

冷等离子体处理对紫花苜蓿种子萌发和幼苗 MDA 含量的影响

马玉婷^{1,2}, 米敏³, 白梅梅³, 马晖玲³, 柳小妮³, 郁继华², 邵汉良⁴

(1. 甘肃农业大学基础实验教学中心, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃兰州 730070; 3. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃兰州 730070; 4. 中科常泰等离子体有限公司, 江苏常州 213022)

摘要 运用冷等离子体种子处理技术(CPT)对不同品种紫花苜蓿种子进行非电离辐射处理,研究该技术对苜蓿种子萌发机制的影响。利用不同剂量的冷等离子体处理苜蓿种子,经过室内发芽试验,研究苜蓿的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数以及丙二醛含量。结果表明,经0~310 W不同剂量冷等离子体处理后,种子各发芽指标及丙二醛(MDA)含量均有明显变化。与对照相比,处理后苜蓿种子更具有发芽优势。说明该技术对苜蓿种子室内发芽具有重要影响,在生产上具有使用和推广价值。冷等离子体处理陇东苜蓿的最佳供电功率为70 W,处理后种子发芽率(GR)、发芽势(GP)、发芽指数(GI)、活力指数(VI)分别提高5.85%、7.19%、10.83%、2.29%,幼苗丙二醛(MDA)含量降低2.33%;处理甘农三号苜蓿的最佳处理功率为100 W,处理后种子GR、GP、GI、VI分别提高0.56%、7.48%、16.48%、23.21%,幼苗MDA含量降低21.91%;处理甘农七号苜蓿的最佳功率为190 W,处理后种子GR、GP、GI、VI分别提高1.68%、13.75%、14.01%、24.97%,幼苗MDA含量降低35.71%。

关键词 冷等离子体;苜蓿种子;萌发;丙二醛

中图分类号 S541;S129 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)08-0001-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of CPT on Seed Germination and Seedling MDA Content of Alfalfa

MA Yu-ting^{1,2}, MI Min³, BAI Mei-mei³ et al (1. Basic Experimental Teaching Center of Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070; 2. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070; 3. Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract The effects of cold plasma seed treatment (CPT) on seed germination mechanism of alfalfa were studied. The germination potential, germination rate, germination index, vigor index and malondialdehyde content of alfalfa were studied by using cold plasma treatment with different doses. The results showed that the germination indexes and malondialdehyde (MDA) contents of seeds were significantly changed after cold plasma treatment at different doses from 0 to 310 W. Compared with the control, the treated alfalfa seed had the advantage of germination. It showed that this technique had important influence on indoor germination of alfalfa seed and had application and popularization value in production. When the optimal power supply of cold plasma treatment of Longdong alfalfa was 70 W, the seed germination rate (GR), germination potential (GP), germination index (GI) and activity index (VI) were increased by 5.85%, 7.19%, 10.83% and 2.29% respectively, and the malondialdehyde (MDA) content of seedlings was reduced by 2.33%. The optimal treatment power of Gannong No.3 was 100 W. After treatment, the GR, GP, GI and VI of seeds were increased by 0.56%, 7.48%, 16.48% and 23.21% respectively, and MDA content of seedlings was decreased by 21.91%. The optimal power of Gannong No.7 was 190 W, and the GR, GP, GI and VI of seeds were increased by 1.68%, 13.75%, 14.01% and 24.97%, respectively, while the MDA content of seedlings was reduced by 35.71%.

Key words Cold plasma; Alfalfa seed; Germination; Malondialdehyde

20世纪70年代开始,国外科研工作者就着手研究现代物理农业工程的单项独立技术,其中,冷等离子种子处理又称低温等离子体或常温等离子体处理,是俄罗斯科学家发明的一种种子处理新技术^[1],该技术在俄罗斯及独联体国家已有一定的应用规模,且已经出现中小型工厂化低温等离子种子处理企业^[2]。在美国、加拿大等国家也有这方面的报道^[3]。并且,日本研究发现,低温等离子处理有助于种子的早发芽,提前作物成熟,经过低温等离子处理的种子可增加开花数量,并能提高作物产量^[4]。国外研究证明,低温等离子处理不仅具有电离辐射的能量作用过程,而且还具有质量沉积效应和电荷交换作用。经等离子束照射的种子,可以激活植物种子胚内生命物质,并使种皮相对软化(开裂),利于种子萌发和出苗,有一定的增产效果,国内关于苜蓿种子处理的研究主要在盐胁迫、水分胁迫、微波、电场、紫外线、镧离子以及超干旱等方面^[5-15],而冷等离子体处理对苜蓿种子的影响仅邵长勇等^[13]在苜蓿表观遗传中提出,但对处理工艺

及影响指标均未进行分析。笔者利用冷等离子体种子处理机,在真空密闭、充入氦气等模拟太空环境下处理苜蓿种子,通过分析处理后苜蓿种子的各项发芽指标的差异,探讨冷等离子体处理对苜蓿种子萌发的影响,以期冷等离子体处理苜蓿种子技术推广提供参考。

1 材料与方法

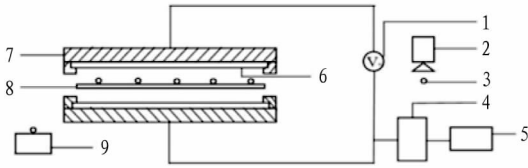
1.1 试验材料

1.1.1 试验装置。冷等离子体种子处理在常州中科常泰等离子体有限公司进行,采用HD-2N型辉光放电冷等离子体种子处理机(中科常泰等离子体有限公司设计生产)处理种子^[16]。种子处理机由真空装置、冷等离子体发生器、传输装置和进/出料斗组成。该机器的核心是冷等离子体发生器,由连接射频功率源的2个输出端、平行的2块极板组成,极板上有金属悬浮屏蔽外壳极,板间距为2 cm。极板接头通过射频输出线与射频功率源连接。种子经过2块极板之间的空腔在传输带上接受冷等离子体处理。冷等离子体种子处理机工作流程见图1。

冷等离子体种子处理的作用机理:冷等离子体中的真空紫外线使作物种子的生物大分子产生能量的跃迁,即由基态

作者简介 马玉婷(1986—),女,甘肃兰州人,实验师,硕士,从事等离子体物理和设施园艺研究。

收稿日期 2019-09-29



注:1.射频发生器,2.进料斗,3.种子,4.冷阱,5.真空泵,6.极板,7.金属悬浮屏蔽外壳,8.传送带,9.出料斗

Note: 1. Radio frequency generator, 2. Feed hopper, 3. Seed, 4. Cold trap, 5. Vacuum pump, 6. Plate, 7. Metal suspension shield housing, 8. Conveyor belt, 9. Hopper

图1 冷等离子体种子处理机工作示意

Fig.1 Schematic diagram of cold plasma seed processor

跃迁到激发态,通过非电离辐射对生物活组织的影响,对种子产生积极的生物学效应,不同的非电离辐射可产生不同的生物学作用^[17]。

1.1.2 试验材料。试验于2018年3月在甘肃农业大学草业实验室进行。供试苜蓿品种为甘农三号、甘农七号、陇东苜蓿,经冷等离子体处理后,放在洗净消毒垫有滤纸的培养皿中进行试验。

1.2 试验方法

1.2.1 种子处理。选择籽粒饱满、大小均匀的甘农三号、甘农七号、陇东苜蓿种子,由冷等离子体处理设备设置不同参数进行处理。分别设置供电剂量为0、70、100、130、160、190、220、250、280、310 W的冷等离子体处理种子。

1.2.2 试验设计。将蒸馏水置于洗净消毒的培养皿中,至滤纸饱和,每个培养皿播入50粒经冷等离子体处理的苜蓿种子,每个处理各设4次重复。在20℃恒温光照培养箱内培养10 d,以胚芽达到种子长50%作为发芽标准。每天观察种子萌发情况,并记录发芽数。

1.3 测量指标与方法

1.3.1 种子发芽指标。发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数的计算公式:

$$\text{发芽率} = (\text{10 d 全部正常发芽的种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽势} = (\text{第4天供试种子的发芽数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数(GI)} = \sum Gt / Dt$$

式中, G_t 为在 t 天的发芽数, D_t 为发芽天数。

$$\text{活力指数(VI)} = GI \times S$$

式中, GI 为发芽指数, S 为第10天的胚芽和胚根长度之和。

1.3.2 丙二醛含量。采用硫代巴比妥酸法进行丙二醛含量的测定。利用丙二醛(MDA)在高温、酸性条件下与硫代巴比妥酸(TBA)反应,利用在532 nm波长处有最大光吸收的有色三甲复合物来测定丙二醛含量。

$$\text{MDA 浓度 } C(\mu\text{mol/L}) = 6.45(\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) - 0.56\text{OD}_{450}$$

$$\text{MDA 含量}(\mu\text{mol/g}) = C \times V / W$$

式中, V 为提取液体积(1.8 mL), W 为样品鲜重(0.2 g)。

1.4 数据分析与处理 采用SPSS 25.0软件进行ANOVA统计分析,采用ORIGIN 8.5作图,采用Duncan法进行方差分析和差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 冷等离子体处理对不同苜蓿品种种子萌发的影响

2.1.1 陇东苜蓿。随着处理功率的增大,各项指标呈上升-下降-上升-下降的趋势,对发芽率、发芽势影响较小,对发芽指数、活力指数影响较大。70 W达到极高值,之后下降在130 W附近到极低值,随后上升在190 W附近达到极高值,之后下降(表1、图2)。

表1 不同功率下陇东苜蓿的发芽指标

Table 1 Germination index of Longdong alfalfa under different powers

功率 Power//W	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
0	0.855±0.025 bcd	0.835±0.029 ab	83.785±4.012 ab	465.636±34.345 def
70	0.905±0.005 ab	0.895±0.005 ab	92.859±1.297 ab	476.316±17.399 bcde
100	0.905±0.015 ab	0.870±0.023 ab	89.049±6.822 ab	425.905±29.258 ef
130	0.830±0.033 d	0.820±0.038 ab	85.503±4.548 b	421.296±27.857 f
160	0.910±0.010 ab	0.905±0.015 a	91.655±3.477 ab	508.280±25.268 bcde
190	0.880±0.008 abc	0.845±0.078 ab	93.765±2.875 ab	407.014±4.737 f
220	0.905±0.028 ab	0.875±0.038 ab	85.642±3.226 ab	617.057±29.248 a
250	0.915±0.005 a	0.905±0.005 a	86.375±2.059 ab	583.885±29.454 ab
280	0.885±0.017 abc	0.845±0.022 ab	84.071±2.817 ab	560.868±19.677 abc
310	0.840±0.014 cd	0.820±0.008 ab	89.122±2.442 ab	439.373±12.231 ef

注:同列不同小写字母表示不同功率间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different powers($P \leq 0.05$)

2.1.2 甘农三号。随着处理功率的增大,各项指标呈上升-下降-上升-下降的趋势,对发芽势、发芽率影响较小,对发芽指数、活力指数影响较大。100 W达到极高值,之后下降在190 W附近到极低值,随后上升在250~280 W达到极高值,之后下降(表2、图3)。

2.1.3 甘农七号。随着处理功率的增大,各项指标呈上升-下降-上升-下降的趋势,对发芽率影响较小,对发芽势、发芽指数、活力指数影响较大。处理功率为160~220 W时,各指标均明显提高,之后下降在280 W附近到极低值,随后上升(表3、图4)。

表 2 不同功率下甘农三号苜蓿的发芽指标

Table 2 Germination indexes of Gannong No.3 alfalfa under different powers

功率 Power//W	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
0	0.895±0.005 a	0.815±0.027 a	94.840±0.870 d	982.000±22.389 ab
70	0.920±0.024 a	0.840±0.014 a	104.531±2.062 d	1 048.704±78.615 b
100	0.900±0.035 a	0.876±0.038 a	110.465±4.962 abc	1 209.960±79.627 a
130	0.890±0.023 a	0.865±0.020 a	108.457±4.514 abc	1 095.669±63.576 ab
160	0.910±0.017 a	0.850±0.017 a	104.502±2.379 bcd	1 047.562±51.791 ab
190	0.895±0.025 a	0.850±0.017 a	99.675±2.622 cd	987.638±54.438 ab
220	0.905±0.018 a	0.865±0.020 a	110.158±2.670 abc	989.357±57.616 b
250	0.905±0.022 a	0.850±0.026 a	115.435±5.197 ab	1 067.930±87.670 ab
280	0.920±0.022 a	0.880±0.014 a	111.157±1.636 ab	1 103.715±86.281 ab
310	0.900±0.022 a	0.865±0.030 a	117.910±3.693 a	1 049.980±63.850 ab

注: 同列不同小写字母表示不同功率间差异显著 ($P \leq 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different powers ($P \leq 0.05$)

表 3 不同功率下甘农七号苜蓿的发芽指标

Table 3 Germination indexes of Gannong No.7 alfalfa under different powers

功率 Power//W	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
0	0.895±0.026 abc	0.800±0.023 a	103.014±4.609 ab	742.829±51.405 ab
70	0.925±0.009 ab	0.855±0.039 a	103.412±1.645 ab	738.274±50.232 ab
100	0.915±0.012 abc	0.820±0.040 a	103.810±2.046 ab	737.172±20.214 b
130	0.890±0.037 bc	0.880±0.048 a	106.906±4.856 ab	773.082±42.741 b
160	0.910±0.020 abc	0.905±0.020 a	115.455±2.962 a	885.560±39.856 ab
190	0.910±0.012 abc	0.910±0.016 a	117.476±3.019 a	927.265±25.365 a
220	0.940±0.011 a	0.915±0.020 a	111.774±5.683 ab	821.795±96.294 ab
250	0.870±0.020 c	0.845±0.029 a	104.197±4.594 b	807.560±39.828 ab
280	0.860±0.021 bc	0.830±0.026 a	108.645±3.258 ab	789.513±47.030 ab
310	0.915±0.009 abc	0.860±0.025 a	109.255±7.682 ab	930.363±86.473 a

注: 同列不同小写字母表示不同功率间差异显著 ($P \leq 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different powers ($P \leq 0.05$)

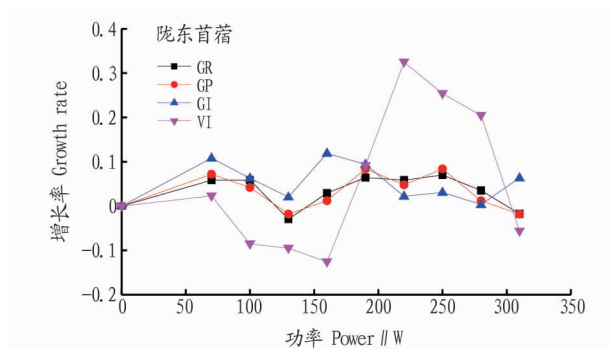


图 2 不同功率下陇东苜蓿的发芽率 (GR)、发芽势 (GP)、发芽指数 (GI) 和活力指数 (VI) 的增长率

Fig.2 Growth rates of germination rate (GR), germination potential (GP), germination index (GI) and vitality index (VI) of Longdong alfalfa under different powers

由图 2~4 可知,冷等离子体处理对发芽率的影响较小,对发芽势、发芽指数、活力指数的影响较大,主要原因可能是 3 种苜蓿种子在未处理情况下发芽率较高,能提升的范围不大,因此影响不大,但冷等离子体处理能够明显提高种子发芽势、发芽指数、活力指数,说明冷等离子体处理能够有效提高种子活力。

2.2 冷等离子体处理对苜蓿种子各发芽指标的影响

2.2.1 发芽率。冷等离子体处理对不同品种苜蓿发芽率均

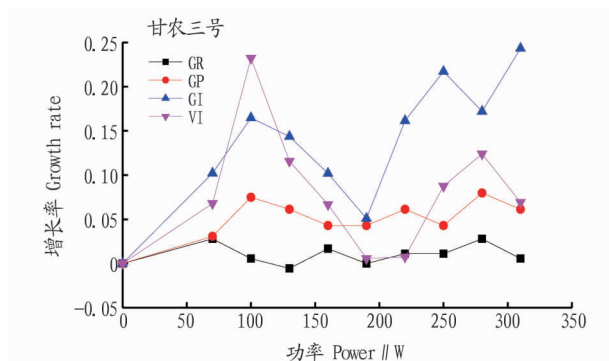


图 3 不同功率下甘农三号苜蓿的发芽率 (GR)、发芽势 (GP)、发芽指数 (GI) 和活力指数 (VI) 的增长率

Fig.3 Growth rates of germination rate (GR), germination potential (GP), germination index (GI) and vitality index (VI) of Gannong No.3 alfalfa under different powers

有影响,但不同品种对处理的影响程度不同,冷等离子体处理对陇东苜蓿的影响最大,这可能是因为未处理情况下 3 种苜蓿种子中陇东苜蓿种子发芽率最低,因此冷等离子体处理能较大幅度地提高种子发芽率;冷等离子体处理对甘农三号苜蓿和甘农七号苜蓿种子发芽率影响较小,可能是由于这 2 个品种本身的发芽率较高,处理后发芽率可以提高的程度不大(图 5)。

2.2.2 发芽势。冷等离子体处理对 3 种苜蓿种子的发芽势均

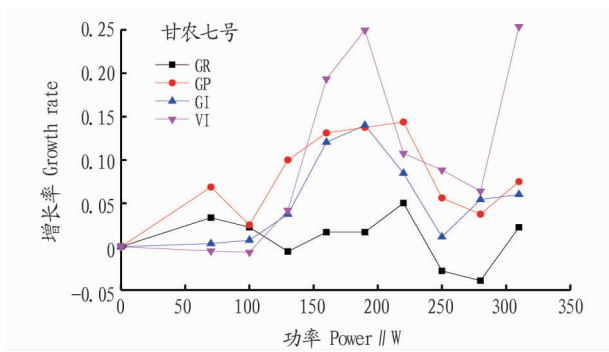


图4 不同功率下甘农七号苜蓿的发芽率(GR)、发芽势(GP)、发芽指数(GI)和活力指数(VI)的增长率

Fig.4 Growth rates of germination rate (GR), germination potential (GP), germination index (GI) and vitality index (VI) of gannong 7 alfalfa under different powers

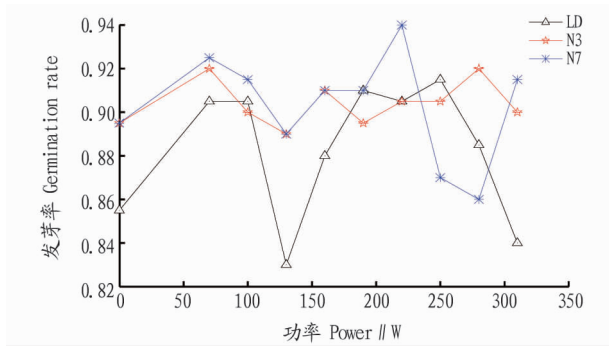


图5 不同功率下3种苜蓿种子的发芽率(GR)

Fig.5 Germination rate (GR) of three alfalfa seeds at different powers

有影响,且处理后各品种种子发芽势与对照相比均有不同程度的提高。随着处理功率的提高,发芽势基本呈上升-下降-上升-下降的趋势,其中甘农三号苜蓿种子发芽势对处理的敏感度相对最低,100和280 W时发芽势明显提高。处理功率在70和190 W左右时,陇东苜蓿和甘农三号的发芽势显著提高,处理功率在100和310 W时甘农七号的发芽势明显提高(图6)。

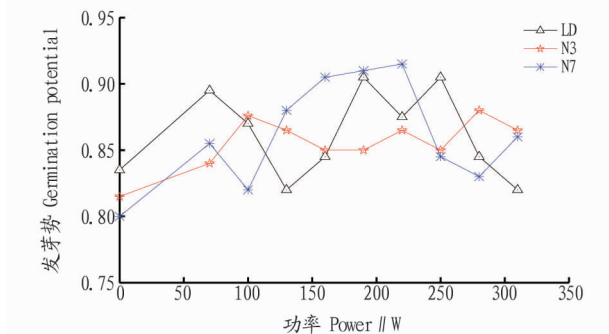


图6 不同功率下3种苜蓿种子的发芽势(GP)

Fig.6 Germination potential (GP) of three alfalfa seeds under different powers

2.2.3 发芽指数。总体而言,3种苜蓿品种中,甘农七号种子发芽指数最高,陇东苜蓿种子发芽指数最低。冷等离子体处理对3种苜蓿种子发芽指数均有影响。随着处理功率的提高,发芽指数基本呈上升-下降-上升-下降的趋势。其中,处

理功率为70、160 W 陇东苜蓿种子发芽指数显著提高,处理功率为100、250 W 甘农三号苜蓿种子发芽指数显著提高,处理功率为190 W 附近陇东苜蓿种子发芽指数显著提高。陇东苜蓿和甘农三号苜蓿对等离子体处理较敏感(图7)。

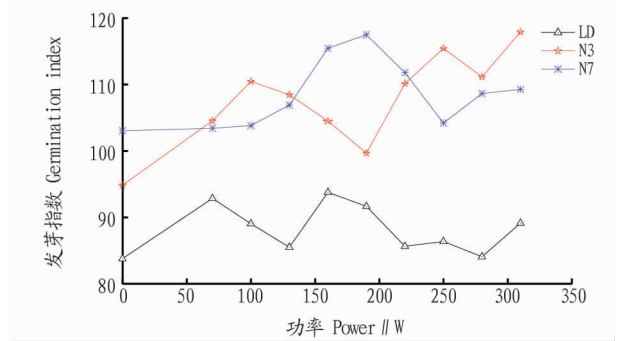


图7 不同功率下3种苜蓿种子的发芽指数(GI)

Fig.7 Germination index (GI) of three alfalfa seeds under different powers

2.2.4 活力指数。陇东苜蓿活力指数最低,甘农三号最高,甘农三号种子活力指数对等离子体处理敏感度最高,100 W 时达到最大;陇东苜蓿对处理功率的敏感度最低,220 W 时达到最高(图8)。

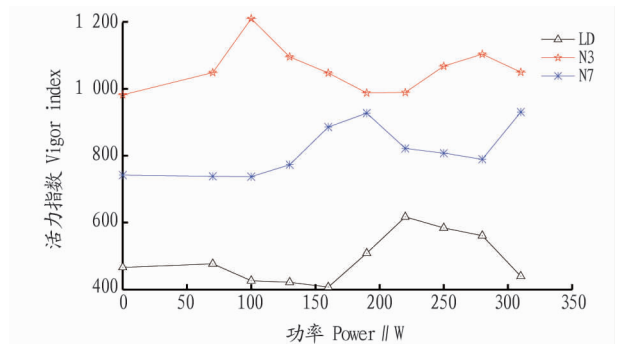
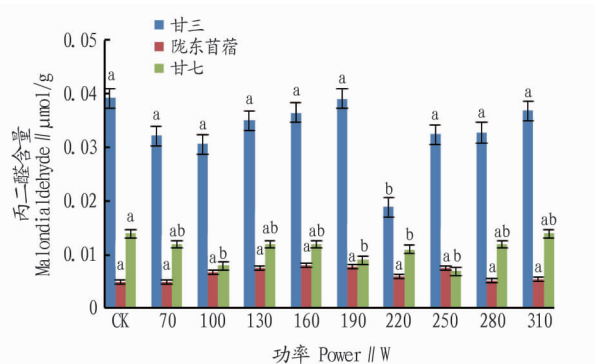


图8 不同功率下3种苜蓿种子的活力指数(VI)

Fig.8 Vitality index of three alfalfa seeds under different power (VI)

2.3 丙二醛含量 植物器官衰老或在逆境下遭到伤害,往往发生膜脂过氧化作用。丙二醛是膜脂氧化的最终分解产物,其含量可反映植物遭受逆境伤害的程度。丙二醛积累越多对植物组织伤害越大,因此,低含量的丙二醛可降低植物组织伤害程度^[18]。

由图9可知,冷等离子体处理对不同品种苜蓿幼苗中的丙二醛含量均有影响,不同品种的抗逆性不同,冷等离子体对不同品种苜蓿丙二醛含量的影响也不同。与其他品种相比,陇东苜蓿抗逆性最强,各处理下丙二醛含量均最低;甘农三号苜蓿抗逆性最弱,各处理下丙二醛含量最高。不同功率冷等离子体处理后不同品种苜蓿幼苗中丙二醛含量不同。对于陇东苜蓿,处理后丙二醛含量较对照变化幅度较小,主要是由于陇东苜蓿自身丙二醛含量低,当处理功率为70 W 时,MDA 含量较对照降低2.33%;对于甘农三号和甘农七号苜蓿,处理后丙二醛含量较对照均明显降低,其中甘农三号苜蓿,当处理功率分别为100和220 W 时,幼苗中的MDA 含



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图9 不同功率下不同品种苜蓿的丙二醛含量

Fig.9 Malondialdehyde content of different varieties of alfalfa under different powers

量降低较明显,分别降低了21.91%和52.01%;对于甘农七号苜蓿,100、190和250 W处理后幼苗中的MDA含量明显降低,分别降低了42.86%、35.71%和50.00%。

3 讨论

发芽势和发芽率反映了种子的发芽整齐度和发芽数,发芽指数表示种子发芽速度,活力指数反映了种子的发芽速度和整齐度^[19]。该研究发现,冷等离子体处理对陇东苜蓿、甘农三号、甘农七号种子萌发有促进作用,明显提高苜蓿种子发芽势、发芽指数和活力指数,降低幼苗MDA含量。对于陇东苜蓿,70和190 W处理较对照种子活力明显提高,处理功率为70 W时,GR、GP、GI、VI分别提高5.85%、7.19%、10.83%、2.29%,MDA含量降低2.33%,处理功率为190 W时,GR、GP、GI、VI分别提高6.43%、8.38%、9.39%、9.16%,MDA含量升高60.68%。因此70 W为陇东苜蓿最佳处理功率。对于甘农三号苜蓿,100和280 W处理较对照种子活力明显提高,MDA含量明显降低;处理功率为100 W时,GR、GP、GI、VI分别提高0.56%、7.48%、16.48%、23.21%,MDA含量降低21.91%;处理功率为280 W时,GR、GP、GI、VI分别提高2.79%、7.98%、17.20%、12.39%,MDA含量降低16.55%。因此在考虑节能的情况下100 W为甘农三号苜蓿最佳处理功率。对于甘农七号苜蓿100和280 W处理较对照种子活力明显提高,MDA含量明显降低;处理功率为190 W时,GR、GP、GI、VI分别提高1.68%、13.75%、14.01%、24.97%,MDA含量降低35.71%;处理功率为220 W时,GR、GP、GI、VI分别提高5.03%、14.38%、8.47%、10.75%,MDA含量降低21.43%。因此,在考虑节能的情况下190 W为甘农七号苜蓿最佳处理功率。

研究发现冷等离子体处理显著促进种子萌发^[20]。Šerá等^[21]研究发现,冷等离子体处理显著提高小麦种子发芽率。Dhaya等^[22]也证实了较低功率等离子体处理能够提高红花种子的发芽率,功率过高会降低种子发芽率。但Volin等^[23]研究发现碳氟等离子体抑制玉米和菜豆种子萌发,产生这一现象的原因可能是该研究采用惰性气体碳氟作为介质处理种子,处理过程中会在种子表面镀上惰性气体而阻碍种皮吸

收水分,抑制了种子萌发。该试验采用的等离子体介质气体是氦气,氦气等离子体处理能够提高种子的吸水性,提高种子发芽率^[24]。种子经等离子体处理后,一方面,种子细胞内的带电离子与光相互作用而使种子细胞吸收辐射能量^[25],使种子成分电离和发生电性变化,促使种子活化,激活种子 α -淀粉酶、蛋白酶等的活性,从而促进种子萌发^[26]。另一方面,种皮表面形成了很多ROS,能够改变种皮结构,增加种皮亲水性和通透性,使外部的水分和氧迅速进入种子^[27]。不同作物最佳处理功率不同,这可能与种皮厚度、硬度和种子大小有关。种皮厚度和硬度越大能量越不易穿过种皮,对种子作用效果越小,因此,较高的处理强度才会对种子产生显著效果。与小种子相比,较大种子其单位表面积接收的辐射能量越多,因此所需的处理强度越小。Filatova等^[28]研究表明,等离子体处理使谷类和豆类幼苗干重较对照显著增加。Zhou等^[29]也研究证实大气压等离子体处理能够显著增加番茄幼苗干重和苗高。该研究发现,冷等离子体处理明显增加了陇东苜蓿、甘农三号、甘农七号苜蓿种子芽长和根长。可见冷等离子体处理显著促进了陇东苜蓿、甘农三号、甘农七号苜蓿幼芽的生长。这可能与冷等离子体处理提高了幼芽相关代谢酶活性,特别是水解酶和氧化还原酶活性,加速了种子内脂肪、蛋白质和糖类等储藏物质的分解代谢,以及提高根系活力和促进养分吸收有关。

4 结论

(1)不同剂量的冷等离子体处理不同品种的紫花苜蓿种子后,进行发芽试验,发芽势、发芽率和发芽指数、活力指数与对照相比均有较明显差异。说明冷等离子体对苜蓿种子的发芽势、发芽率和发芽指数、活力指数有显著影响。但冷等离子体处理不同苜蓿品种时所对应的最适供电功率不同,在实践应用时,针对不同品种,应首先做相关的试验,以确定最佳供电功率。

(2)冷等离子体处理陇东苜蓿的最佳供电功率为70 W,处理后种子发芽率(GR)、发芽势(GP)、发芽指数(GI)、活力在指数(VI)分别提高5.85%、7.19%、10.83%、2.29%,幼苗丙二醛(MDA)含量降低2.33%;处理甘农三号苜蓿的最佳处理功率为100 W,处理后种子GR、GP、GI、VI分别提高0.56%、7.48%、16.48%、23.21%,幼苗MDA含量降低21.91%;处理甘农七号苜蓿的最佳功率为190 W,处理后种子GR、GP、GI、VI分别提高1.68%、13.75%、14.01%、24.97%,幼苗MDA含量降低35.71%

(3)该技术对苜蓿种子室内发芽具有重要影响,在生产上具有使用和推广价值。

参考文献

- [1] 郝学金,秦建国.低温等离子种子处理研究初报[J].山西农业科学,1998,26(2):39-41.
- [2] 李瑞福.等离子体种子处理技术[J].北方水稻,2010(4):52-53.
- [3] 尹美强.强化弧光等离子体对种子生物效应的研究[D].大连:大连理工大学,2006.
- [4] 张宇航,张景楼,王清发.物理方法在甜菜种子处理上的应用[J].中国甜菜糖业,2005(2):20-22.

- 累的比较[J].林业科学研究,2015,28(6):826-832.
- [18] 史军辉,王新英,刘茂秀,等.NaCl胁迫对胡杨幼苗叶主要渗透调节物质的影响[J].西北林学院学报,2014,29(6):6-11.
- [19] 谷凌.盐分及干旱胁迫对台湾海桐和台湾栾树的影响研究[D].福州:福建农林大学,2013.
- [20] 杨帆,魏晓岑,张士超,等.不同甜高粱品种萌发期抗盐和抗旱性比较[J].植物生理学报,2015,51(10):1604-1610.
- [21] 裴斌,张光灿,张淑勇,等.土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(5):1386-1396.
- [22] 李金航,徐程扬,朱济友,等.黄鹌幼苗在持续干旱胁迫环境中的表型适应对策[J].西北林学院学报,2019,34(2):28-34.
- [23] 刘球,吴际友,李志辉.干旱胁迫对植物叶片解剖结构影响研究进展[J].湖南林业科技,2015(3):101-104.
- [24] 王西石.荒漠植物红砂在干旱胁迫和盐胁迫下的渗透调节研究[D].兰州:兰州大学,2009.
- [25] SMITH V C, ENNOS A R. The effects of air flow and stem flexure on the mechanical and hydraulic properties of the stems of sunflowers *Helianthus annuus* L. [J]. Journal of experimental botany, 2003, 54(383):845-849.
- [26] 赵可夫,李法曾,樊守金,等.中国的盐生植物[J].植物学通报,1999(3):10-16.
- [27] 王业遴,马凯,姜卫兵,等.五种果树耐盐力试验初报[J].中国果树,1990(3):8-12.
- [28] 陈松河.竹类植物耐盐性研究与园林应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [29] 郑俊鸣,张嘉灵,郑建忠,等.中国海岛植被修复的适生植物[J].世界林业研究,2017,30(3):86-90.
- [30] 张勇伟.浦东国际机场航站区园林竹类植物的种植和养护技术[J].竹子学报,2001,20(2):31-35,54.
- [31] MAKESCHIN F, LANDGRAF D, ZHONG Z. Nachhaltige Agroforstwirtschaft auf salinen Koestenboeden der Provinz Zhejiang (VR China) [J]. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universitt Dresden, 2001(4):102-108.
- [32] LANDGRAF D, KLOSE S. Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy soil under different management systems [J]. J. Plant Nutr. Soil Sci, 2002, 165:9-16.
- [33] ESECHIE H A, AL-SAIDI A, AL-KHANJARI S. Effect of sodium chloride salinity on seedling emergence in chickpea [J]. J. Agronomy & Crop Science, 2002, 188:115-160.
- [34] BOHNERT H J, NELSON D E, JENSEN R G. Adaptations to environmental stresses [J]. Plant Cell, 1995, 7(7):1099-1111.
- [35] 石银,陈潇潇,王贤梅.平潭近50年气候变化特征分析与浅谈[C]//中国气象学会第35届中国气象学会年会S6应对气候变化、低碳发展与生态文明建设北京:中国气象学会,2018:5.
- [36] 张琳婷,傅海峰,肖兰,等.平潭大屿岛上台湾相思长势的时空差异性[J].海洋开发与管理,2018,35(7):77-82.
- [37] 《平潭绿化导则》编写组.平潭绿化导则[M].厦门:厦门大学出版社,2013.
- [38] APPLETON B, GREENE V, SMITH A, et al. Trees and shrubs that tolerate saline soils and salt spray drift [EB/OL]. [2019-06-05]. http://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/430/430-031/430-031.pdf.
- [39] 史跃林,罗庆熙,刘佩璇. Ca²⁺对盐胁迫下黄瓜幼苗中CaM、MDA含量和质膜透性的影响(简报)[J].植物生理学通讯,1995,31(5):347-349.
- [40] CLATTERBUCK W K. Tree susceptibility to salt damage [EB/OL]. [2019-06-05]. <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/SP610.pdf>.
- [41] 汪立梅,桂丕,李化山,等.改良剂与微生物菌剂联合施用对盐碱地土壤和耐盐植物的影响[J].江苏农业科学,2018,46(17):264-269.
- [42] 王如月,王如意.盐碱地植物养护[J].现代园艺,2017(17):89-90.
- [43] 吕玉才,孙金涛,徐德恩.滨海盐碱地绿化养护技术探讨[J].科技信息,2010(30):774.
- [44] 李海静.盐碱地园林绿化养护管理措施[J].现代园艺,2016(10):181.

(上接第5页)

- [5] 黄明镜,马步洲,岳艳琴,等.等离子体对种子活力及抗旱性的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):65-68.
- [6] 徐志莹,陈波,魏振.不同种子处理方法对玉米产量的影响[J].农业科技与装备,2011(4):15-16.
- [7] 刘山,欧阳西荣,聂荣邦.物理方法在作物种子处理中的应用现状与发展趋势[J].作物研究,2007,21(S1):520-524.
- [8] 邵长勇,王德成,唐欣,等.弧光磁化等离子体种子处理装备应用现状与发展趋势[J].中国种业,2012(8):1-3.
- [9] 李波,焦德志,战春岩.微波处理苜蓿种子发芽率及其幼苗抗旱性的影响[J].种子,2006,25(12):28-30.
- [10] 霍平慧,李剑峰,师尚礼,等.盐胁迫对超干处理苜蓿种子萌发及幼苗生长的影响[J].草原与草坪,2011,31(1):13-18.
- [11] 秦芳.微波处理对甘肃省4个苜蓿地方品种抗旱性的影响[J].草业科学,2004,21(11):41-43.
- [12] 征荣,许月英,杨体强,等.电场处理苜蓿种子对其幼苗期生长的影响[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2002,33(3):359-362.
- [13] 邵长勇,王德成,杨鹏,等.基于冷等离子体种子处理技术的苜蓿表现遗传研究[J].中国种业,2015(3):12-14.
- [14] 于亚学,吕雪松,李富娟.等离子体种子处理技术的推广应用[J].农业开发与装备,2011(1):19-20.
- [15] 任卫波,陈立波,郭慧琴,等.紫花苜蓿耐寒越冬性研究进展[J].中国草地学报,2008,30(2):104-108.
- [16] 邵长勇,方宪法,唐欣,等.冷等离子体处理对大葱种子发芽特性的影响[J].农业机械学报,2013,44(6):201-205.
- [17] 邵长勇,王德成,刘亮东,等.冷等离子体种子播前处理技术研究动态及展望[J].中国种业,2014(12):1-4.
- [18] 李生军.低温胁迫对唐古特莜麦脯氨酸、丙二醛含量的影响研究[J].农民致富之友,2018(20):33.
- [19] 田雨,杨文治,梁发茂,等.低温冷冻处理对水稻种子发芽势和发芽率的影响[J].农业科技通讯,2018(12):94,276.
- [20] ZHOU Z W, HUANG Y F, YANG S Z, et al. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds [J]. Agri Sci, 2011, 2(1):23-27.
- [21] ŠERÁ B, ŠPATENKA P, ŠERÝ M, et al. Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth [J]. IEEE T Plasma Sci, 2010, 38(10):2963-2968.
- [22] DHAYAL M, LEE S Y, PARK S U. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification [J]. Vacuum, 2006, 80:499-506.
- [23] VOLIN J C, DENES F S, YOUNG R A, et al. Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology [J]. Crop Sci, 2000, 40(6):1706-1718.
- [24] 范月君,芦光新,徐成体,等.冷等离子体处理对2种豆科牧草种子发芽及幼苗生长的影响[J].种子,2016,35(8):47-49.
- [25] 黄明镜,尹美强.等离子体对干旱胁迫下小麦种子萌发的生物学效应[J].中国农学通报,2010,26(23):204-207.
- [26] 夏丽华,张春玉.磁场处理对番茄种子活力及苗期长势的影响[J].东北师大学报(自然科学版),1999(3):66-69.
- [27] DOBRYNIN D, FRIDMAN G, FRIEDMAN G, et al. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue [J]. New J Phys, 2009, 30(11):20-46.
- [28] FILATOVA I, AZHARONOK V, KADYROV M, et al. The effect of plasma treatment of seeds of some grains and legumes on their sowing quality and productivity [J]. Rom J Phys, 2011, 56:139-143.
- [29] ZHOU Z W, HUANG Y F, YANG S Z, et al. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds [J]. Agri Sci, 2011, 2(1):23-27.