

冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发、 幼苗生长特性及产量的影响

刘金平¹, 孙菲菲², 王 夏³

(1. 台州科技职业学院 浙江台州 318020; 2. 南京市农业技术推广站 南京 210000;
3. 南京市蔬菜科学研究所 南京 210042)

摘要:以不结球白菜达美为试材,采用培养皿发芽试验和随机区组试验的方法,分别设定不同剂量冷等离子体40、60、80、100、120 W,研究了不同剂量冷等离子体对不结球白菜种子的萌发、生长、产量和品质的影响,以期找到一种高效的育苗方法。结果表明,不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发均有促进作用,种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均高于对照;种子 α -淀粉酶活性增强,电导率下降,其中80 W冷等离子体处理下, α -淀粉酶活性显著增强了116.81%,电导率明显下降了45.41%。同时冷等离子体处理能促进不结球白菜生长发育,使株高和根长增加,使产量提升14.55%~47.79%,其中80 W冷等离子体处理下产量最高。冷等离子体处理后,不结球白菜叶片维生素C含量、叶绿素含量都有所增加,其中100 W处理下叶绿素含量显著增加了63.89%。除40 W冷等离子体处理外,其他处理叶片硝酸盐含量均低于对照。综合可知,80~100 W的冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发、幼苗生长及产量提高的效果最好。

关键词:冷等离子体;不结球白菜;种子萌发;生长;产量;品质

中图分类号:S634.3 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2023)04-101-05

Effects of cold plasma treatment of non-heading cabbages seeds with different radiation intensity on seeds germination, growth and yields

LIU Jinping¹, SUN Feifei², WANG Xia³

(1. Taizhou College of Science and Technology, Taizhou 318020, Zhejiang, China; 2. Nanjing Agricultural Technique Extension Station, Nanjing 210000, Jiangsu, China; 3. Nanjing Vegetables Scientific Institute, Nanjing 210042, Jiangsu, China)

Abstract: It was researched that the effect of cold plasma treatment of non-heading cabbages seeds with different radiation intensity on seed's germination, growth, yields and quality was investigated as the material of DaMei treated by the equipment with different radiation intensity from 40 W to 120 W, with the method of germination experiment and random block experiment. The results showed that it had a promotion effect on germination of non-heading cabbage seeds with different plasma treatment, that germination energy, germination percentage, germination index and vigor index were higher than CK. The activity of alpha amylase was increased, conductivity was reduced, and it was increased 116.81% obviously in α -amylase activity, decreased by 45.41% significantly in the conductivity under 80 W cold plasma treatment. It also could promote the growth of non-heading cabbages with plant height and root length increased. And the yield was increased by 14.55%-47.79%, while there was the highest output under 80 W cold plasma treatment. It also improved the quality that the content of vitamin C and chlorophyll were higher, the content of nitrate and nitrite were lower than CK, the water content were not changed obviously. And it was increased by 63.89% in chlorophyll content under the treatment of 100 W cold plasma. In addition to the 40 W cold plasma treatment, the leaf nitrate content were lower than CK. The effect of 80-100 W cold plasma treatment was the best.

Key words: Cold plasma; No-heading cabbage; Seeds germination; Growth; Yield; Quality

收稿日期:2022-05-13;修回日期:2023-03-06

基金项目:江苏省自然科学基金(BK20210074)

作者简介:刘金平,女,农艺师,主要从事十字花科遗传育种及栽培生理研究。E-mail:1107984523@qq.com

通信作者:孙菲菲,女,高级农艺师,主要从事十字花科遗传育种及栽培生理研究。E-mail:ffsun_2044@163.com

冷等离子体是导体,是物质的第四态。冷等离子体处理种子技术是一项物理农业技术^[1],主要是通过冷离子体激活种子内源物质,使作物提高抗逆性,从而提高种子发芽率^[2-3],增加作物产量,提早作物果实收获时间^[4]。近年来,国内外许多专家、学者均开展该项技术研究。Ghasempour等^[5]研究表明,冷等离子体可启动种子内部机制,改善幼苗性能、调节次生代谢循环、调控乙酰转移酶基因的表达。许东恒等^[6]研究表明,等离子体不同剂量处理花生种子,明显提高苗期根系数量、根系长度、下针期株高和下针率,且比对照增产增效。方向前等^[7]研究表明,等离子体处理的大豆种子能明显提高苗期的根系数,并提高开花率、结荚率,且等离子体处理大豆种子的最佳次数为2次,增产、增收效果显著,这可为大豆优质、高产、高效栽培技术的广泛应用提供有力的理论支撑。周筑文等^[8]研究表明,等离子体处理的玉米植株性状、产量和抗病虫能力均比对照(未处理)明显提高,植株株高提高15~20 cm,穗位高提高5 cm左右,每株果穗数增加1~2个,果穗长增加1~3 cm,产量增加0.1~0.5 kg·株⁻¹,其中,以电流1500 mA等离子体处理效果最佳。汤小婷等^[9]研究发现,等离子体处理提高了穿心莲种子活力,促进幼苗和植株生长,增强植株抗逆性。

目前关于冷等离子体处理在十字花科植物中研究不多,在西蓝花芽苗生产和贮藏品质研究方面^[10-11]有报道,在白菜类蔬菜中的应用研究较少。在课题组前期冷等离子体处理番茄、辣椒种子试验的基础上,笔者的试验设置不同剂量冷等离子体处理不结球白菜种子,探究其对不结球白菜种子萌发、生长、产量及品质的影响,为叶菜类优质、高产、高效栽培技术的广泛应用提供有力的理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为达美青梗菜,由南京市蔬菜科学研究所提供。试验地点位于南京市蔬菜科学研究所横溪科技园区温室大棚内,供试土壤基本肥力为有机质含量(w ,后同)28.49 g·kg⁻¹,全氮(N)含量1.56 g·kg⁻¹,速效磷(P₂O₅)含量1 013.66 mg·kg⁻¹,速效钾(K₂O)含量347.40 mg·kg⁻¹,土壤pH值为6.42。供试冷等离子体种子处理机为常州中科常泰等离子体科技有限公司提供。

1.2 试验设计

1.2.1 试验处理 试验采取单因素随机区组试验

设计,共设5个处理,其中以未经冷等离子体处理的种子作为对照(CK),冷等离子体处理T1、T2、T3、T4、T5的功率分别为40、60、80、100、120 W。每个冷等离子体处理设3次重复,每重复种子量为100粒,处理时间均为18 s。通过调控试验装置,采用不同的功率处理蔬菜种子。

1.2.2 种子萌发试验 2021年8月3日处理种子,处理过的种子经浸种吸胀后置于铺有两层滤纸的培养皿内,每个处理3次重复,每重复处理100粒。将培养皿放到GXZ人工智能光照培养箱内避光培养,温度23℃。

1.2.3 温室观测 2021年8月24日处理种子,经过浸种催芽,25日播种于装有混合基质的72穴育苗盘中。9月21日将具有3~4片真叶的蔬菜苗定植于日光温室内,随机区组排列,每个冷等离子体处理包括设3次重复试验,共需设18个小区,单个小区面积为36.0 m²(4.0 m×9.0 m)。行距25 cm,株距20 cm,整个生育期各处理的水肥管理一致。11月25日进行采收。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 种子发芽指标 从种子置床之日开始,每隔24 h观察种子萌发情况并统计发芽种子数(种子发芽试验以子叶露出为萌发标准),连续统计7 d。参照GB/T 3543.4—1995^[12],以第3天统计的累积发芽数计算发芽势,以第7天统计的累积发芽数计算发芽率。采用3,5-二硝酸水杨酸法^[13]测定萌发种子的α-淀粉酶活性,采用电导仪法^[14]测定种子的电导率。

$$\text{发芽率}/\% = \frac{\text{发芽株数}}{\text{总种子数}} \times 100; \quad (1)$$

$$\text{发芽指数}(GI) = \frac{Gt}{Dt}; \quad (2)$$

其中, Gt 为不同时间的发芽数, Dt 为不同的发芽试验时间。

$$\text{种子活力指数}(VI) = S \times GI; \quad (3)$$

S 为幼苗干质量。

1.3.2 生长指标 于定植后80 d采收,每小区随机取3个点,每点取5株,用直尺测定株高(cm)和根长(cm),取平均值。收获时,去除边行优势,每小区随机取样7.0 m²(1.4 m×5.0 m)进行产量统计,然后折算成667 m²产量。

1.3.3 品质指标 采收后每处理随机取3~5株青梗菜,混合取叶片,测定维生素C、硝酸盐、亚硝酸盐和叶绿素等的含量。各指标测定方法^[15-17]如下:采用2%的草酸浸提-酚二磺酸比色法测定维生素C含量;采用蒸馏水浸提-紫外分光光度法测定硝酸盐

含量;采用磺胺比色法测定亚硝酸盐含量;采用80%丙酮浸提法测定叶绿素含量。

1.4 数据处理

采用 EXCEL 2010 对数据进行处理,采用 SPSS 22.0 对试验数据进行方差分析和 Duncan's 多重比较,用平均值±标准误表示测定结果。

2 结果与分析

2.1 不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发的影响

由表 1 可以看出,冷等离子体处理对不结球白菜种子的萌发会产生一定的影响,不同功率冷等离子体的处理效果不同,不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发均有促进作用。其中 40~80 W 范围冷等离子体处理下,随着功率的升高各项种子

萌发指标值逐渐增加,80 W 处理下各指标值达到最高,80~120 W 范围冷等离子体处理,随着处理功率的升高,种子的各项指标值均下降。

与对照相比,各处理下不结球白菜种子的发芽势、发芽率和发芽指数虽均有所增加,但均未达显著差异水平。80 W 和 100 W 处理下的种子活力指数均显著高于对照,分别比对照提高 28.64%和 23.24%。

α -淀粉酶活性和电导率都是判断种子优劣和活力高低的重要指标。由表 1 可知,随着冷等离子体剂量的增加, α -淀粉酶活性表现出先增强后减弱的变化趋势,电导率表现出先下降后升高的变化趋势。其中 α -淀粉酶活性越高,说明种子活性越强。与对照相比,除 40 W 处理外,其他不同剂量冷等离子体处理后,不结球白菜种子的 α -淀粉酶活性均有所增强,其中 80 W 处理提高最多,显著提高了

表 1 不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发的影响

处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	活力指数	α -淀粉酶活性/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
CK	95.03±1.82 a	95.07±1.48 a	23.34±0.48 a	135.30±6.98 b	1.19±0.06 c	29.97±1.92 a
40 W	95.32±1.23 a	96.08±1.41 a	24.35±0.88 a	135.42±5.67 b	1.36±0.13 c	27.24±1.97 ab
60 W	95.34±0.74 a	98.05±2.08 a	24.75±0.64 a	155.42±7.20 ab	1.67±0.07 bc	25.39±1.48 ab
80 W	97.36±1.13 a	100.09±2.54 a	25.47±0.42 a	174.05±6.06 a	2.58±0.26 a	16.36±1.69 c
100 W	97.31±0.78 a	99.05±0.79 a	25.35±0.46 a	166.89±8.88 a	1.95±0.18 b	20.93±3.59 bc
120 W	96.07±1.13 a	98.54±0.73 a	25.04±0.36 a	156.68±2.90 ab	1.86±0.12 b	23.45±2.12 abc

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

116.81%,其次是 100 W 处理,也显著提高了 63.87%。各处理下种子浸泡液的电导率也都低于对照。80 W 处理的不结球白菜种子浸泡液电导率最低,为 $16.36\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。

2.2 不同剂量冷等离子体处理对定植后不结球白菜幼苗生长及产量的影响

由表 2 可以看出,冷等离子体处理后不结球白菜的株高和根长表现出与种子萌发同样的变化趋势,即 40~80 W 冷等离子体剂量范围内随着剂量的增加,不结球白菜株高和根长逐渐增加;80~120 W 范围内随着冷等离子体剂量的增加,不结球白菜株高和根长逐渐减少。不同剂量冷等离子体均能

促进不结球白菜的生长,且各处理下幼苗的株高和根长均高于对照,其中 80 W 处理下株高和根长最长,分别为 22.15 cm 和 19.74 cm,显著高于对照。

各冷等离子体处理下不结球白菜的产量均高于对照,40~80 W 处理单株质量和 $667\ \text{m}^2$ 产量逐渐增加,80~120 W 处理下逐渐减少。其中 80 W 冷等离子体处理下不结球白菜单株质量和 $667\ \text{m}^2$ 产量最高, $667\ \text{m}^2$ 产量比对照显著高 47.79%;其次是 100 W 处理,不结球白菜 $667\ \text{m}^2$ 产量显著高于对照 35.97%。

2.3 不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜品质的影响

由表 3 可以看出,各冷等离子体处理下不结球

表 2 不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜生长和产量的影响

处理	株高/cm	根长/cm	单株质量/g	$667\ \text{m}^2$ 产量/kg	较 CK+/%
CK	15.10±0.40 c	15.15±0.65 b	218.41±9.49 c	2 228.67±96.85 c	
40 W	17.09±0.88 bc	16.12±1.21 ab	250.18±7.89 bc	2 552.87±80.52 bc	14.55
60 W	19.96±0.28 ab	18.19±2.18 ab	287.71±7.90 ab	2 935.79±80.64 ab	31.73
80 W	22.15±1.29 a	19.74±1.08 a	322.79±6.86 a	3 293.76±70.02 a	47.79
100 W	19.94±1.67 ab	17.18±0.85 ab	296.97±32.64 ab	3 030.28±333.02 ab	35.97
120 W	18.51±0.52 b	15.99±0.51 ab	253.73±15.00 bc	2 589.12±153.06 bc	16.17

表3 不同剂量冷等离子体处理对不结球白菜品质的影响

处理	w(维生素C)/(mg·kg ⁻¹)	w(硝酸盐)/(μg·g ⁻¹)	w(亚硝酸盐)/(μg·g ⁻¹)	w(叶绿素)/(mg·g ⁻¹)	含水率/%
CK	124.56±5.91 d	597.58±38.47 ab	1.15±0.14 a	0.72±0.02 d	92.33±3.20 a
40 W	142.03±13.93 d	611.42±61.34 a	1.15±0.01 a	0.73±0.05 d	96.67±3.33 a
60 W	154.36±15.01 ab	507.83±29.69 ab	1.02±0.13 a	0.78±0.05 cd	92.67±4.36 a
80 W	203.41±19.07 bc	418.67±71.77 bc	1.10±0.07 a	0.95±0.07 bc	91.67±3.36 a
100 W	269.38±26.99 a	469.00±42.46 abc	1.15±0.13 a	1.18±0.09 a	98.67±6.74 a
120 W	242.30±17.17 ab	327.25±33.84 c	1.15±0.02 a	1.08±0.06 ab	73.33±6.69 a

白菜的维生素C含量均大幅度提高,60~120 W处理下维生素C含量显著高于CK,其中100 W处理的含量最高,达到269.38 mg·kg⁻¹,其次为120 W处理。叶绿素含量也有相同的变化趋势,除40 W和60 W处理以外,其他各功率的处理与CK差异显著,其中100 W处理下叶绿素含量增加了63.89%。与对照相比,除40 W冷等离子体处理外,其他处理不结球白菜硝酸盐含量都有所降低。不同功率的冷等离子体处理下,不结球白菜叶片中亚硝酸盐含量没有显著差异。冷等离子体处理下,不结球白菜叶片含水率与对照相比有所下降,但无显著差异。

3 讨论与结论

在播种前用等离子体种子处理机对种子进行处理,可以使蔬菜显著增产^[18-19]。等离子体种子处理技术就是提高种子活力的技术,前人研究发现,冷等离子体种子处理可明显促进大豆^[20]和芥菜^[21]种子等萌发和幼苗生长。在笔者的试验中,经不同剂量冷等离子体处理后,不结球白菜种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数较对照增加,80 W和100 W处理的不结球白菜种子活力指数显著高于对照。这可能是因为冷等离子体发出的能量作用于种子,激发了种子的潜能,提高了种子的活力,增强了种子的健壮度。冷等离子体处理后的不结球白菜种子的α-淀粉酶活性有所增强,种子浸泡液的电导率均低于对照,说明了冷等离子体处理能够有效提升不结球白菜种子活力。这一点与方向前等^[22]、周筑文等^[23]研究一致。笔者研究中种子发芽势、发芽率和发芽指数与对照相比并没有显著改善,可能与试验种子质量有关。

前人研究发现,冷等离子体处理种子后能促进蔬菜作物生长,提高蔬菜作物质量、产量。Maria等^[24]研究发现,冷等离子体种子处理可显著促进大豆种子萌发,改善生长发育、提高大豆产量。胡尊瑞等^[25]运用冷等离子体种子处理技术对黄瓜种子进

行小于20 s非电离辐射处理,发现经不同剂量冷等离子体处理后,黄瓜种子的发芽势、发芽率都显著高于对照,移栽期田间植株干质量、鲜质量、株高、叶面积、有雌蕊株比例都高于对照,其中80 W是最佳处理功率。笔者的试验中,冷等离子体处理后,不结球白菜的株高和根长比对照有所增加,单株质量和667 m²产量比对照有所提高,且都表现出40~120 W范围内先增加后减少的趋势,80 W处理达到最高,与前人研究结果一致。

笔者研究还发现,冷等离子体处理种子后,不结球白菜叶片的维生素C含量、叶绿素含量均有不同程度增加,叶片含水率未有显著变化。除40 W处理外,其他处理叶片硝酸盐含量均比对照有不同程度下降,但差异不显著。这可能是因为冷等离子体处理能够激活作物种子的内源物质,引发一些潜在基因活跃^[26],激发酶活性^[27],不结球白菜种子生理代谢加快,影响幼苗株高和根长,使植株生长旺盛^[28],维生素C含量和叶绿素含量增加^[29],且提高了肥料的有效利用率,使土壤中的养分更多地被作物所吸收,从而提高产量,改善蔬菜作物的品质^[30-32]。笔者研究表明,适宜功率的冷等离子体处理蔬菜种子,可以改善不结球白菜达美的品质。故下一步也可探究十字花科其他蔬菜对冷等离子体处理的敏感性,以期获得标准的诱导效率,为绿叶菜优质、高产、高效栽培提供有力的技术支撑。

综上所述,冷等离子体处理不结球白菜种子能够促进种子萌发,提高种子发芽势、发芽率和活力指数,使种子α-淀粉酶活性增强和种子浸泡液电导率减弱,达到提高种子活力、增强种子健壮度、出苗迅速整齐的目的。冷等离子体处理还可促进不结球白菜幼苗生长,使株高和根长增加,产量提高,还可提升维生素C、硝酸盐、叶绿素、亚硝酸盐含量等品质指标。其中80~100 W的冷等离子体处理对不结球白菜种子萌发、幼苗生长及产量提高的效果最好。

参考文献

- [1] 宋璟,岑慧芳,刘华玥,等.冷等离子体对作物种子处理效应的

- 研究进展[J].作物杂志,2021(6):9-14.
- [2] 贺泽霖,贾也纯,薛林,等.作物种子处理技术的研究现状与展望[J].黑龙江农业科学,2021(9):116-122.
- [3] 屈春勇.蔬菜种子处理技术研究进展[J].河南农业,2019(5):14-15.
- [4] 孙崇勇.试述园艺植物种子处理技术研究进展[J].现代园艺,2017(10):32.
- [5] GHASEMPOUR M, Iranbakhsh A, Ebadi M, et al. Seed priming with cold plasma improved seedling performance, secondary metabolism, and expression of deacetylindoline O - acetyltransferase gene in *Catharanthus roseus*[J]. Contributions to Plasma Physics, 2020, 60(4):e201900159.
- [6] 许东恒,石玉海,方向前,等.等离子体不同剂量处理花生种子对生物学性状和产量及产值的影响[J].黑龙江农业科学,2010(12):25-27.
- [7] 方向前,赵洪祥,刘淑琴,等.等离子体不同次数处理大豆种子对生物学性状产量及产值的影响[J].安徽农业科学,2013,41(3):987-988.
- [8] 周筑文,黄燕芬,何晓丽.等离子体处理玉米种子对其生物性状和产量的影响[J].贵州农业科学,2020,48(12):5-7.
- [9] 汤小婷,曾湘达,卓一南,等.等离子体对穿心莲种子萌发、幼苗和植株生长及抗逆性的影响[J].中药新药与临床药理,2017,28(3):383-387.
- [10] 高诗薇,朱禹蒙,王齐蕾,等.等离子体处理对西蓝花芽苗生产及活性物质含量的影响[J].食品工业科技,2022,43(12):117-123.
- [11] 张勇,张志伟,程晨霞,等.低温等离子体处理提高鲜切西蓝花贮藏品质[J].现代食品科技,2021,37(2):164-170.
- [12] 国家技术监督局.农作物种子检验规程发芽试验:GB/T 3543.4—1995[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [13] 吕晓桂,王鹏,石磊,等.大气压等离子体处理对芥菜生长初期特性的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2021,42(1):99-103.
- [14] 王佳琪,崔东洁,阴悦,等.大气压低温等离子体处理对拟南芥幼苗抗氧化系统的影响[J].植物生理学报,2020,56(3):423-430.
- [15] 王志新,胡俊杰,金伊洙,等.等离子体对生菜幼苗生育的影响[J].吉林蔬菜,2014(4):39-40.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京,高等教育出版社,2000.
- [17] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会.现代植物生理实验指南[M].北京,科学出版社,1999.
- [18] 姚东伟,李明,吴凌云,等.种子物理处理技术研究与应用概况[J].种子,2019,38(1):135-138.
- [19] 沈颖,黄智文,田永红,等.蔬菜种子处理技术研究进展[J].中国种业,2016(2):10-13.
- [20] 李德陆,于晶,郑殿臣,等.桦甸市等离子体处理大豆种子的效果研究[J].现代农业科技,2018(23):16.
- [21] 吕晓桂,王鹏,利民,等.大气压氩气冷等离子体射流处理对芥菜种子发芽率及根长的影响 4[J].核聚变与等离子体物理,2019,39(2):188-192.
- [22] 方向前,邱萍,赵洪祥,等.等离子体不同次数处理花生种子对生物学性状、产量及产值的影响[J].吉林农业科学,2013,38(1):1-3.
- [23] 周筑文,黄燕芬,杨思泽,等.大气压等离子体处理对番茄生长发育及产量与品质的影响[J].安徽农业科学,2010,38(2):1085-1088.
- [24] PEREZ-PIZA M C, PREVOSTO L, GRIJALBA P E, et al. Improvement of growth and yield of soybean plants through the application of non-thermal plasmas to seeds with different health status[J].Heliyon,2020,6(1):e03081.
- [25] 胡尊瑞,李志强,吴晓云,等.冷等离子体处理对黄瓜幼苗特性的影响[J].西南农业学报,2016,29(12):2935-2938.
- [26] 李玲,申民翀,李建刚,等.冷等离子体种子处理对油料作物种子萌发及幼苗生长的影响[J].江西农业学报,2015,27(8):1-5.
- [27] 张景楼,卞桂杰,王清发,等.等离子体处理甜菜种子的试验效果[J].中国糖料,2004(1):12-14.
- [28] TONG J Y, HE R, ZHANG X L, et al. Effects of atmospheric pressure air plasma pretreatment on the seed germination and early growth of *Andrographis paniculata*[J]. Plasma Science & Technology, 2014, 16(3):260-266.
- [29] PENG J, YU D S, WANG L Q, et al. *Arabidopsis* F-box gene *FOA1* involved in ABA signaling[J]. Science China-Life Sciences, 2012, 55(6):497-506.
- [30] 胡尊瑞,李志强,吴晓云,等.冷等离子体处理对黄瓜幼苗特性的影响[J].西南农业学报,2016,29(12):2935-2938.
- [31] CHERRY N, THAKUR A K, NALAW C. Seed quality enhancement through plasma treatment: A review[J]. Indian Journal of Ecology, 2018, 45(4):814-821.
- [32] 赵东晓,杜建勋,董亚茹,等.常压室温等离子体对 NaCl 胁迫下胡麻种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].核农学报,2018,32(8):1466-1476.