引起的发芽率的差异平方和分别占总平方和的89.51%和62.76%。随着EMS、MNU浓度的增加,燕麦种子的发芽势、发芽率呈下降趋势,相对致死率显著上升。诱变剂对燕麦幼苗生长表现出低浓度促进、高浓度抑制的效应,低浓度下燕麦根长和芽长显著大于对照,高浓度下则明显降低。燕麦品种对诱变剂的反应不尽相同,爱沃的耐受性最好,贝勒2代对诱变剂处理最敏感。EMS处理下,爱沃的半致死最佳处理组合是0.25%/17h和0.75%/14h;陇燕4号的是0.25%/17h、0.50%/14h和0.75%/5h;贝勒2代的分别为0.25%/11h、0.50%/8h和0.75%/5h。MNU处理,爱沃的最佳半致死处理组合为0.30%/8h,陇燕4号为0.25%/11h,贝勒2代为0.20%/11h。

关键词:燕麦种子;化学诱变剂;发芽率;幼苗生长;半致死处理

中图分类号:S544.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)03-0108-11

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.03.016

燕麦(*Avena sativa*)又称玉麦、铃铛麦,是禾本科燕麦属一年生草本植物,也是优质的粮饲兼用作物,在营养、保健和饲用等方面具有较高的价值,全世界5大洲42个国家都有分布^[1]。近年来我国对燕麦的需求不断攀升,进一步推动了燕麦产业的发展。但我国燕麦品种较为单一,满足不同需求的专用品种少,引进品种也因适应性、知识产权等问题难以进一步发挥作用。

因此,开展快速有效的育种、创制不同类型的种质、培育不同用途燕麦新品种迫在眉睫^[2]。目前国内燕麦新品种选育主要是常规方法,如人工杂交^[3]、系统选育^[4]等,创造的变异有限、工作量大、耗时较长。与这些方法相比较,化学诱变具有操作简单、成本低廉、突变性状稳定,可以有效解决种质资源单一等优点,是创造植物新种质和选育新品种的有效方法之一^[6]。化学诱变可使植物形成自然界没有的或常规方法较难获得的新性状和新基因^[10],同时还避免了转基因等分子育种手段在安全性等方面的问题^[11]。

在众多的化学诱变剂中,甲基磺酸乙酯(EMS)和N-甲基-N-亚硝基脲(MNU)是比较常见的两种化学诱变剂,广泛应用于小麦^[12]、大麦^[13]、玉米^[14]、水稻^[15]等化学诱变育种。EMS不同浓度和处理时间对西农99、西农979、西农977和小偃22小麦品种的诱变,发现

收稿日期:2020-08-24; 修回日期:2021-04-29

基金项目:甘肃省重大专项(19ZD2NA002-3);国家燕麦荞麦产业体系(CARS-7-C)

作者简介:李娟宁(1993-),女,甘肃会宁人,在读硕士。

E-mail:1246577352@qq.com

赵桂琴为通讯作者。

E-mail:zhaogq@gsau.edu.cn

相对发芽率随着 EMS 浓度和处理时间的增加而降低,不同处理间差异较大,相对发芽率为 50.00% 时 4 个品种的最佳处理组合分别为 1.00%/10 h, 1.00%/8 h, 1.00%/12 h, 1.00%/12 h^[16]。0.40% EMS 处理浙农大 3 号大麦种子 16 h, 发现种子受损严重, 发芽率显著降低, M₁ 代中部分植株产生致死突变, 出苗率较低^[17]。0.05% 和 0.10% MNU 处理 3 个早稻品种(湘早籼 33 号、R974、R402) 和 3 个晚稻品种(明恢 63、R259、湘晚籼 13 号) 12 h, 发现水稻发芽指数和活力指数比对照降低, 但根长、芽长较对照增加^[18]。用 0.10% MNU 处理 14 个不同粒型和熟期的黑龙江水稻品种 16 h, 发现出苗时间普遍推迟 3~4 d, 发芽率较对照显著降低, 其中 6 个品种的发芽率与对照差值均达 60.00% 以上^[19]。不同化学诱变剂、同一诱变剂不同处理对不同作物或同一作物不同品种的诱变效应各不相同。

在燕麦的化学诱变研究方面, 霍朋杰^[20]研究了 EMS 不同浓度和处理时间对花早 2 号品种的诱变效果, 发现在 EMS 浓度和处理时间对燕麦种子发芽率的影响达显著水平 ($P < 0.05$)。当 EMS 浓度为 0.70% 处理 15 h 时, 花早 2 号的相对发芽率约为 50.00%。张娜等^[21]研究表明, 用 0.80% EMS 处理白燕 2 号燕麦种子 8 h, 构建的突变体库 M₂ 代个体间表现出了丰富的遗传变异, 总变异频率为 7.17%。以不同燕麦品种为材料, 用 EMS 和 MNU 对燕麦种子进行处理, 比较 2 种诱变剂对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响, 分析不同品种对诱变处理的反应, 筛选半致死处理, 为进一步开展燕麦化学诱变育种提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 试验地点和材料

试验在甘肃农业大学草业学院实验室进行, 供试材料为燕麦品种爱沃、陇燕 4 号和贝勒 2 代, 均由甘肃农业大学草业学院提供。

1.2 供试药剂

EMS, 由英国 Johnson Matthey 公司生产; MNU 由美国 SIGMA-ALDRICH 公司生产, 以上试剂均为分析纯试剂。

1.3 试验设计

1.3.1 诱变剂处理 EMS 处理: 设 5 个 EMS 浓度梯度(0.00%、0.25%、0.50%、0.75%、1.00%, 用 pH =

7 的磷酸缓冲溶液配制), 6 个时间梯度(5, 8, 11, 14, 17, 20 h), 重复 3 次, 共计 90 个处理。每个处理选取籽粒饱满、大小一致的 300 粒种子分别放入网袋中, 在 4℃ 下用蒸馏水浸泡 14 h, 取出后在室温下 4 h 沥干, 放入编号的玻璃瓶, 加入 50 mL EMS-磷酸缓冲液置于摇床上, 黑暗环境下分别震荡 5、8、11、14、17、20 h, 然后装入新的网袋用流水冲洗 4 h 后沥干水分, 4℃ 下静置 12 h 待用。对照用磷酸缓冲液处理。

MNU 处理: 设 4 个 MNU 浓度梯度(0.00%、0.20%、0.25%、0.30%, 用 pH=7 的磷酸缓冲溶液配制), 3 个时间梯度(8、11、14 h), 重复 3 次, 共 36 个处理。每个组合选取籽粒饱满、大小一致的 300 粒种子分别放入网袋, 在 4℃ 下用蒸馏水浸泡 12 h, 取出后在室温下 4 h 沥干, 分别放入编了号的玻璃瓶中, 加入 50 mL MNU 磷酸缓冲液, 置于摇床上, 轻柔震荡 8、11、14 h, 然后装入新的网袋用流水冲洗 4 h 后沥干水分, 4℃ 下静置 12 h 待用。对照用磷酸缓冲液处理。

1.3.2 种子萌发 将经诱变剂处理的燕麦种子 100 粒均匀置于直径 9 cm、垫有双层滤纸的培养皿中, 然后置于 25℃、12 h 光照/12 h 黑暗、湿度 80% 恒温培养箱中进行发芽试验。统计每天种子发芽数^[22], 第 5 d 测定发芽势, 第 10 d 试验结束后测定发芽率, 每处理取 10 株幼苗测定芽长和根长^[23], 计算相对致死率。

1.4 测定指标及方法

发芽势 = 高峰时发芽种子总数 / 种子总数 × 100%

发芽率 = 发芽种子总数 / 种子总数 × 100%

相对致死率(%) = (对照组发芽率 - 处理组的发芽率) / 对照组的发芽率 × 100%^[12]

根长和芽长: 随机选取长势一致的燕麦幼苗 10 株, 用直尺测量读数, 取平均值

1.5 数据处理

试验采用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理, 用 SPSS 19.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 EMS 对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响

2.1.1 EMS 对燕麦种子萌发的影响 对 EMS 不同处理下燕麦品种的发芽势、发芽率和相对致死率进行方差分析(表 1), 发现处理浓度、时间和品种及其两两交互作用和三者的交互作用均对燕麦种子的发芽势、发芽率和相对致死率有极显著影响 ($P < 0.01$)。品

种、浓度、时间、品种×浓度、品种×时间、浓度×时间和品种×浓度×时间所引起的发芽率的差异平方和分别占总平方和的 1.77%、89.51%、6.38%、1.37%、0.16%、0.67%和 0.15%，所引起的相对致死率的差

异平方和分别占总平方和的 3.49%、89.14%、4.95%、1.38%、0.18%、0.72%和 0.14%，表明诱变剂浓度是造成发芽率和相对致死率差异的最主要因子，其次是处理时间。对发芽势的影响也是如此。

表 1 不同 EMS 处理下燕麦种子发芽势、发芽率和相对致死率的方差分析

Table 1 Variance analysis of germination rate, germination potential and relative lethality of oat seed under EMS treatments

变异来源	发芽率				发芽势				相对致死率			
	DF	MS	F	Sig.	DF	MS	F	Sig.	DF	MS	F	Sig.
品种	2	714.85	392.63	0.00	2	1 007.49	574.77	.000	2	1927.50	872.14	0.00
浓度	4	36 226.24	19 897.1	0.00	4	34 490.30	19 676.9	.000	4	49215.38	22 268.67	0.00
时间	5	2 582.25	1 418.29	0.00	5	2 296.84	1 310.36	.000	5	2730.14	1 235.32	0.00
品种×浓度	8	554.92	304.79	0.00	8	542.26	309.36	.000	8	761.55	344.58	0.00
品种×时间	10	64.26	35.29	0.00	10	56.18	32.05	.000	10	99.40	44.978	0.00
浓度×时间	20	269.14	147.82	0.00	20	220.92	126.04	.000	20	390.78	176.82	0.00
品种×浓度×时间	40	60.28	33.11	0.00	40	116.91	66.70	.000	40	78.03	35.31	0.00

诱变剂处理对燕麦种子的萌发有显著影响，最低 EMS 浓度(0.25%)也降低了种子发芽势和发芽率。随着 EMS 浓度的进一步增大，3 个燕麦品种的发芽势和发芽率进一步急剧下降。当浓度增大至 1.00% 时，发芽势降至 0%~36.25%，发芽率降至 0%~45.75%，相对致死率增至 49.45%~100%。同一浓度下，随着处理时间的延长，燕麦种子的发芽势和发芽率也显著降低(表 2)。

3 个品种对同一处理的反应也有明显差异。低浓度(0.25%)处理 5 h，爱沃的发芽率为 79.50%，和对照相比差异显著，相对致死率为 8.04%；陇燕 4 号的发芽率由对照的 80.00% 以上降至 64.00%，相对致死率达 24.48%；贝勒 2 代发芽率 77.00%，相对致死率为 14.90%。但当处理时间延长至 20 h 时，3 个

品种的发芽率差异很小(40.50%~43.75%)，相对致死率以贝勒 2 代为最高(52.34%)。另外，和爱沃相比，陇燕 4 号和贝勒 2 代在处理时间从 11 h 延长至 20 h 时，发芽率和相对致死率无显著变化，而爱沃的发芽率由 76% 降至 43%，相对致死率从 9.52% 增至 44.86%。

中浓度(0.50%)处理下 3 个品种的发芽率变幅相近，处理时间从 5 h 延长至 20 h，各品种的发芽率降幅均在 20.00 个百分点左右；但贝勒 2 代的相对致死率在各个时间点均显著高于其他 2 个品种。而当 EMS 浓度进一步增至 0.75% 时，爱沃随着处理时间的延长发芽率降幅最小(由 44.33% 降至 37.50%)；陇燕 4 号降幅最大(由 44.00% 降至 31.75%)，相对致死率增幅也最大(由 49.70% 增至 62.26%)。

表 2 不同 EMS 处理对燕麦种子萌发的影响

Table 2 Effects of EMS treatment on oat seed germination

浓度/%	时间/h	爱沃			陇燕 4 号			贝勒 2 代		
		发芽势/%	发芽率/%	相对致死率/%	发芽势/%	发芽率/%	相对致死率/%	发芽势/%	发芽率/%	相对致死率/%
0.00	5	79.50 ^b	86.50 ^a	—	84.50 ^a	84.75 ^{bc}	—	87.00 ^b	90.50 ^a	—
	8	86.00 ^a	86.50 ^a	—	82.25 ^{ab}	84.00 ^c	—	91.25 ^a	91.25 ^a	—
	11	75.50 ^c	84.00 ^a	—	77.00 ^d	84.33 ^c	—	87.75 ^b	91.33 ^a	—
	14	73.25 ^{cd}	80.50 ^b	—	79.25 ^{cd}	88.75 ^a	—	90.00 ^a	90.50 ^a	—
	17	84.00 ^a	85.00 ^a	—	80.50 ^{bc}	86.75 ^{ab}	—	82.75 ^c	88.00 ^b	—
	20	72.00 ^d	78.00 ^{bc}	—	78.25 ^{cd}	80.75 ^d	—	79.00 ^d	85.00 ^c	—
0.25	5	75.00 ^c	79.50 ^b	8.04 ^o	63.25 ^e	64.00 ^e	24.48 ^p	73.00 ^e	77.00 ^d	14.90 ^m
	8	68.75 ^e	75.50 ^c	12.74 ⁿ	55.00 ^e	55.25 ^h	34.24 ⁿ	37.75 ^{hij}	67.33 ^e	26.19 ^l

续表 2

浓度/%	时间/h	爱沃			陇燕 4 号			贝勒 2 代		
		发芽势/ %	发芽率/ %	相对致 死率/%	发芽势/ %	发芽率/ %	相对致 死率/%	发芽势/ %	发芽率/ %	相对致 死率/%
0.50	11	68.50 ^c	76.00 ^c	9.52 ^o	43.25 ⁱ	43.75 ^k	48.12 ^{jk}	44.25 ^g	45.67 ^e	49.98 ^j
	14	61.00 ^f	68.00 ^d	15.53 ^m	43.25 ⁱ	43.25 ^k	48.31 ^{jk}	39.75 ^h	40.67 ^h	55.06 ^h
	17	44.75 ^{ij}	45.50 ^{ijkl}	49.44 ^{fgh}	39.50 ^{kl}	42.25 ^{kl}	49.65 ^{ij}	38.50 ^{hi}	46.00 ^e	47.73 ^j
	20	35.50 ^m	43.00 ^{ijkl}	44.86 ⁱ	42.75 ^{ij}	43.75 ^k	45.82 ^{kl}	37.50 ^{ijk}	40.50 ^h	52.34 ⁱ
	5	58.25 ^g	66.00 ^{de}	23.64 ^l	54.75 ^e	60.75 ^f	28.32 ^o	53.00 ^f	57.00 ^e	37.02 ^k
	8	62.75 ^f	64.67 ^e	25.16 ^l	58.00 ^f	58.50 ^g	34.34 ⁿ	44.50 ^g	45.75 ^e	49.86 ^j
	11	56.25 ^g	57.50 ^f	31.54 ^k	47.00 ^h	51.50 ⁱ	41.93 ^m	30.75 ^m	39.00 ^h	57.28 ^{gh}
	14	49.25 ^h	54.75 ^e	31.98 ^k	44.00 ⁱ	48.00 ^j	49.85 ^{ij}	35.50 ^{kl}	39.67 ^h	56.17 ^h
0.75	17	50.50 ^h	52.00 ^h	38.85 ⁱ	41.50 ^{ijk}	43.25 ^k	50.95 ^{hi}	30.50 ^m	34.00 ^j	61.36 ^f
	20	46.00 ⁱ	46.00 ⁱ	41.00 ⁱ	40.50 ^{ijkl}	40.50 ^{lm}	51.46 ^{hi}	34.00 ^l	34.00 ^j	60.01 ^f
	5	42.00 ^{kl}	44.33 ^{ijk}	48.76 ^{gh}	41.50 ^{ijk}	44.00 ^{kl}	49.79 ^{ij}	30.00 ^m	39.50 ^h	56.36 ^l
	8	43.25 ^{jk}	44.33 ^{ijk}	48.79 ^{gh}	37.00 ^{mn}	38.75 ^{mn}	53.86 ^{gh}	31.25 ^m	36.50 ⁱ	60.00 ^f
	11	43.25 ^{jk}	44.75 ^{ij}	46.73 ^{hi}	38.25 ^{lm}	38.50 ^{mn}	54.35 ^e	30.75 ^m	36.67 ⁱ	59.86 ^f
	14	40.25 ^l	40.67 ^l	49.48 ^{fgh}	35.50 ⁿ	37.00 ⁿ	56.44 ^e	35.50 ^{kl}	37.00 ⁱ	59.12 ^{fg}
	17	41.00 ^{kl}	41.67 ^{kl}	50.97 ^{fg}	28.50 ^o	32.75 ^o	62.26 ^f	30.00 ^m	30.00 ^k	65.91 ^e
	20	36.50 ^m	37.50 ^m	51.91 ^f	20.00 ^p	31.75 ^o	60.69 ^f	31.00 ^m	34.00 ^j	59.98 ^f
1.00	5	30.75 ⁿ	31.00 ⁿ	64.12 ^e	17.00 ^q	25.50 ^p	69.92 ^e	36.25 ^{jk}	45.75 ^e	49.45 ^j
	8	19.00 ^o	19.20 ^o	77.80 ^d	18.75 ^q	20.00 ^q	76.20 ^d	27.50 ⁿ	30.67 ^k	66.39 ^e
	11	14.25 ^p	15.67 ^p	81.35 ^c	13.00 ^r	15.25 ^r	81.92 ^c	21.00 ^o	27.00 ^l	70.44 ^d
	14	11.75 ^q	12.50 ^q	84.48 ^b	5.50 ^s	9.33 ^s	86.79 ^b	6.00 ^p	11.00 ^m	87.85 ^c
	17	0.00 ^r	0.00 ^r	100.00 ^a	1.75 ^t	0.25 ^t	99.61 ^a	0.33 ^q	4.00 ⁿ	95.45 ^b
	20	0.00 ^r	0.00 ^r	100.00 ^a	0.25 ^t	0.25 ^t	99.69 ^a	0.00 ^q	0.00 ^o	100.00 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

高浓度 EMS 严重影响了燕麦种子萌发,导致相对致死率急剧增大。1.00% EMS 处理下,燕麦种子发芽率降至 45.00% 以下,随着处理时间的延长燕麦种子不能萌发,相对致死率达 100.00%。

另外,3 个品种达到相对致死率 50.00% 的处理也各不相同。对爱沃而言,0.25% EMS 处理 17 h、0.75% EMS 处理 14 h 的相对致死率最接近 50.00%,分别为 49.44% 和 49.48%。陇燕 4 号最接近 50% 相对致死率的处理分别为 0.25% EMS 处理 17 h(相对致死率为 49.65%)、0.50% EMS 处理 14 h(49.85%)、以及 0.75% EMS 处理 5 h(49.79%)。贝勒 2 代最接近 50.00% 相对致死率的处理分别为 0.25% EMS 处理 11 h、0.50% EMS 处理 8 h 和 0.75% EMS 处理 5 h,3 个处理的相对致死率分别为 49.98%、49.86% 和 49.45%。

2.1.2 EMS 对燕麦幼苗生长的影响 EMS 不仅严重抑制燕麦种子萌发,还极大地影响了燕麦幼苗的生长。燕麦品种、EMS 浓度和处理时间、两两互作以及

三者的互作对燕麦幼苗根长和芽长的影响都达到了极显著水平($P < 0.01$)。3 个因素中,EMS 浓度的影响最大,其次是处理时间,品种的影响相对较小。在各个互作中,也以浓度和处理时间的互作对各指标的影响最大(表 3)。

低浓度的 EMS 有促进燕麦幼苗生长的作用,高浓度则显著抑制了燕麦生长,其根长和芽长急剧降低(表 4)。和对照相比,0.50% 以内的 EMS 显著促进了燕麦的根长和芽长,0.75% EMS 处理下总体较对照稍有下降,1.00% EMS 处理则严重抑制了燕麦生长,根长和芽长急剧降低,甚至种子不能萌发。

不同品种在同一浓度下随着处理时间的延长,生长的变化情况各异。爱沃的根长在 0.25% 和 0.50% EMS 处理下的各个时间点之间没有显著差异,为 7.66 ~ 8.45 cm;芽长则发生了显著变化,最长为 9.92 cm,最短为 7.37 cm,相差 34.60%。陇燕 4 号芽长的变化趋势与之类似,但根长(8.92 ~ 9.97 cm)变幅只有 11.77%。贝勒 2 代根长和芽长的变幅都较小。当

EMS 浓度增至 0.75% 时,随着处理时间的延长,燕麦幼苗的根长和芽长均显著缩短。3 个品种中,陇燕 4 号的根长和芽长降幅最大,分别由处理 5 h 时的 8.12

cm 和 8.64 cm 降至 20 h 时的 6.60 cm 和 7.15 cm。另外,和陇燕 4 号(18.72%)、贝勒 2 代(17.28%)相比,爱沃的根长变幅最小,只有 8.65%(表 4)。

表 3 EMS 处理下燕麦幼苗根长和芽长的方差分析

Table 3 Variance analysis of root length and shoot length of oat seedling under the EMS treatment

变异来源	根长				芽长			
	DF	MS	F 值	Sig.	DF	MS	F 值	Sig.
品种	2	279.24	50.22	0.00	2	82.72	9.55	0.00
浓度	4	31 703.12	5 702.04	0.00	4	33 111.40	3 821.87	0.00
时间	5	967.84	174.07	0.00	5	1 483.89	171.28	0.00
品种×时间	8	59.79	10.75	0.00	8	24.01	2.77	0.01
品种×浓度	10	15.81	2.84	0.00	10	35.16	4.06	0.00
浓度×时间	20	328.29	59.04	0.00	20	850.10	98.12	0.00
品种×浓度×时间	40	19.82	3.57	0.00	40	26.40	3.05	0.00

表 4 不同 EMS 处理对燕麦幼苗根长和芽长的影响

Table 4 Effects of EMS treatment on root and shoot length of oat seedlings

EMS 浓度/%	时间/h	爱沃		陇燕 4 号		贝勒 2 代	
		根长/cm	芽长/cm	根长/cm	芽长/cm	根长/cm	芽长/cm
0.00	5	7.11 ^{bc}	8.36 ^{bc}	7.01 ^{bc}	8.26 ^{bc}	7.17 ^{cd}	8.64 ^b
	8	7.11 ^{bc}	8.35 ^{bc}	7.07 ^{bc}	8.31 ^{bc}	7.03 ^{cd}	8.40 ^{bc}
	11	7.10 ^{bc}	8.25 ^{bc}	7.06 ^{bc}	8.60 ^{bc}	7.19 ^{cd}	8.60 ^b
	14	7.11 ^{bc}	8.24 ^{bc}	7.11 ^{bc}	8.34 ^{bc}	7.34 ^c	8.24 ^{bc}
	17	6.98 ^{bc}	8.18 ^{bc}	7.00 ^{bc}	8.22 ^{bc}	7.09 ^{cd}	8.68 ^b
	20	6.84 ^c	7.91 ^c	7.07 ^{bc}	8.97 ^b	7.21 ^{cd}	8.62 ^b
0.25	5	8.18 ^{ab}	9.05 ^b	8.13 ^a	9.29 ^{ab}	8.23 ^{ab}	9.54 ^{ab}
	8	8.21 ^{ab}	8.99 ^b	8.15 ^a	8.92 ^b	8.90 ^{ab}	9.33 ^{ab}
	11	8.25 ^{ab}	8.53 ^{bc}	8.17 ^a	9.19 ^{ab}	8.53 ^{ab}	9.06 ^{ab}
	14	8.23 ^{ab}	8.68 ^{bc}	8.10 ^a	9.18 ^{ab}	8.54 ^{ab}	8.99 ^{ab}
	17	7.98 ^{ab}	9.01 ^{ab}	7.92 ^{ab}	8.98 ^b	8.32 ^{ab}	9.02 ^{ab}
	20	7.83 ^{ab}	8.99 ^b	7.92 ^{ab}	8.96 ^b	8.50 ^{ab}	8.99 ^{ab}
0.50	5	8.06 ^{ab}	9.67 ^{ab}	8.06 ^a	9.54 ^{ab}	8.69 ^{ab}	9.56 ^{ab}
	8	8.17 ^{ab}	9.34 ^{ab}	8.10 ^a	9.32 ^{ab}	9.04 ^{ab}	9.15 ^{ab}
	11	8.45 ^a	9.23 ^{ab}	8.18 ^a	9.08 ^b	9.14 ^a	8.88 ^{ab}
	14	8.26 ^{ab}	9.92 ^a	8.24 ^a	9.97 ^a	8.68 ^{ab}	9.63 ^a
	17	7.92 ^{ab}	9.50 ^{ab}	7.59 ^{ab}	9.29 ^{ab}	8.33 ^{ab}	9.65 ^a
	20	7.66 ^{ab}	9.03 ^b	7.29 ^b	9.10 ^b	8.18 ^b	9.23 ^{ab}
0.75	5	7.63 ^b	8.71 ^{bc}	8.12 ^a	8.64 ^{bc}	8.10 ^{bc}	8.75 ^{ab}
	8	7.54 ^{bc}	8.30 ^{bc}	8.08 ^a	8.38 ^{bc}	8.04 ^{bc}	8.42 ^{bc}
	11	7.53 ^{bc}	8.27 ^{bc}	8.03 ^a	8.33 ^{bc}	7.79 ^{bc}	8.26 ^{bc}
	14	7.51 ^{bc}	8.15 ^{bc}	7.28 ^b	8.16 ^c	7.49 ^{bc}	7.99 ^{bc}
	17	7.30 ^{bc}	7.90 ^c	7.02 ^{bc}	7.83 ^{cd}	7.34 ^c	7.84 ^c
	20	6.97 ^{bc}	7.37 ^c	6.60 ^c	7.15 ^d	6.70 ^d	7.41 ^c
1.00	5	3.94 ^d	5.99 ^d	3.99 ^d	5.89 ^e	4.45 ^e	6.91 ^d
	8	3.50 ^e	4.64 ^e	3.59 ^e	4.57 ^f	3.84 ^f	4.79 ^e
	11	3.01 ^f	4.15 ^e	3.09 ^f	4.05 ^h	2.99 ^g	4.03 ^f
	14	2.62 ^g	4.05 ^f	2.46 ^g	3.12 ⁱ	2.34 ^h	3.35 ^g
	17	0.00 ^h	0.00 ^g	1.59 ^h	1.07 ^j	1.55 ⁱ	2.24 ^h
	20	0.00 ^h	0.00 ^g	1.05 ⁱ	0.74 ^k	0.00 ^j	0.00 ⁱ

2.2 MNU 对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响

2.2.1 MNU 对燕麦种子萌发的影响 对 MNU 不同处理组合下燕麦种子萌发指标进行方差分析,结果表明,品种、浓度、处理时间及其两两互作和三者互作均极显著($P < 0.01$)影响了燕麦种子的发芽势、发芽率和相对致死率(表 5)。在所有变异来源中,浓度所

引起的发芽率、发芽势和相对致死率的差异平方和占总平方和的比例最大,分别为 62.76%、63.71%和 64.45%;其次为品种,占比分别为 21.15%、19.27%和 20.72%;处理时间居第 3,所引起的发芽率、发芽势和相对致死率的差异平方和占总平方和的比例分别为 8.89%、9.21%和 7.74%。

表 5 不同 MNU 处理下燕麦种子发芽势、发芽率和相对致死率的方差分析

Table 5 Variance analysis of germination potential, germination rate and relative mortality of oat seeds under the MNU treatment

变异来源	发芽率				发芽势				相对致死率			
	DF	MS	F	Sig.	DF	MS	F	Sig.	DF	MS	F	Sig.
品种	2	5 086.90	1 226.42	.000	2	4 074.44	7 851.31	.000	2	5 259.360	1 145.42	.000
浓度	3	15 093.94	3 639.05	.000	3	13 471.6	25 959.27	.000	3	16 357.56	3 562.46	.000
时间	2	2 137.74	515.39	.000	2	1 946.55	3 750.93	.000	2	1 964.96	427.94	.000
品种×浓度	6	855.64	206.29	.000	6	1 063.30	2 048.93	.000	6	946.25	206.08	.000
品种×时间	4	429.77	103.62	.000	4	261.64	504.17	.000	4	367.94	80.13	.000
浓度×时间	6	362.08	87.29	.000	6	142.80	275.17	.000	6	392.46	85.47	.000
品种×浓度×时间	12	84.70	20.42	.000	12	186.15	358.71	.000	12	91.10	19.84	.000

MNU 处理显著降低了燕麦种子的发芽势和发芽率。随着处理浓度的增加,燕麦种子发芽势和发芽率急剧下降,相对致死率显著上升。0.25%浓度下,3 个燕麦品种的发芽率由原来的 92.67%~98.67%下降至 40.00%~85.00%。当 MNU 浓度增至 0.30%时,发芽率进一步降至 20.00%~54.75%。同一浓度下,随着处理时间的延长,燕麦种子发芽率总体呈下降趋势(表 6)。

品种对 MNU 处理的反应不尽相同。低浓度(0.20%)处理 8 h,爱沃的发芽率为 94.33%,和对照无显著差异,相对致死率仅为 2.07%;而贝勒 2 代的

发芽率已由对照的 96.33%降至 72.50%,相对致死率达 24.74%;随着处理时间延长至 14 h,爱沃仍有 80.33%的发芽率,相对致死率为 15.88%,贝勒 2 代发芽率已降至 48.00%,相对致死率升至 48.21%。陇燕 4 号在 0.20%的浓度下随处理时间的延长其变化剧烈,发芽率由 8 h 时的 85.67%降至 14 h 的 45.00%,相对致死率由 13.18%增至 52.97%。

0.25%MNU 浓度下,3 个品种发芽率的变化趋势与低浓度下相似,依然是爱沃的发芽率最高且随处理时间延长无明显下降,贝勒 2 代的发芽率最低。陇燕 4 号对处理时间的延长最敏感,从 8h 时的 82.33%降

表 6 不同 MNU 诱变处理下燕麦种子萌发指标

Table 6 Effects of the MNU treatment on oat seed germination

EMS 浓度/%	时间/h	爱沃			陇燕 4 号			贝勒 2 代		
		发芽势/%	发芽率/%	相对致死率/%	发芽势/%	发芽率/%	相对致死率/%	发芽势/%	发芽率/%	相对致死率/%
0.00	8	94.00 ^a	96.33 ^{ab}	—	90.50 ^b	98.67 ^a	—	92.75 ^a	96.33 ^a	—
	11	82.00 ^d	97.67 ^a	—	88.25 ^c	95.33 ^a	—	89.00 ^b	97.50 ^a	—
	14	85.00 ^c	95.50 ^b	—	93.25 ^a	95.67 ^a	—	83.00 ^c	92.67 ^b	—
0.20	8	78.75 ^{ef}	94.33 ^b	2.07 ^h	75.00 ^e	85.67 ^b	13.18 ^d	67.75 ^d	72.50 ^c	24.74 ^h
	11	88.50 ^b	89.67 ^c	8.14 ^g	43.25 ^g	47.67 ^d	50.07 ^{bc}	44.25 ^g	48.33 ^c	50.43 ^e
	14	80.00 ^e	80.33 ^e	15.88 ^{de}	43.25 ^g	45.00 ^{de}	52.97 ^{ab}	49.75 ^e	48.00 ^e	48.21 ^f
0.25	8	84.75 ^c	85.00 ^d	11.75 ^f	79.50 ^d	82.33 ^b	16.56 ^d	48.50 ^f	57.00 ^d	40.83 ^g
	11	75.50 ^g	85.00 ^d	12.92 ^{ef}	42.75 ^g	48.00 ^d	49.64 ^{bc}	37.50 ^h	40.33 ^f	58.64 ^c
	14	78.25 ^f	80.00 ^e	16.23 ^d	34.75 ^j	40.67 ^e	57.49 ^a	33.00 ⁱ	40.00 ^f	56.83 ^d
0.30	8	42.75 ^h	48.00 ^g	50.17 ^b	48.00 ^f	54.33 ^c	44.94 ^c	30.00 ^j	30.33 ^g	68.51 ^b
	11	36.25 ⁱ	40.00 ^h	59.01 ^a	37.00 ^j	40.00 ^e	58.04 ^a	20.00 ^j	20.67 ^h	78.80 ^a
	14	39.25 ^j	54.75 ^f	42.67 ^c	40.00 ^h	39.00 ^e	58.19 ^a	15.50 ^l	20.00 ^h	78.41 ^a

至 14 h 时的 40.67%。相对致死率也发生了相应变化,爱沃的最低,贝勒 2 代的最高。

当 MNU 浓度进一步增加至 0.30% 时,燕麦种子的发芽率降至最低(20.00%~54.75%)。3 个品种中爱沃的降幅最大,相对致死率增至 42.67%~59.01%;贝勒 2 代的发芽率为 20.00%~30.33%,相对致死率高达 68.51%~78.80%。陇燕 4 号在 8 h 处理下发芽率(54.33%)高于爱沃(48.00%),相对致死率(44.94%)低于爱沃(50.17%),11 h 处理下无明显差异,14 h 下发芽率显著低于爱沃,相对致死率高于爱沃。

爱沃对诱变剂处理的耐受性较好,发芽率随浓度的增加和处理时间的延长下降比较缓慢,贝勒 2 代最为敏感,相对致死率最高。另外,3 个品种达到相对致死率 50.00% 的处理也各不相同。爱沃的最相近处理为 0.30%/8 h(相对致死率 50.17%),贝勒 2 代的为 0.20%/11 h(相对致死率 50.43%),陇燕 4 号的最相近处理为 0.20%/11 h 和 0.25%/11 h(相对致死率分别为 50.07%和 49.64%)。

2.2.2 MNU 诱变对燕麦幼苗生长的影响 MNU 处理显著影响了燕麦幼苗的生长(表 7)。在燕麦品种、EMS 浓度和处理时间、两两互作以及三者的互作等变异来源中,浓度对燕麦幼苗根长和芽长的影响最大,其所引起的根长、芽长的差异平方和占总平方和的比例分别为 93.26%和 93.72%,是最主要的影响因素。另外还可以看出,处理时间对根长无明显影响,但极显著影响芽长。在所有的交互作用中,只有浓度和时间的互作对根长和芽长的影响达显著水平,其余互作并无影响。

与 MNU 对发芽率的抑制作用不同,一定浓度的 MNU 有促进燕麦根、芽生长的作用(表 8)。MNU 浓度增加到 0.20% 时,燕麦的根长和芽长均较对照有显著增加。随着 MNU 浓度进一步增至 0.25%,燕麦幼苗的根长和芽长进一步明显增加。最高浓度下,燕麦生长受抑,根长芽长降低,且大多低于对照。另外,同一浓度下,随着处理时间的延长,根长和芽长的变化不尽相同。0.20% 浓度下,随着处理时间由 8h 延长至

表 7 MNU 诱变剂处理下燕麦根长和芽长的方差分析

Table 7 Analysis of variance of root length and shoot length of oat seedlings under the MNU treatment

变异来源	根长				芽长			
	DF	MS	F 值	Sig.	DF	MS	F 值	Sig.
品种	2	31.23	4.07	0.02	2	14.48	3.56	0.03
浓度	3	3999.18	520.81	0.00	3	3961.61	974.42	0.00
时间	2	15.75	2.05	0.14	2	90.27	22.20	0.00
品种×时间	6	3.95	0.51	0.80	6	4.50	1.11	0.37
品种×浓度	4	0.11	0.01	1.00	4	0.43	0.11	0.98
浓度×时间	6	236.48	30.80	0.00	6	152.37	37.48	0.00
品种×浓度×时间	12	1.32	0.17	1.00	12	3.61	0.888	0.56

表 8 MNU 处理下燕麦种子根和芽生长

Table 8 Effects of MNU treatment on root and shoot growth of oat seedlings

EMS 浓度/%	时间/h	爱沃		陇燕 4 号		贝勒 2 代	
		根长/cm	芽长/cm	根长/cm	芽长/cm	根长/cm	芽长/cm
0.00	8	6.17 ^{cd}	5.45 ^{de}	6.22 ^{ef}	5.67 ^{de}	6.18 ^{de}	5.68 ^{fg}
	11	6.32 ^c	6.14 ^d	6.38 ^{de}	6.31 ^{cd}	6.58 ^{cd}	6.27 ^{ef}
	14	6.30 ^c	5.98 ^d	6.42 ^{de}	6.15 ^d	6.52 ^{cd}	6.20 ^e
0.20	8	6.62 ^{bc}	6.72 ^c	6.75 ^{cd}	6.76 ^c	6.88 ^c	6.72 ^d
	11	7.01 ^b	7.21 ^{bc}	7.20 ^{bc}	7.34 ^{bc}	7.29 ^b	7.52 ^c
	14	7.49 ^{ab}	7.55 ^b	7.61 ^{ab}	7.76 ^b	7.85 ^a	7.95 ^{bc}
0.25	8	7.66 ^a	8.40 ^a	8.08 ^a	8.48 ^a	8.09 ^a	8.41 ^a
	11	7.66 ^a	8.34 ^a	7.94 ^{ab}	8.30 ^{ab}	8.08 ^a	8.03 ^{abc}
	14	7.61 ^a	7.81 ^b	7.75 ^{ab}	7.94 ^b	7.91 ^a	8.04 ^{abc}

14 h, 燕麦的根长和芽长都明显增加; 0.25% 浓度下, 随着处理时间的延长, 燕麦幼苗的根长未发生明显变化, 芽长显著降低; 当 MNU 浓度增大至 0.30% 时, 根长和芽长随处理时间的延长均显著降低。

不同燕麦品种的幼苗生长对 MNU 处理的反应基本相似。中低浓度下根长和芽长的增幅比较接近, 高浓度(0.30%)下随处理时间的延长, 贝勒 2 代根长降低最多(28.01%), 芽长降低了 17.53%; 爱沃的芽长仅降低了 7.54%。

3 讨论

3.1 不同诱变剂处理对燕麦种子萌发的影响

化学诱变剂由于作用机理、使用浓度和处理时间不同, 在不同作物或同一作物不同品种上的诱变效应也各异。EMS 是目前应用最为广泛的化学诱变剂, 在各类作物上都取得了很好的诱变效果^[12]。在牧草上, 用不同浓度的 EMS 处理羊草种子“吉生 4 号”, 结果发现其对羊草种子萌发具有显著抑制作用, 随着浓度的增加, 羊草种子发芽率、发芽指数等呈降低趋势; 1.50% EMS 处理后羊草种子相对发芽率降到 51.68%, 1.80% EMS 处理的发芽率比对照降低 67.50%, 发芽指数降低了 44.00%^[24]。本研究也得到了类似结果, EMS 处理显著降低了燕麦种子的发芽势和发芽率, 浓度效应非常明显。当 EMS 浓度增大至 1.00% 时, 发芽率降至 0%~45.75%, 相对致死率增至 49.45%~100%。同一浓度下随着处理时间的延长, 燕麦种子的发芽势和发芽率也显著降低。通过不同 EMS 浓度和处理时间诱变无芒隐子草种子, 发现随 EMS 浓度的增加和处理时间的增长, 无芒隐子草种子发芽率显著降低^[25]。以“川草 2 号”老芒麦为材料, 利用不同浓度(0.20%、0.40%、0.60%、0.80%、1.00%、1.20% 和 1.60%) 的 EMS 溶液分别处理老芒麦种子 8 h 和 16 h, 发现随着 EMS 浓度和处理时间的增加, 老芒麦的起始发芽日和发芽高峰日推后, 发芽势和发芽率下降趋势明显^[26]。采用 0.90% EMS 处理 15 h 对缘毛雀麦种子萌发无显著影响, 但延长处理 3 h 后则有显著抑制作用; 直立型扁蓿豆种子在处理 45 h 时相对发芽率显著下降^[27]。

MNU 不同浓度处理燕麦种子后, 发芽率显著降低, 相对致死率上升。0.25% 浓度下, 燕麦的发芽率由原来的 92.67%~98.67% 下降至 40%~85%。当

MNU 浓度增至 0.30% 时, 发芽率降至 20.00%~54.75%。另外, 同一处理浓度下随着处理时间的延长, 燕麦种子发芽率总体呈下降趋势。在水稻上也得到了类似结果, 用 0.05% 和 0.10% MNU 处理水稻 12 h, 发芽指数和活力指数比对照显著降低^[28]。用 0.10% MNU 处理水稻种子 16 h, 发现水稻的发芽率较对照显著降低, 出苗时间推迟 3~4 d^[29]。

EMS 和 MNU 的作用机理类似。EMS 带有活性烷基, 可以转移到电子密度比较高的分子上, 置换碱基中的氧原子, 当碱基烷化后, 就会导致 DNA 在复制时错配^[30]。MNU 也是通过作用于核酸底物, 对 DNA 上的鸟嘌呤起烷化作用, 引起复制紊乱^[34]。二者在抑制燕麦种子萌发方面具有极显著的浓度效应。不同化学诱变剂对不同燕麦品种的诱变效应不同, 中低浓度(0.25%~0.75%) EMS 处理下, 爱沃的耐受性较好, 发芽率较高, 相对致死率最低, 而贝勒 2 代最敏感, 相对致死率最高。MNU 处理也得到类似结果, 中低浓度(0.20%~0.25%) 下爱沃发芽率一直较高, 贝勒 2 代最低。高浓度下各品种反应一致, 发芽率急剧下降, 相对致死率显著上升。不同种类和浓度的化学诱变剂对燕麦种子的发芽刺激作用相同, 低浓度促进种子的萌发, 而高浓度显著抑制种子萌发。探究其原因, 一方面可能是 EMS 和 MNU 化学诱变剂对燕麦种子胚的诱变伤害较轻, 不像物理诱变的抑制或损伤效果强烈。另一方面可能是低浓度短时间的 EMS 和 MNU 化学诱变剂能够加速吸水后的燕麦种子细胞呼吸和新陈代谢作用, 吸水后的燕麦种子在高浓度的化学诱变剂 EMS 和 MNU 浸种, 长时间的浸泡处理下可能产生了负作用, 打断了种子的正常呼吸代谢过程, 从而抑制了燕麦种子的发芽萌动。

不同诱变剂对不同燕麦品种的半致死处理也不相同。通常认为, 半致死浓度是诱变处理的合适浓度, 可作为诱变敏感性指标^[35]。EMS 处理下, 爱沃的半致死最佳处理组合是 0.25%/17 h 和 0.75%/14 h; 陇燕 4 号的是 0.25%/17 h、0.50%/14 h 和 0.75%/5 h; 贝勒 2 代的分别为 0.25%/11 h、0.50%/8 h 和 0.75%/5 h。而羊草对 EMS 的耐受性远强于燕麦, 其半致死处理为 1.50%/16 h^[24]。还有研究发现, 用 EMS 诱变无芒隐子草, 其半致死处理为 0.80%/16 h^[25]。老芒麦的 EMS 半致死处理也是 0.80%/16 h^[26]。而缘毛雀麦和直立型扁蓿豆的分别为 0.90%/18 h 和

0.90%/48 h^[27]。淮扬金花菜的 EMS 半致死处理分别为 0.70%/9 h 和 0.90%/6 h^[36]。可见不同牧草的 EMS 半致死处理各不相同,但总的规律是低浓度长时间或高浓度短时间。MNU 处理下,爱沃的半致死处理为 0.30%/8 h,贝勒 2 代的为 0.20%/11 h,陇燕 4 号的为 0.20%/11 h。研究发现利用 MNU 诱变湘早粳 33 号、To974 和 R402 早稻种子的半致死处理为 0.10%/12 h;明恢 63、R259 和湘早粳 13 号晚稻种子半致死处理为 0.05%/12 h^[37]。

3.2 不同诱变剂处理对燕麦幼苗生长的影响

诱变剂除了抑制燕麦种子萌发外,对幼苗的生长也有显著影响。在品种,诱变剂浓度和处理时间、两两互作以及三者的互作等变异来源中,浓度对燕麦幼苗根长和芽长的影响也最大。EMS 在低浓度下有促进燕麦幼苗生长的作用,高浓度则显著抑制了幼苗生长,其根长和芽长急剧降低。0.50% 以内的 EMS 显著促进了燕麦的根长和芽长,0.75% EMS 处理下总体较对照稍有下降,1.00% EMS 处理则严重抑制了燕麦生长,根长和芽长急剧变短乃至种子不能萌发。而在羊草上,EMS 处理对羊草幼苗生长只有明显的抑制作用,表现为根长、芽长降低,没有促进作用^[24]。EMS 诱变处理对淮扬金花菜的根长也有抑制效应,但低浓度 EMS 处理后淮扬金花菜保持了较高的越冬率,高浓度则降低了金花菜的越冬率^[36]。

MNU 对燕麦幼苗生长的影响与 EMS 类似,也出现低浓度促进、高浓度抑制的现象。MNU 浓度为 0.20% 时,燕麦的根长和芽长均较对照有显著增加。随着 MNU 浓度进一步增至 0.25%,燕麦幼苗的根长和芽长进一步明显增加。最高浓度下,燕麦生长受抑,根长芽长降低,且大多低于对照。采用 0.05% 和 0.10% MNU 处理湘早粳和晚稻品种 12 h,0.05% 浓度处理具有提高水稻种子发芽率、发芽势、活力指数以及促进晚稻种子根和幼芽生长的作用,与对照相比,经诱变处理后早稻品种种子根长和芽长的生长量的变幅大于晚稻品种^[28]。用 1.00 mmol/L MNU 处理水稻两性生殖细胞 40 min,发现 M₁ 代出苗率、成株率均与 MNU 浓度及处理时间呈负相关^[38]。由于诱变剂的损伤和削弱性,EMS 和 MNU 在低浓度下有促进燕麦幼苗生长的作用,高浓度则显著抑制了燕麦幼苗生长。探究其原因可能是吸水后的燕麦种子在低浓度的化学诱变剂的刺激下,燕麦种子中分解酶对种子中贮藏的

营养物质快速分解,转运到胚,供胚利用,种皮加速软化,有利于胚根和胚芽突破种皮;而高浓度的诱变剂则可能产生毒害作用。

4 结论

(1) 诱变剂处理显著影响了燕麦种子萌发和幼苗生长,其中诱变剂浓度的效应远大于处理时间的效应。

(2) EMS 和 MNU 均显著抑制了燕麦种子萌发,但对幼苗生长则表现出低浓度促进、高浓度抑制的效应。

(3) 不同燕麦品种对诱变剂的反应不尽相同。爱沃的耐受性最好,贝勒 2 代对诱变剂处理最敏感。同一燕麦品种在不同诱变剂下的半致死处理各不相同。

参考文献:

- [1] 杨海鹏,孙泽民. 中国燕麦[M]. 北京:农业出版社,1989.
- [2] 吴斌,郑殿升,严威凯,等. 燕麦分子育种研究进展[J]. 植物遗传资源学报,2019,20(3):485-495.
- [3] 刘平武. 甘蓝型油菜人工合成种及杂交种亲本遗传多样性评价与研究[D]. 武汉:华中农业大学,2005.
- [4] Arias J, Frey K J. Grain yield mutations induced by ethyl methane sulfonate treatment of oat seeds[J]. Radiation Botany, 1973, 13(2):73-85.
- [5] 郑殿升,张宗文. 中国燕麦种质资源国外引种与利用[J]. 植物遗传资源学报,2017,18(6):1001-1005.
- [6] 李雪平,金珂,张向军. 化学诱变剂诱变植物的研究进展[J]. 现代农业,2019(2):38-39.
- [7] Dhakshanamoorthy D, Selvaraj R, Chidambaram A. Physical and chemical mutagenesis in *Jatropha curcas* L. to induce variability in seed germination, growth and yield traits[J]. Rom J Biol Plant Biol, 2010, 55(2):113-125.
- [8] 张瑜琨,蔺国仓,杨净,等. EMS 对豇豆诱变后代 M₂ 种子活力及农艺性状的影响[J]. 农村科技,2018(1):52-54.
- [9] 杨建胜,孙万仓,刘自刚,等. EMS 诱变对北方白菜型冬油菜农艺性状与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2018, 36(1):213-220.
- [10] Politov S. Zymolyase removes calluse from germinating pollen and pollen tube walls[J]. Cell Biol Int, 1985, 9(11):1013-1016.
- [11] Kumar G, Rai P K. EMS induced karyomorphological variations in maize inbreds[J]. Turkish Journal of Biology, 2007, 31(4):187-195.
- [12] 曹亚萍,武银玉,范绍强,等. EMS 诱变技术在小麦上的应用[J]. 激光生物学报,2019,28(5):394-404.

- [13] 赖勇. 大麦 EMS 诱变蜡质突变体鉴定分析[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2014.
- [14] 张庆宇, 王光达, 黄初女. EMS 处理玉米自交系花粉对结实率、出苗率和死亡率的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2020(1): 52-55.
- [15] 邢飞, 王晓雪, 任旭东, 等. EMS 诱变技术在水稻育种中的应用[J]. 南方农业, 2016, 10(6): 247-249.
- [16] 曹冠男. EMS 诱导 4 种小麦效应研究及突变体的筛选[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2018.
- [17] 张晓勤, 薛大伟, 周伟辉, 等. 用甲基磺酸乙酯(EMS)诱变的大麦浙农大 3 号突变体的筛选和鉴定[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(2): 169-174.
- [18] 陈灿, 徐庆国, 彭波, 等. 不同化学诱变剂对水稻种子萌发和生长的影响[J]. 种子, 2008, 37(3): 9-13.
- [19] 程芳艳, 王继亮, 孙翊轩, 等. 化学诱变在寒地水稻育种中的应用[J]. 北方水稻, 2018, 48(5): 7-11+16.
- [20] 霍朋杰, 吴斌, 张宗文. 裸燕麦 EMS 突变体库筛选与分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 379-384.
- [21] 张娜, 杨希文, 任长忠, 等. 白燕 2 号 EMS 突变体的形态鉴定与遗传变异分析[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 421-426.
- [22] 杜京旗. 外源植物激素对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2019, 38(9): 99-102.
- [23] 马祥, 刘勇, 张永超, 等. 不同收获时间对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(24): 7-14.
- [24] 臧辉, 武自念, 孔令琪, 等. 甲基磺酸乙酯(EMS)诱变对羊草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种, 2018, 16(17): 5765-5769.
- [25] 章恺, 罗丽娟, 许洋铭. 甲基磺酸乙酯(EMS)处理对无芒隐子草种子发芽的影响[J]. 江西农业, 2017(23): 90.
- [26] 陈丽丽, 吴琦, 季晓菲, 等. 不同浓度 EMS 对老芒麦种子发芽的影响[J]. 草学, 2018(1): 18-22.
- [27] 乔雨, 石凤翎, 熊梅, 等. EMS 诱变对缘毛雀麦和直立型扁蓿豆种子萌发的影响[J]. 种子, 2016, 35(3): 98-100.
- [28] 陈灿. 化学诱变对水稻诱变后代组织结构及农艺性状和生理特性的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [29] 程芳艳, 王继亮, 孙翊轩, 等. 化学诱变在寒地水稻育种中的应用[J]. 北方水稻, 2018, 48(5): 1-5+10.
- [30] 郭晓珊, 庞胜群, 单淑玲, 等. 甲基磺酸乙酯对不同基因型加工番茄诱变效应[J]. 分子植物育种, 2019(18): 5986-5992.
- [31] 杨楠, 聂江力, 辛微, 等. 化学诱变剂 EMS 对知母种子萌发的影响[J]. 植物研究, 2019, 39(2): 246-251.
- [32] Zhao Y L, Song T M. The Quick Development of Speciality Corn by Chemical Mutagenesis of Pollen[J]. Acta Agronomica Sinica, 1999, 25: 157-161.
- [33] 姜莉, 李卫华, 王维成, 等. 不同浓度 EMS 对甜菜种子诱变致死率的影响[J]. 中国糖料, 2013(1): 28-29.
- [34] 姜涛, 高海捷. MNU 诱导大鼠膀胱癌基底膜病变与 LN 的相关性[J]. 实用癌症杂志, 2020(3): 352-355.
- [35] 张傲楠, 韩岚岚, 赵奎军, 等. 大豆蚜对不同浓度吡虫啉药剂胁迫的适应性[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(3): 676-681.
- [36] 胡志峰, 魏臻武, 唐嘉. EMS 诱变处理金花菜种子条件分析[J]. 草地学报, 2017, 25(2): 361-365.
- [37] 彭波. 不同化学诱变剂对水稻的诱变效应及机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [38] 田怀东, 李菁, 田保华, 等. 水稻两性生殖细胞的 N-甲基-N-亚硝基脲诱变方法[J]. 植物学报, 2019, 54(5): 625-633.

Effects of chemical mutagens EMS and MNU on seed germination and seedling growth of oat

LI Juan-ning¹, LV Ying², ZHAO Gui-qin¹, CHAI Ji-kuan¹, LIN Dou-dou¹,
WANG Miao-miao¹

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Inner Mongolia Autonomous Region Grassland Workstation, Hohhot 010020, Inner Mongolia China)

Abstract: This study investigated the effects of ethyl methyl sulfonic acid (EMS) and N-methyl-N-nitroso

urea (MNU) at different concentrations and duration on seed germination potential, germination rate, relative mortality rate, root length and shoot length of seedlings using three oat varieties (Everleaf, Longyan No. 4 and Baler 2). The study aimed to provide basic information for oat chemical mutation breeding. The results showed that the mutagen significantly affected seed germination and seedling growth of oat, and the effects of mutagen concentration was much greater than that of treatment duration and variety. The sum of squares of the difference in germination caused by the concentration of EMS and MNU accounted for 89.51% and 62.76% of the total sum of squares, respectively. With the increasing concentration of EMS and MNU, seed germination potential and germination rate decreased, accompanied with a significant increase in relative mortality rate. The growth of oat seedlings was promoted at low mutagen concentration while inhibited at high concentration. The root and shoot length at low concentration were significantly higher than the control, but remarkably decreased at high concentration. Different oat varieties showed different responses to mutagen treatments, with Ever leaf being the most tolerant, and Baler 2 being the most sensitive. Under the EMS treatment, the optimal semi-lethal treatment was at 0.25% for 17 h and at 0.75% for 14 h for Everleaf; it was at 0.25% for 17 h, at 0.50% for 14 h and at 0.75% for 5h for Longyan No. 4; and at 0.25% for 11 h, at 0.50% for 8 h and at 0.75% for 5 h for Baler 2. Under the MNU treatment, the optimal semi-lethal treatment for Everleaf, Longyan No. 4 and Baler 2 was at 0.30% for 8 h, at 0.25% for 11 h and at 0.20% for 11 h, respectively.

Key words: chemical mutagens; germination rate; oat seed; seedling growth; semi-lethal treatment

《草原与草坪》编辑部网络采编办公系统正式运行

各位作者及审稿专家:

您好! 为提高稿件处理和办公效率,《草原与草坪》编辑部已从 2021 年 7 月开始启用网络采编办公系统。

作者投稿采用新的网络平台(<http://cyycp.ijournals.cn>), 请尽量不要使用原电子邮件投稿, 特此公告, 望作者和审稿专家予以支持与合作。

在使用网络采编办公系统中您有任何疑问、意见和建议, 请您电话 0931-7631885 或者发邮件到 cyycp@gsau.edu.cn。

《草原与草坪》编辑部