

植物生长调节剂对万寿菊种子萌发和幼苗生长的影响

郭豪^{1,2}, 王浩^{1,2}, 王璞³, 杨付光³, 吕兴娜^{1,2}

(1. 河北省植物资源综合利用重点实验室, 河北邯郸 056000; 2. 晨光生物科技集团股份有限公司, 河北邯郸 056000;

3. 晨光生物科技集团腾冲有限公司, 云南腾冲 679100)

摘要: 为提高万寿菊种子发芽率并培育健壮幼苗, 以色素万寿菊韩春梅为材料, 采用二因素完全随机试验设计, 共设置5种植物生长调节剂处理(赤霉素、水杨酸、烯效唑、赤霉素+水杨酸、水杨酸+烯效唑)和4个浸种时长(3、6、12、24 h)处理, 同时以加入等量蒸馏水为对照, 研究不同组合对万寿菊种子萌发、植株生长、光合色素及丙二醛(MDA)含量的影响。结果表明, 浸种时间为6 h, 均能促进万寿菊种子萌发; 添加赤霉素、烯效唑和赤霉素+水杨酸处理后, 发芽率分别提升12.00%、6.67%和17.77%, 其中, 烯效唑处理后万寿菊株高矮化、茎粗增大、地上部鲜质量/干质量、地下部鲜质量/干质量及壮苗指数均显著增加。此外, 烯效唑浸种6 h后, 叶绿素a、b含量及可溶性糖含量增长量较大, 与对照相比分别升高35.28%、24.61%和17.42%, MDA含量较对照降低10.73%, 且差异显著。隶属函数综合评价分析显示, 烯效唑浸种6 h效果最佳(D值=0.86)。综上所述, 烯效唑浸种6 h, 不仅提高了万寿菊种子发芽率、增强了幼苗光合作用、积累了更多有机物质, 还减少了细胞膜脂过氧化损伤, 该处理有利于培育万寿菊健壮幼苗。

关键词: 万寿菊; 植物生长调节剂; 种子萌发; 幼苗生长; 隶属函数

中图分类号: S681.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)04-0118-09

Effects of Plant Growth Regulators on Seed Germination and Seedling Growth of *Tagetes erecta* L.

GUO Hao^{1,2}, WANG Hao^{1,2}, WANG Pu³, YANG Fuguang³, LÜ Xingna^{1,2}

(1. Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Plant Resources in Hebei Province, Handan 056000, China;

2. Chenguang Biotech Group Co., Ltd., Handan 056000, China; 3. Chenguang Biotech Group

Tengchong Co., Ltd., Tengchong 679100, China)

Abstract: In order to improve the germination rate of *Tagetes erecta* L. seeds and cultivate healthy seedlings, in this study, pigmented *Tagetes erecta* L. Han Chunmei was used as the material, by two factor fully randomized experimental design, five types of plant growth regulators (gibberellin, salicylic acid, uniconazole, gibberellin + salicylic acid, and salicylic acid + uniconazole) were tested at four different soaking times (3, 6, 12, and 24 h), at the same time, adding an equal amount of distilled water as a control, the effects of these various combinations on seed germination, plant growth, photosynthetic pigments, and malondialdehyde (MDA) content in *Tagetes erecta* L. were studied. The results indicated that soaking seeds for 6 hours promoted *Tagetes erecta* L. seed germination, with the germination rate increasing by 12.00%, 6.67%, and 17.77% respectively after the addition of gibberellin, uniconazole, and gibberellin + salicylic acid. Treatment with uniconazole shortened plant height, increased stem diameter, and significantly increased aboveground fresh/dry weight, underground fresh/dry weight, and the strong seedling index of *Tagetes erecta* L. Furthermore, soaking seeds with uniconazole for 6 hours led to the high increase in chlorophyll a, b and soluble sugar contents, rising by 35.28%, 24.61%, and 17.42% respectively compared to the control group, while reduced MDA content by 10.73% with significant difference. The comprehensive evaluation analysis using the membership function indicated that soaking seeds with uniconazole for 6 hours yielded the best results (D=0.86). In conclusion, soaking *Tagetes erecta* L. seeds with uniconazole for 6 hours not only improved the seed germination rate, enhanced photosynthesis in *Tagetes erecta* L. seedlings, and accumulated more organic substances, but also reduced cell membrane lipid peroxidation damage, thus the treatment benefited the cultivation of healthy *Tagetes erecta* L. seedlings.

Key words: *Tagetes erecta* L.; plant growth regulators; seed germination; seedling growth; membership function

收稿日期: 2023-10-14

基金项目: 邯郸市科技计划重点项目(2211201008)

作者简介: 郭豪(1995-), 男, 河北邯郸人, 硕士, 主要从事万寿菊栽培育种研究工作。

通信作者: 吕兴娜(1989-), 女, 河北保定人, 工程师, 硕士, 主要从事万寿菊栽培育种研究工作。

万寿菊(*Tagetes erecta* L.)是菊科万寿菊属1年生草本植物,不仅具有极高的观赏价值,而且具有重要的药用价值,目前已取得较好的社会效益和经济效益^[1]。但随着种植面积扩大,叶斑病成为制约其发展的重要因素之一,何冬云等^[2]研究发现,万寿菊种子表面带菌率为6.0%~85.0%,优势菌链格孢(*Alternaria* spp)是叶斑病发生的致病菌,种子是该病原菌在万寿菊上的重要传播途径之一。沈锦等^[3]研究表明,啞菌酯1 800倍稀释液浸种对链格孢的杀菌率为96.65%,但种子发芽率明显受到抑制,与田月娥等^[4]在绿豆、红豆中研究结果一致。周其宇^[5]通过植物生长调节剂浸泡番茄、辣椒种子,提高了种子发芽率、发芽势。王小松等^[6]研究发现,赤霉素浸种对苦荞种子萌发和幼苗生长均具有促进作用。通过添加不同植物生长调节剂,探索万寿菊最佳浸种药剂及时间,以期在杀菌的同时促进种子萌发及幼苗生长。

赤霉素(Gibberellin, GA₃)和水杨酸(Salicylic acid, SA)在解除种子休眠、促进萌发方面具有重要的调控作用,其中,SA还可以抵御生物或非生物胁迫造成的损伤^[7-9]。烯效唑(Uniconazole, S3307)是一种高效、低毒、无残留的植物生长延缓剂^[10],韩毅强^[11]用S3307处理大豆种子,克服了农药副作用且保证大豆出苗,有利于大豆壮苗培育^[11]。植物生长调节剂浸种在多种作物中均有研究,但在万寿菊上鲜见报道,且不同作物的种子适宜植物生长调节剂种类差别较大^[12]。万寿菊育苗是栽培的重要环节,发芽率高、发芽势强的种子出苗快且整齐,有利于幼苗旺盛生长,且幼苗的质量对后期的生长发育和产量品质有显著影响^[13]。因此,深入研究不同植物生长调节剂对万寿菊种子萌发及幼苗生长的作用,对提高万寿菊种子发芽率和壮苗的培育具有重要意义。

本试验以色素万寿菊为试材,在前期试验结果的基础上,添加5种植物生长调节剂处理(GA₃、SA、S3307、SA+GA₃和SA+S3307),并设置4个浸种时间,研究不同处理对种子萌发、幼苗形态变化、光合色素、可溶性糖含量和丙二醛(MDA)含量的影响,以期万寿菊标准化育苗与高产栽培提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试品种为色素万寿菊杂交种F₁韩春梅,由晨

光生物科技集团腾冲有限公司惠赠。

供试药剂:25%啞菌酯悬浮剂,购自先正达公司;赤霉素GA₃(CAS号:77-06-5,纯度>90.0%)、水杨酸SA(CAS号:69-72-7,纯度>99.5%),购自北京索莱宝科技有限公司;5%烯效唑S3307可湿性粉剂,购自四川润尔科技有限公司。

1.2 试验方法

试验于2023年6—9月在河北省综合利用重点实验室进行。挑选饱满一致的万寿菊种子,在加入啞菌酯1 800倍稀释液的基础上,添加5种植物生长调节剂(200 mg/L GA₃、0.2 mmol/L SA、15 mg/L S3307、200 mg/L GA₃+0.2 mmol/L SA和0.2 mmol/L SA+15 mg/L S3307)浸泡处理,并设置4个浸种时间(3、6、12、24 h),同时以加入等量蒸馏水为对照(CK),试验处理及编号见表1。

表1 浸种处理
Tab.1 Seed soaking treatments

处理 Treatment	生长调节剂 Growth regulator	浸种时间/h Soaking time
CK	蒸馏水	3、6、12、24
T1	200 mg/L GA ₃	3、6、12、24
T2	0.2 mmol/L SA	3、6、12、24
T3	15 mg/L S3307	3、6、12、24
T4	200 mg/L GA ₃ +0.2 mmol/L SA	3、6、12、24
T5	0.2 mmol/L SA+15 mg/L S3307	3、6、12、24

植物生长调节剂处理后,用去离子水冲洗种子2~3遍,平铺于垫有2层无菌滤纸培养皿(直径10 cm)中,放入人工气候箱25℃条件下黑暗培养,每天补水并清洗种子。每个培养皿中50粒种子,每个处理3次重复,以露白长度2 mm为萌发标准,7 d后统计发芽率。第8天播种于营养钵中(规格13 cm×15 cm),放置于温度昼/夜25℃/20℃,光周期14 h/10 h,光强2 000 lx,相对湿度75%的人工气候箱内培养。待生长30 d后,挑选整齐一致的植株测定生长及生理指标,取样包括3次生物学重复,每个重复包含10株,从植株相同部位剪取叶片,等量混匀后放入液氮中速冻,然后置于-20℃冰箱中备用。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长指标 植物生长调节剂浸种后测定种子发芽率,30 d后测定株高、茎粗、植株鲜质量/干质量、壮苗指数。其中,发芽率测定参考LI等^[14]的方法进行,分别称量地上部与地下部鲜质量,然后105℃杀青15 min,80℃烘干至恒质量,测定干质

量^[15];壮苗指数参照杨玉良等^[16]的方法进行测定。

$$\text{壮苗指数} = (\text{茎粗}/\text{株高} + \text{地上干质量}/\text{地下干质量}) \times \text{全株干质量} \quad (1)$$

1.3.2 生理指标 参考 LICHTENTHALER^[17]的方法测定万寿菊幼苗叶绿素 a、b 的含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,硫代巴比妥酸显色法测定 MDA 含量^[18]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 处理原始数据;采用 SPSS

19.0 对数据进行差异显著性分析($P < 0.05$),邓肯氏检验法进行多重比较;应用隶属函数法对所有处理组进行综合评价^[19]。

2 结果与分析

2.1 植物生长调节剂对万寿菊种子萌发的影响

植物生长调节剂对万寿菊种子发芽率影响如表 2 所示。

表 2 植物生长调节剂对万寿菊种子发芽率的影响
Tab.2 Effect of plant growth regulators on germination rate of *Tagetes erecta* L. seeds %

处理 Treatment	浸种时间/h Soaking time			
	3	6	12	24
CK	67.33±3.06fgh	75.00±4.58def	73.00±5.57defg	70.67±5.13efgh
T1	63.33±5.03h	84.00±2.00abc	86.67±1.53ab	73.67±3.21def
T2	67.67±1.53fgh	72.00±4.00efg	70.33±6.43efgh	65.00±5.00gh
T3	73.67±3.21def	80.00±8.00bcd	74.33±2.08def	49.67±5.51i
T4	68.00±4.00fgh	88.33±4.51a	67.67±2.52fgh	47.33±2.31i
T5	72.00±2.00efg	77.67±3.79cde	67.33±3.06fgh	49.33±3.06i

注:不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。表 3、4 同。
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at the 0.05 level. The same as Tab.3,4.

由表 2 可知,不同植物生长调节剂及浸种时间对万寿菊发芽率影响差异显著,随着浸种时间的延长,发芽率先升高后降低的变化趋势。除 T1 (GA₃) 外,均在浸种 6 h 后达到峰值,其中, T4 (GA₃+SA) 处理后发芽率最高,为 88.33%,较 CK 提升 17.77%;浸种 12 h 后, T1(GA₃) 处理发芽率最高,为 86.67%,较 CK 提升 18.73%,其他处理发芽率均显著下降($P < 0.05$);不同处理在浸种 24 h 后下降最显著($P < 0.05$),其中, T4(GA₃+SA) 发芽

率最低,为 47.33%。综合上述分析,浸种时间对万寿菊种子萌发影响差异显著,浸种时间以 6 h 效果最佳,且 GA₃ 单独使用或与 SA 复配处理均可显著提升万寿菊种子的萌发率。

2.2 植物生长调节剂对万寿菊苗期农艺性状的影响

植物生长调节剂不同浸种时间对万寿菊苗期农艺性状的影响如表 3 所示。

表 3 植物生长调节剂不同浸种时间对万寿菊苗期农艺性状的影响
Tab.3 Effects of different soaking time of plant growth regulators on agronomic traits of *Tagetes erecta* L. at seedling stage

浸种时间/h Soaking time	处理 Treatment	株高/cm Plant height	根长/cm Root length	茎粗/cm Stem diameter	地上部鲜质量/(g/株) Aboveground fresh weight	地下部鲜质量/(g/株) Underground fresh weight	地上部干质量/(g/株) Aboveground dry weight	地下部干质量/(g/株) Underground dry weight	壮苗指数 Strong seedling index
3	CK	18.09±1.97abcde	22.46±4.36abc	0.35±0.05cd	2.14±0.55j	1.16±0.14fg	0.14±0.04jk	0.07±0.02fgh	0.11±0.04cdef
		16.38±1.31fghi	24.76±5.18abc	0.35±0.05cd	2.74±0.48hij	1.16±0.12fg	0.18±0.04hijk	0.07±0.01fgh	0.10±0.03cdef
	T1	16.86±1.40cdefg	21.61±2.89bc	0.36±0.06cd	2.38±0.25ij	1.00±0.25g	0.15±0.04jk	0.05±0.01h	0.07±0.02f
		16.02±1.50ghi	24.67±5.29abc	0.49±0.05a	3.34±0.50cdefgh	1.65±0.39de	0.26±0.05bcde	0.09±0.02cdef	0.14±0.03cde
	T2	16.67±1.36defg	21.44±4.38c	0.33±0.03c	3.04±0.31fghi	1.21±0.10fg	0.24±0.05cdef	0.07±0.01fgh	0.09±0.02ef
		17.22±1.22bcdefg	26.61±6.14ab	0.46±0.05a	3.50±0.31bcdefg	1.68±0.60de	0.26±0.03bcde	0.10±0.02bcde	0.15±0.04bcd

续表3 植物生长调节剂不同浸种时间对万寿菊苗期农艺性状的影响
 Tab.3(Continued) Effects of different soaking time of plant growth regulators on agronomic traits of *Tagetes erecta* L. at seedling stage

浸种时间/h Soaking time	处理 Treatment	株高/cm Plant height	根长/cm Root length	茎粗/cm Stem diameter	地上部鲜质量/(g/株) Aboveground fresh weight	地下部鲜质量/(g/株) Underground fresh weight	地上部干质量/(g/株) Aboveground dry weight	地下部干质量/(g/株) Underground dry weight	壮苗指数 Strong seedling index
6	CK	18.14±	20.89±	0.33±	3.39±	1.50±	0.22±	0.07±	0.11±
		1.43abcd	4.11c	0.04d	0.25cdefgh	0.26ef	0.04efgh	0.02efgh	0.04cdef
	T1	17.756±	22.89±	0.33±	3.25±	1.47±	0.21±	0.08±	0.11±
		1.18abcdef	5.75abc	0.02c	0.33cdefgh	0.22ef	0.03fghi	0.03defg	0.05cdef
	T2	18.46±	27.09±	0.37±	3.51±	1.99±	0.21±	0.09±	0.13±
		1.13abc	4.98a	0.03cd	0.46bcdefg	0.21abcd	0.04fghi	0.02cdefg	0.05cde
	T3	14.92±	25.44±	0.49±	4.63±	2.14±	0.31±	0.13±	0.20±
		1.18i	5.75abc	0.06a	0.78a	0.34abc	0.03a	0.03a	0.06a
	T4	18.06±	23.28±	0.33±	3.94±	1.80±	0.29±	0.10±	0.15±
		1.22abcde	4.37abc	0.03c	0.68bc	0.36cde	0.04abc	0.02bcd	0.04bcd
T5	14.93±	24.87±	0.49±	4.10±	2.17±	0.31±	0.13±	0.20±	
	1.92i	3.20abc	0.04a	0.72ab	0.45ab	0.04a	0.03a	0.06a	
12	CK	17.62±	22.06±	0.36±	3.32±	1.64±	0.20±	0.06±	0.09±
		1.08abcdef	4.77abc	0.04cd	0.643cdefgh	0.33de	0.03fghi	0.02gh	0.03ef
	T1	18.69±	20.78±	0.35±	3.16±	1.66±	0.20±	0.06±	0.09±
		0.98ab	2.73c	0.04cd	0.50defgh	0.43de	0.04ghij	0.02gh	0.04ef
	T2	17.87±	20.72±	0.33±	2.89±	1.25±	0.19±	0.07±	0.10±
		1.25abcdef	3.62c	0.03c	0.56fghi	0.22fg	0.05hjik	0.03fgh	0.05def
	T3	17.63±	26.67±	0.50±	3.79±	2.16±	0.31±	0.10±	0.15±
		1.82abcdef	5.22ab	0.06a	0.87bcde	0.46ab	0.05a	0.03bc	0.04bc
	T4	18.20±	24.06±	0.39±	3.54±	1.67±	0.27±	0.10±	0.15±
		1.07abcd	2.01abc	0.02bc	0.49bcdef	0.32de	0.05abcd	0.04bcde	0.07bcd
T5	16.51±	25.22±	0.5±	3.88±	2.33±	0.30±	0.12±	0.19±	
	1.15efgh	4.97abc	0.04a	1.33bcd	0.45a	0.05ab	0.03ab	0.07ab	
24	CK	17.46±	24.44±	0.34±	3.02±	1.50±	0.19±	0.06±	0.09±
		1.48abcdeg	3.40abc	0.04c	0.58fghi	0.29ef	0.05hij	0.02gh	0.03ef
	T1	17.40±	23.89±	0.36±	2.95±	1.47±	0.19±	0.05±	0.07±
		1.62abcdefg	3.59abc	0.03cd	0.61fghi	0.22ef	0.03hij	0.01h	0.02f
	T2	18.92±	22.89±	0.33±	2.80±	1.48±	0.17±	0.06±	0.10±
		1.37a	4.99abc	0.02	0.86ghij	0.36ef	0.05ijk	0.02gh	0.04ef
	T3	15.00±	23.44±	0.42±	3.30±	1.99±	0.24±	0.09±	0.13±
		1.58i	5.88abc	0.07b	0.55cdefgh	0.54abcd	0.04cdef	0.03cdefg	0.06cde
	T4	17.77±	22.00±	0.37±	3.09±	1.68±	0.21±	0.07±	0.11±
		1.73abcdef	1.87bc	0.03cd	0.46efgh	0.16de	0.05fghi	0.02efgh	0.03cdef
T5	15.12±	24.83±	0.46±	3.32±	1.88±	0.24±	0.08±	0.12±	
	1.50hi	2.21abc	0.05a	1.04cdefgh	0.38bcd	.04defg	0.03cdefg	0.05cde	

通过万寿菊苗期农艺性状测定,结果发现(表3),不同浸种时间具有相似的变化规律,壮苗指数均在T3和T5处理后显著升高,在浸种6h时达到峰值,此时,除根长外,其他生长指标均在T3和T5处理后差异显著($P<0.05$)。其中,株高较CK分别降低17.78%和17.70%;茎粗、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量、壮苗指数较CK分别增加48.65%和47.64%、36.89%和21.17%、43.21%和45.29%、40.91%和40.40%、73.13%和71.64%、82.11%和75.17%。表明T3和T5处理有利于植株矮化、茎粗增大、积累更多鲜/干物质,壮苗指数显著增高。

2.3 植物生长调节剂对万寿菊苗期生理指标的影响

植物利用捕光色素如叶绿素收集光合作用所需要的能量,在绿色植物中,叶绿素a、b是主要的捕光色素^[20]。从表4可以看出,不同植物生长调节剂和浸种时间对叶绿素a含量影响差异显著($P<0.05$),其中,T3和T5处理在浸种3、6、12、24h时叶绿素a含量均有显著提高,较CK分别提高65.12%和55.87%,50.11%和51.90%,58.96%和57.12%,66.93%和70.90%,其中,以T5处理浸种6h叶绿素a含量最高。当浸种时间为3、6、12h时,叶绿素b含量在T3处理达到峰值,较CK分别提高20.37%、24.61%和20.35%,其中,浸种时间为12h

时叶绿素 b 含量最高。

表 4 植物生长调节剂不同浸种时间对万寿菊幼苗生理指标的影响

Tab.4 Effects of different soaking time of plant growth regulators on physiological indexes of *Tagetes erecta* L. seedlings

浸种时间/h Soaking time	处理 Treatment	叶绿素 a 含量/(mg/g) Chlorophyll a content	叶绿素 b 含量/(mg/g) Chlorophyll b content	可溶性糖含量/% Soluble sugar content	MDA 含量/($\mu\text{mol/g}$) MDA content
3	CK	0.333 \pm 0.03hij	0.21 \pm 0.01efg	2.45 \pm 0.05h	2.94 \pm 0.03cdefg
	T1	0.37 \pm 0.04fghi	0.19 \pm 0.03g	2.48 \pm 0.10gh	2.98 \pm 0.12cdef
	T2	0.42 \pm 0.03def	0.21 \pm 0.01efg	2.54 \pm 0.05efgh	2.88 \pm 0.13defgh
	T3	0.55 \pm 0.01a	0.26 \pm 0.01abcd	2.60 \pm 0.04cdef	2.54 \pm 0.02gh
	T4	0.39 \pm 0.03fgh	0.20 \pm 0.01g	2.71 \pm 0.03b	2.82 \pm 0.39defgh
6	CK	0.37 \pm 0.03fghi	0.21 \pm 0.01efg	2.44 \pm 0.07h	2.82 \pm 0.08defgh
	T1	0.38 \pm 0.02fgh	0.20 \pm 0.01g	2.64 \pm 0.08bcde	2.64 \pm 0.09fgh
	T2	0.39 \pm 0.04efgh	0.21 \pm 0.01efg	2.62 \pm 0.04bcde	2.50 \pm 0.22h
	T3	0.55 \pm 0.01a	0.26 \pm 0.01abc	2.86 \pm 0.15a	2.52 \pm 0.04h
	T4	0.41 \pm 0.01defg	0.21 \pm 0.01fg	2.95 \pm 0.02a	2.49 \pm 0.28h
12	CK	0.34 \pm 0.02hi	0.22 \pm 0.01defg	2.46 \pm 0.07gh	3.30 \pm 0.08bc
	T1	0.25 \pm 0.09k	0.22 \pm 0.04defg	2.54 \pm 0.04efgh	2.84 \pm 0.20defgh
	T2	0.38 \pm 0.02fgh	0.21 \pm 0.02efg	2.67 \pm 0.07bed	3.33 \pm 0.20bc
	T3	0.55 \pm 0.02a	0.27 \pm 0.02ab	2.92 \pm 0.01a	3.16 \pm 0.11bcd
	T4	0.46 \pm 0.04bcd	0.23 \pm 0.01cdefg	2.92 \pm 0.02a	3.07 \pm 0.16bcde
24	CK	0.31 \pm 0.03ijk	0.21 \pm 0.01efg	2.45 \pm 0.01h	3.45 \pm 0.11b
	T1	0.28 \pm 0.04jk	0.19 \pm 0.02g	2.49 \pm 0.01fgh	3.20 \pm 0.21bcd
	T2	0.35 \pm 0.05ghi	0.20 \pm 0.02fg	2.47 \pm 0.01gh	3.98 \pm 0.63a
	T3	0.51 \pm 0.05abc	0.25 \pm 0.03bcde	2.52 \pm 0.07efgh	3.24 \pm 0.04bcd
	T4	0.45 \pm 0.02cde	0.221 \pm 0.01defg	2.57 \pm 0.02defg	3.34 \pm 0.08bc
	T5	0.53 \pm 0.02a	0.29 \pm 0.06a	2.60 \pm 0.03bcdef	4.01 \pm 0.02a

可溶性糖是植物中重要的营养成分之一,可以用作能源的贮藏和传递介质,同时它也是一种很好抗逆能力的标志^[21]。添加不同植物生长调节剂浸种后,均有利于万寿菊幼苗中可溶性糖含量增加,尤其是在浸种 6 h 时升高最明显,T1~T5 处理与 CK 相比分别提升 8.15%、7.67%、17.42%、20.98% 和 20.02%,在 T4 处理达到峰值,T5 处理次之。同时,MDA 含量在浸种 6 h 降低最明显,T1、T2、T3、T4、T5 处理与 CK 相比分别降低 6.63%、11.51%、10.73%、11.63% 和 10.92%,T4 处理后 MDA 含量最低,即膜脂过氧化损伤最小,T2 处理次之。综上所述,植物生长调节剂浸种,可以通过提高叶绿素 a、b 含量及可溶性糖含量和降低 MDA 含量提高幼苗抗逆性,浸种时间以 6 h 效果最佳。

2.4 各指标相关性分析

以不同浸种处理后测定的 12 个指标为依据,

计算各指标相关关系,结果如表 5 所示,生长及生理指标之间具有密切相关关系,其中,茎粗与 9 个指标存在极显著相关性($P < 0.01$),与株高呈极显著负相关($r = -0.63$),与根长($r = 0.68$)地上部鲜/干质量($r = 0.62、0.54$)、地下部鲜/干质量($r = 0.74、0.77$)、叶绿素 a、b 含量($r = 0.87、0.91$)和可溶性糖含量($r = 0.55$)呈极显著正相关($P < 0.01$)。株高与各指标呈负相关关系,与地上部干质量($r = -0.47$)和地下部干质量($r = -0.47$)呈显著负相关($P < 0.05$);与叶绿素 a、b 含量($r = -0.67、-0.62$)呈极显著负相关($P < 0.01$)。此外,MDA 与发芽率($r = -0.64$)呈极显著负相关($P < 0.01$)。由此可见,茎粗与万寿菊幼苗农艺性状(株高、根长、植株鲜/干质量)和生理指标(叶绿素 a、b 及可溶性糖含量)具有密切相关关系,其可能是培育万寿菊壮苗的重要指标之一。

表5 生长指标及生理指标相关性分析
Tab.5 Correlation analysis of growth and physiological indexes

指标 Index	发芽率 Germination rate	株高 Plant height	根长 Root length	茎粗 Stem diameter	地上部鲜质量 Aboveground fresh weight	地下部鲜质量 Underground dry weight	地上部干质量 Aboveground dry weight	地下部干质量 Underground dry weight	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	MDA
发芽率 Germination rate	1											
株高 Plant height	0.30	1										
根长 Root length	-0.01	-0.33	1									
茎粗 Stem diameter	-0.09	-0.63**	0.68**	1								
地上部鲜质量 Aboveground fresh weight	0.34	-0.38	0.51*	0.62**	1							
地下部鲜质量 Underground dry weight	0.05	-0.36	0.61**	0.74**	0.85**	1						
地上部干质量 Aboveground dry weight	0.21	-0.47*	0.54**	0.75**	0.91**	0.80**	1					
地下部干质量 Underground dry weight	0.19	-0.47*	0.61**	0.77**	0.87**	0.82**	0.91**	1				
叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content	-0.23	-0.67**	0.57**	0.87**	0.62**	0.64**	0.70**	0.80**	1			
叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content	-0.23	-0.62**	0.50*	0.91**	0.56**	0.73**	0.67**	0.66**	0.81**	1		
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.32	-0.23	0.42*	0.55**	0.75**	0.61**	0.85**	0.82**	0.63**	0.45*	1	
MDA	-0.64**	0.08	-0.14	-0.11	-0.36	-0.09	-0.34	-0.40	-0.16	0.12	-0.36	1

注: *和**分别表示 0.05 显著相关和 0.01 水平极显著相关。

Note: * and ** indicated significant correlation at 0.05 and extremely significant correlation 0.01 levels, respectively.

2.5 各指标隶属函数综合评价分析

以植物生长调节剂浸种不同时间后测定的万寿菊各指标为依据,计算相应隶属函数值,以期筛选最优浸种组合。由表 6 可知,隶属函数综合值最大为 0.86,即 T3 处理浸种 6 h,是本试验处理组中最优组合,有利于提高万寿菊种子发芽率、植株鲜/干质量、叶绿素及可溶性糖含量,降低 MDA 含量,

增强幼苗抗性。此外,T5 浸种 6 h 和 12 h 隶属函数值分别为 0.83 和 0.78,同样有利于幼苗健壮生长,但浸种时间过长影响种子萌发。CK 浸种 3 h 隶属函数综合值最小(0.15)。综上所述,植物生长调节剂种类及浸种时间对万寿菊幼苗影响差异显著,其中 T3 处理浸种 6 h 有利于万寿菊发芽率提高及优质壮苗培育。

表6 隶属函数综合分析
Tab.6 Comprehensive analysis of membership function

浸种时间/h Soaking time	处理 Treatment	综合指标值 Comprehensive index value				隶属函数值 Membership function value				D 值 D value	排序 Sort
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄		
3	CK	-1.24	-0.23	-0.69	0.80	0.00	0.51	0.29	0.43	0.15	24
	T1	-0.78	-0.39	-1.22	1.41	0.15	0.48	0.15	0.27	0.22	21
	T2	-1.10	-0.37	-1.81	-0.09	0.05	0.48	0.00	0.65	0.17	23
	T3	0.79	-0.19	-1.62	0.80	0.64	0.52	0.05	0.43	0.56	8
	T4	-0.54	0.36	-1.18	-1.34	0.22	0.63	0.17	0.97	0.35	14
	T5	0.78	0.10	-0.19	1.57	0.64	0.58	0.43	0.24	0.59	6

续表 6 隶属函数综合分析
Tab.6 (Continued) Comprehensive analysis of membership function

浸种时间/h Soaking time	处理 Treatment	综合指标值 Comprehensive index value				隶属函数值 Membership function value				D 值 D value	排序 Sort
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄		
6	CK	-0.69	0.69	-0.13	-0.94	0.18	0.70	0.44	0.86	0.34	15
	T1	-0.48	1.29	-0.42	0.10	0.24	0.82	0.37	0.60	0.39	12
	T2	0.14	0.85	0.83	2.50	0.44	0.73	0.70	0.00	0.49	10
	T3	1.92	0.63	-0.88	-0.26	1.00	0.68	0.25	0.69	0.86	1
	T4	0.43	2.18	0.50	-0.96	0.53	1.00	0.61	0.87	0.65	5
	T5	1.79	0.50	-1.05	-0.50	0.96	0.66	0.20	0.76	0.83	2
12	CK	-0.64	-0.06	0.56	-0.47	0.19	0.54	0.62	0.75	0.33	17
	T1	-0.82	1.19	0.63	-0.70	0.13	0.80	0.64	0.80	0.35	13
	T2	-0.90	0.04	0.08	-1.48	0.11	0.57	0.50	1.00	0.29	18
	T3	1.48	-0.02	1.52	0.55	0.86	0.55	0.88	0.49	0.78	4
	T4	0.42	0.43	1.01	-0.67	0.52	0.64	0.74	0.80	0.58	7
	T5	1.55	-0.44	0.99	-0.36	0.88	0.47	0.74	0.72	0.78	3
24	CK	-0.78	-0.30	0.73	0.95	0.15	0.50	0.67	0.39	0.27	19
	T1	-0.97	0.13	0.26	1.00	0.09	0.58	0.55	0.38	0.24	20
	T2	-1.12	-0.75	1.99	-0.02	0.04	0.40	1.00	0.63	0.22	22
	T3	0.46	-1.71	-0.84	-0.53	0.54	0.21	0.26	0.76	0.46	11
	T4	-0.40	-1.17	0.48	-0.95	0.27	0.32	0.60	0.87	0.34	16
	T5	0.71	-2.74	0.43	-0.44	0.62	0.00	0.59	0.74	0.50	9

3 结论与讨论

在种子萌发过程中水分的吸收大致划分为 3 个阶段:吸胀吸水、迟缓吸水和生长吸水^[22]。通过控制种子的水合状态,使水分足以让种子萌发,但又不使种胚突破种皮^[23]。李英浩等^[24]在燕麦上研究发现,浸种时间过短达不到种子萌发所需要的最佳吸水量;时间过长,种子吸水量过大,导致种皮膨胀甚至破裂,损伤细胞内物质代谢。本研究发现,浸种时间对发芽率影响与前述研究结果一致,万寿菊浸种 3 h 种子萌发率小于浸种 6 h,超过 12 h 种子萌发率显著降低,浸种 6 h 可能是万寿菊种子萌发最佳吸水时间,满足种子萌发的最佳吸水量。不同植物生长调节剂对种子萌发影响不同^[25],适宜浓度 GA₃ 处理后明显提高了毛竹^[26]、芍药^[27]、甘肃马先蒿^[28]种子发芽率。本研究发现,添加 GA₃(T1)浸种 6、12 h 万寿菊种子萌发率显著升高,与前述研究结果一致。SHAHPIRI 等^[29]研究发现,SA+GA 处理后有利于谷物种子萌发,水稻发芽率显著升高。本研究发现,浸种 6 h(T4 处理)万寿菊种子发芽率最高为 88.33%。GA₃和 SA 这 2 种药剂复配处理万寿菊种子,在提高种子发芽率的同时,可能有利于幼苗抗性提高。

S3307 是一种三唑类植物生长调节剂,低浓度药剂处理对矮化植株、增加茎粗、提高作物产量和品质等具有良好的作用效果^[30]。S3307 浸种是农业生产中培育壮苗的常用措施,适宜浓度处理后紫花苜蓿^[31]、大豆^[32]、谷子^[33]等多种作物地上/下生物量及抗逆性显著提高。本研究发现,浸种 6 h 时 T3、T5 处理后结果一致,万寿菊幼苗株高降低、茎粗增大、植株鲜/干质量及壮苗指数显著增加。白岩等^[34]研究发现,壮苗指数是衡量幼苗强壮程度的综合指标,可以较为全面地判断幼苗质量,通过 S3307 浸种处理有利于万寿菊幼苗质量提升。

叶绿素生物合成对于光合作用至关重要,在高等植物中叶绿素 a 和 b 是叶绿素的主要类型^[35]。本研究表明,T3、T4、T5 处理时间为 6 h 时,万寿菊叶片中叶绿素 a、b 含量均有升高。ZHANG 等^[36]研究发现,叶绿素含量积累有利于光合作用提高,促进植株生长积累更多有机物质,其中可溶性糖是光合作用形成的产物之一。张帆等^[37]研究结果显示,可溶性糖是植物体内能量贮存形式,其含量越多表明贮藏能量越强。在浸种时间为 6 h 时,添加不同植物生长调节剂,万寿菊叶片中可溶性糖含量均有显著升高。谭杉杉等^[38]研究结果发现,叶片中可溶性糖含量的多少反映了光合产物积累的多少和转运

情况,也会影响细胞膜的结构。不同植物生长调节剂处理后,贮存较多的可溶性糖,可能有利于万寿菊幼苗抗逆性提高。MDA是膜脂氧化的最终产物,是膜损伤和机体衰老的重要指标^[39]。在本研究中,不同植物生长调节剂处理后MDA含量均低于对照,说明浸种后提高了万寿菊幼苗抗氧化能力。

本研究通过二因素完全随机试验设计,筛选促进万寿菊种子萌发及幼苗生长的最佳组合,通过隶属函数综合评价分析显示,以T3处理浸种6h分值最高(D=0.86),但种子发芽率增幅较小,后续探索种子萌发前T4处理,萌发后某一环节T3处理,以达到既能显著提高萌发率又能培育壮苗的目的。

参考文献:

- [1] BURLEC A F, PECIO L, KOZACHOK S, et al. Phytochemical profile, antioxidant activity, and cytotoxicity assessment of *Tagetes erecta* L. flowers[J]. *Molecules*, 2021, 26(5):1201.
- [2] 何冬云, 王龙, 张肖凌, 等. 万寿菊种子带菌检测及种子消毒处理研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2008, 43(6):99-101.
HE D Y, WANG L, ZHANG X L, et al. Testing of seed borne fungi and seed disinfection of *Tagetes erecta*[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2008, 43(6):99-101.
- [3] 沈锦, 颜冬冬, 朱文达, 等. 不同杀菌剂对万寿菊种子的消毒效果及发芽影响[J]. *湖北农业科学*, 2015, 54(13):3138-3141.
SHEN J, YAN D D, ZHU W D, et al. Disinfection effect of different fungicides and disinfection methods of *Tagetes erecta* seed [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54(13):3138-3141.
- [4] 田月娥, 杨进明, 单喜杰, 等. 5种内吸性杀菌剂对小宗作物绿豆和小红豆种子萌发的影响[J]. *现代农药*, 2019, 18(1):50-53.
TIAN Y E, YANG J M, SHAN X J, et al. The effect of five kinds of systemic fungicides on seed germination of characteristic minor crops mung bean and adzuki bean[J]. *Modern Agrochemicals*, 2019, 18(1):50-53.
- [5] 周其宇. 不同引发剂对番茄、茄子种子萌发的影响[J]. *山西农业科学*, 2021, 49(8):947-951.
ZHOU Q Y. Effects of different initiators on seeds germination of eggplant and tomato[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(8):947-951.
- [6] 王小松, 万燕, 乐梨庆, 等. 赤霉素对铅胁迫下苦荞种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. *山西农业科学*, 2021, 49(11):1269-1273.
WANG X S, WAN Y, LE L Q, et al. Effects of gibberellin on seed germination and seedling physiological characteristics of Tartary buckwheat under lead stress[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(11):1269-1273.
- [7] 厉广辉, 郭鑫, 孙艳斌, 等. 赤霉素与萘乙酸处理对芦笋种子萌发的影响[J]. *山东农业科学*, 2022, 54(11):48-53.
LI G H, GUO X, SUN Y B, et al. Effects of gibberellin and NAA on seed germination of *Asparagus (Asparagus officinalis)* [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2022, 54(11):48-53.
- [8] PENG J R, HARBERD N P. The role of GA-mediated signalling in the control of seed germination[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2002, 5(5):376-381.
- [9] JANDA T, SZALAI G, PÁL M. Salicylic acid signalling in plants[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(7):2655.
- [10] 任若飞, 赵强, 王自然, 等. 滴施烯效唑复配促进剂对棉花生长发育及产量、品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2024, 53(3):68-77.
REN R F, ZHAO Q, WANG Z R, et al. Effect of drip application of uniconazole compound promoter on the growth, development, yield and quality of cotton[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2024, 53(3):68-77.
- [11] 韩毅强. 赤霉素及烯效唑浸种对大豆根系及农艺性状的效应研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2018.
HAN Y Q. Effect of gibberellin and uniconazole on soybean root and agronomic trait[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2018.
- [12] 韩云, 安娇艳, 王海莲, 等. 外源物质对低温胁迫条件下高粱种子萌发的影响[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(5):42-49.
HAN Y, AN J Y, WANG H L, et al. Effects of exogenous substances on seed germination of *Sorghum* under low temperature stress[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2023, 55(5):42-49.
- [13] 王广龙, 夏冬, 杨泽恩, 等. 幼苗质量对番茄植株生长发育和产量品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(5):140-144.
WANG G L, XIA D, YANG Z E, et al. Effects of seedling quality on growth, yield and quality of tomato plants[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(5):140-144.
- [14] LI C X, FENG S L, SHAO Y, et al. Effects of arsenic on seed germination and physiological activities of wheat seedlings[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(6):725-732.
- [15] 黄安琪, 马国辉, 赵黎明, 等. S-诱抗素浸种对盐胁迫下水稻幼苗生长及生理特性的影响[J]. *杂交水稻*, 2023, 38(2):124-134.
HUANG A Q, MA G H, ZHAO L M, et al. Effects of S-ABA soaking of seeds on growth and physiological characteristics of rice seedlings under salt stress[J]. *Hybrid Rice*, 2023, 38(2):124-134.
- [16] 杨玉良, 孙翔宇, 宋慧娟, 等. 植物生长调节剂对西瓜漂浮育苗幼苗质量的影响[J]. *中国瓜菜*, 2023, 36(7):44-50.
YANG Y L, SUN X Y, SONG H J, et al. Effects of plant growth regulators on the quality of watermelon floating seedling [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2023, 36(7):44-50.
- [17] LICHTENTHALER H K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes[J]. *Methods in Enzymology*, 1987, 148:350-382.
- [18] 郝建军, 刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 2版. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 2001:144-175.
HAO J J, LIU Y J. Experimental technology of plant physiology[M]. 2nd ed. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2001:144-175.
- [19] 苏晓丽, 舒欣, 王晓耘, 等. 外源褪黑素对NaCl胁迫下老芒麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *草业科学*, 2023, 40(10):2595-2606.
SU X L, SHU X, WANG X Y, et al. Effects of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth of *Elymus sibiricus* under NaCl stress[J]. *Pratacultural Science*, 2023, 40

- (10):2595-2606.
- [20] KJAER C, GRUBER E, NIELSEN S B, et al. Color tuning of chlorophyll a and b pigments revealed from gas-phase spectroscopy[J]. Physical Chemistry Chemical Physics: PCCP, 2020, 22(36):20331-20336.
- [21] 武曦, 张罡, 郭华, 等. 干旱胁迫对多裂叶荆芥幼苗形态和不同部位生理生化指标的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(02): 161-169.
WU X, ZHANG G, GUO H, et al. Effects of drought stress on morphology, physiological and biochemical indexes in different parts of *Nepeta multifida* L. seedlings[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(2): 161-169.
- [22] 宋松泉, 程红焱, 姜孝成, 等. 种子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
SONG S Q, CHENG H Y, JIANG X C. Seed biology[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [23] 岳贺伟, 李连珍, 王雨情, 等. IAA 对黄精种子萌发及生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(3): 64-72.
YUE H W, LI L Z, WANG Y Q, et al. Effect of IAA on seed germination and physiological characteristics of *Polygonatum sibiricum* Red. [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(3): 64-72.
- [24] 李英浩, 刘景辉, 赵宝平, 等. 黄腐酸浸种对燕麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2023, 42(2): 72-76.
LI Y H, LIU J H, ZHAO B P, et al. Effects of soaking seeds with fulvic acid on seed germination and seedling growth of oats [J]. Seed, 2023, 42(2): 72-76.
- [25] 霍可以, 罗充, 高洁静, 等. 外源激素对干旱胁迫下欧洲缬草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55(4): 65-72.
HUO K Y, LUO C, GAO J J, et al. Effects of exogeneous hormones on seed germination and seedling growth of *Valeriana officinalis* L. under drought stress[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55(4): 65-72.
- [26] LI J, BAI Y C, XIE Y L, et al. Ultrastructure change and transcriptome analysis of GA3 treatment on seed germination of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) [J]. Plant Signaling & Behavior, 2022, 17(1): 2091305.
- [27] ZHANG K L, YAO L J, ZHANG Y, et al. A review of the seed biology of *Paeonia* species (Paeoniaceae), with particular reference to dormancy and germination[J]. Planta, 2019, 249(2): 291-303.
- [28] HU J D, LI K H, DENG C J, et al. Seed germination ecology of semiparasitic weed *Pedicularis kansuensis* in alpine grasslands[J]. Plants, 2022, 11(13): 1777.
- [29] SHAHPURI A, TALAIE N, FINNIE C. Spatio-temporal appearance of α -amylase and limit dextrinase in barley aleurone layer in response to gibberellic acid, abscisic acid and salicylic acid[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(1): 141-147.
- [30] LIU Y, FANG Y, HUANG M J, et al. Uniconazole-induced starch accumulation in the bioenergy crop duckweed (*Landoltia punctata*) I: transcriptome analysis of the effects of uniconazole on chlorophyll and endogenous hormone biosynthesis[J]. Biotechnology for Biofuels, 2015, 8: 57.
- [31] 刘岳昆, 曲善民, 陈露, 等. S3307 浸种对连作紫花苜蓿生产性能及生理指标的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(10): 2145-2150.
LIU Y K, QU S M, CHEN L, et al. Effect of soaking seed in S3307 on production performance and physiological indices of continuous cropping alfalfa[J]. Pratacultural Science, 2022, 39(10): 2145-2150.
- [32] 孙星邈, 安姝, 于德彬, 等. 烯效唑种子处理对大豆生物学效应和产量的影响[J]. 分子植物育种, 2023, 21(16): 5557-5564.
SUN X M, AN S, YU D B, et al. Effects of seed treatments with uniconazole on soybean biological effect and yield[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(16): 5557-5564.
- [33] 鞠乐, 陈培育, 牛银亭, 等. 烯效唑浸种对谷子种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2023, 40(2): 15-20.
JU L, CHEN P Y, NIU Y T, et al. Effects of soaking millet seeds with uniconazole on seed germination and seedling growth [J]. Barley and Cereal Sciences, 2023, 40(2): 15-20.
- [34] 白岩, 史万华, 邢小军, 等. 烟草壮苗指数模型研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1086-1098.
BAI Y, SHI W H, XING X J, et al. Study on tobacco vigorous seedling indexes model[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(6): 1086-1098.
- [35] QIU N W, JIANG D C, WANG X S, et al. Advances in the members and biosynthesis of chlorophyll family[J]. Photosynthetic, 2019, 57(4): 974-984.
- [36] ZHANG H, YUE M X, ZHENG X K, et al. Physiological effects of single- and multi-walled carbon nanotubes on rice seedlings[J]. IEEE Transactions on Nanobioscience, 2017, 16(7): 563-570.
- [37] 张帆, 崔云浩, 秦志翔, 等. 减氮和氮硅配施对辣椒产量、营养品质及养分吸收利用的影响[J]. 西北植物学报, 2023, 43(9): 1518-1527.
ZHANG F, CUI Y H, QIN Z X, et al. Effect of nitrogen reduction and nitrogen-silica application on yield, nutritional quality and nutrient uptake and utilization of pepper[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2023, 43(9): 1518-1527.
- [38] 谭杉杉, 仇亮, 段奥其, 等. 次氯酸钠处理种子对芹菜幼苗可溶性糖含量及相关基因表达的影响[J]. 植物生理学报, 2022, 58(1): 165-172.
TAN S S, QIU L, DUAN A Q, et al. Effects of seed-soaking with sodium hypochlorite on soluble sugar content and expression profiles of related genes of celery seedlings[J]. Plant Physiology Journal, 2022, 58(1): 165-172.
- [39] GORRINI C, HARRIS I S, MAK T W. Modulation of oxidative stress as an anticancer strategy[J]. Nature Reviews. Drug Discovery, 2013, 12(12): 931-947.