

PEG 模拟干旱胁迫对油莎豆茎豆萌发的影响

付 尧¹, 张东举¹, 别 海¹, 李春鑫^{2*}

(1. 郑州市农业科技研究院, 郑州 450005; 2. 河南省农业科学院经济作物研究所, 郑州 450002)

摘 要:为探究油莎豆在干旱环境中茎豆的萌发能力,以油莎豆茎豆为试验材料,采用不同浓度 PEG-6000 溶液模拟干旱环境,测定各处理条件下油莎豆茎豆萌发期相关形态指标。结果表明,PEG 浓度低于 10% 对油莎豆茎豆的发芽势、发芽率及根、芽生长无显著影响,当 PEG 浓度在 15%~25% 时,油莎豆茎豆的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、抗旱指数、根长、芽长及幼苗鲜重均表现出持续下降趋势。但在 25% PEG 浓度下,油莎豆茎豆可少量萌发,说明油莎豆的抗旱能力较强,适宜在中低干旱地区种植。

关键词:干旱胁迫;油莎豆;茎豆;萌发;PEG-6000

中图分类号:S565.9

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2025)04-0069-06

Effect of PEG Simulated Drought Stress on Seed Germination of Tiger Nut

FU Yao¹, ZHANG Dongju¹, BIE Hai¹, LI Chunxin^{2*}

(1. Zhengzhou Academy of Agricultural Science and Technology, Zhengzhou 450005; 2. Industrial Crops Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to explore the germination ability of tiger nut seeds in arid environment, this study used tiger nut stem beans as materials, and used PEG-6000 solutions with different concentrations to simulate arid environment, and determined the relevant morphological indexes of tiger nut seeds under the treatments during germination period. The results showed that PEG concentration below 10% had no significant effect on the germination rate, radicle and germ growth of tiger nut stem beans. When PEG concentration was between 15%–25%, stem beans' germination potential, germination rate, germination index, vigor index, drought resistance index, root length, bud length and fresh weight of seedlings all showed a continuous downward trend. However, at the high concentration of 25% PEG, the stem beans of tiger nut could still germinate in a small amount, indicating that stem beans of tiger nut had strong drought resistance and were suitable for planting in middle and low arid areas.

Key words: Drought stress; Tiger nut; Stem bean; Germination; PEG-6000

近年来,全球范围内干旱现象日趋严重,超过 70% 的地表正被干燥的气候所影响,超过 3% 的湿润地区已经变成了干旱的土地。干旱日渐成为影响植物生长的重要环境胁迫因子之一^[1-2]。植物在种子萌发阶段,除自身需具备完整而有活力的胚和供胚发育的营养物质,还需要有适宜的温度、适量的水分和充足的空气。若萌发过程中水分含量过低,将直接影响种子的萌发速率、胚根胚芽生长及其他植物生理指标^[3]。

油莎豆(*Cyperus esculentus*)属于莎草科莎草属草本植物,是一种集粮、油、牧、饲于一体的高附加值经济作物^[4-6]。油莎豆原产于非洲,1952 年引入我国,在我国种植历史较短,规模尚小,未形成健全规范的种植体系^[7]。研究油莎豆茎豆对干旱条件的响应,有利于筛选适宜的种植环境条件,为油莎豆在我国大面积种植推广提供理论依据。

聚乙二醇 6000 (PEG-6000, 简称 PEG) 是一种亲水性极强的高分子化合物,因其可造成植物输导组织阻塞,常在模拟干旱试验中作为渗透调节剂^[8]。目前,对油莎豆的抗性研究主要集中在盐、碱胁迫与温度对油莎豆幼苗的生理影响^[6, 9-11],抗旱性方面仅以油莎豆幼苗为材料开展过相关抗旱研究^[12-13]。本研究以油莎豆茎豆为试验材料,通过 PEG 模拟干旱胁迫来探究油莎豆的耐旱性,为筛

收稿日期:2025-01-21

基金项目:河南省重大科技专项(211100110100);河南省科技攻关项目(222102110382)

作者简介:付 尧(1990-),女,研究实习员,硕士,主要从事油莎豆育种与栽培研究。

通信作者:李春鑫, E-mail: licx2006@163.com

选适宜的种植环境和推广区域提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

材料:试验材料为‘郑油莎1号’,由郑州市农业科技研究院自繁。

试剂:PEG-6000(化学纯,天津市科密欧化学试剂有限公司)。

选取颗粒饱满、无虫害破损、大小均匀的油莎豆茎豆900粒,浸泡48 h后,用2%的次氯酸钠溶液消毒5 min,蒸馏水冲洗3次,用吸水纸吸干表面水分备用。

1.2 试验设计

以蒸馏水为对照,设置5个PEG-6000浓度(5%、10%、15%、20%和25%)。根据Michel等^[14]计算公式得出5%~25%浓度PEG溶液的渗透势分别为:-0.06、-0.17、-0.32、-0.53、-0.79 MPa。

采用滤纸萌发法,每个培养皿摆放30粒油莎豆茎豆,每个处理重复5次。设置12 h光照30 ℃和12 h黑暗25 ℃的培养条件。培养期间,每天采用称重法进行无菌水补水,48 h更换1次对应浓度的溶液和滤纸。

1.3 测定指标及方法

以芽眼露白、芽尖完好作为萌发标准,定时观测茎豆萌发情况,记录油莎豆茎豆发芽的起始时间及每天的发芽数,连续3 d发芽数无变化视为发芽结束。处理至第10天结束试验并统计如下指标:

发芽势=(第4天茎豆发芽数/供试茎豆数)×100%

发芽率=(第10天茎豆发芽数/供试茎豆数)×100%

发芽指数= $\sum (Gt/Dt)$

Gt 为第 t 天茎豆发芽数, Dt 为对应发芽天数。

活力指数=发芽指数×幼苗平均鲜重

抗旱指数=处理发芽指数/对照发芽指数^[15-17]

1.4 数据分析

用Excel 2016对数据进行处理分析,并采用SPSS 26.0软件进行单因素分析。

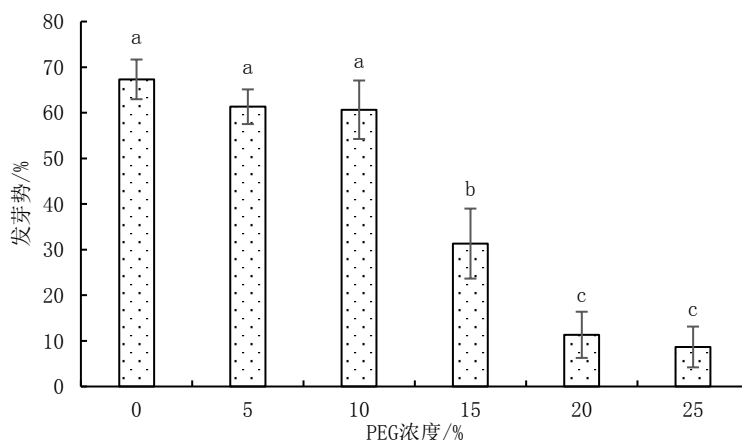
2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽势的影响

发芽势是一种用来表现种子活力高低的数值,发芽势的高低反映了植物种子萌发的快慢和生命力的强弱。由图1可知,PEG浓度为0、5%、10%、15%、20%、25%处理下的油莎豆发芽势分别为67.33%、61.33%、60.67%、31.33%、11.33%、8.67%。当浓度低于10%时,PEG模拟的干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽势抑制效果不明显,当PEG浓度在15%~25%时,油莎豆茎豆的发芽势呈明显的下降趋势。这表明PEG浓度在15%~25%时,会显著降低油莎豆茎豆活力,明显抑制萌发速率,且浓度越高,抑制效果越明显。因此,15%~25%浓度下的PEG干旱胁迫会在一定程度上延缓油莎豆茎豆的发芽进程。

2.2 干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽率的影响

由图2可知,PEG浓度为0、5%、10%、15%、20%、25%处理油莎豆茎豆的发芽率分别为89.33%、90.67%、82.67%、64.67%、37.33%、24.67%。除5%PEG浓度下的发芽率较对照高1.34%外,其余处理的发芽率均低于对照。通过分析可知,PEG浓度为5%时,油莎豆茎豆的发芽率与对照无



注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicated that there were significant differences among the treatments($P<0.05$). The same below.

图1 干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽势的影响

Fig.1 Effect of drought stress on germination force of tiger nut stem beans

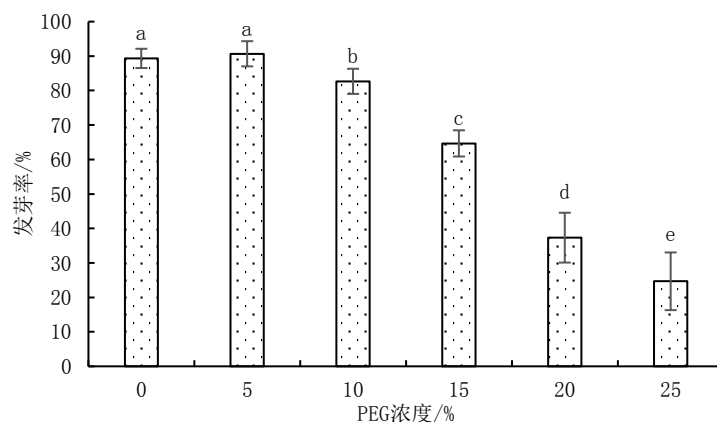


图2 干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽率的影响

Fig.2 Effect of drought stress on germination percentage of tiger nut stem beans

显著差异。当PEG浓度继续升高,油莎豆茎豆的萌发开始受到明显抑制,发芽率降至24.67%(25%PEG浓度)。这表明不同PEG浓度处理对油莎豆茎豆的萌发存在不同程度的影响,高浓度PEG模拟干旱胁迫虽对茎豆萌发有明显抑制作用,但油莎豆茎豆仍能保持近25%的发芽率,也说明油莎豆茎豆的耐旱能力较为突出。

2.3 干旱胁迫对油莎豆茎豆根和芽生长的影响

由表1可知,PEG浓度不高于10%时,油莎豆茎豆的根和芽的长度均不受干旱胁迫的影响。15%~25%PEG浓度下油莎豆茎豆的根长与芽长均与对

照之间差异显著。其中,10%PEG浓度处理的根长最长(8.32 cm),25%PEG浓度处理的根长最短(2.70 cm),两者相差5.62 cm。对照的芽长最长(5.44 cm),25%PEG浓度处理的芽长最短(1.76 cm),两者之间相差3.68 cm。根长在15%PEG浓度与20%PEG浓度之间差异不显著,芽长在20%PEG浓度与25%PEG浓度之间差异不显著。综合分析可知,PEG浓度在不高于10%时,PEG胁迫对油莎豆根和芽的伸长生长无明显影响。当PEG浓度升高至15%时,显著抑制油莎豆发芽茎豆根和芽的生长,且浓度越高,抑制效果越明显。

表1 干旱胁迫对油莎豆发芽茎豆根和芽生长的影响

cm

Table 1 Effects of drought stress on the growth of roots and embryos of germinated stems of tiger nut stem beans

指标 Index	PEG 浓度/% PEG concentration					
	0	5	10	15	20	25
根长	8.02±1.21a	8.02±0.80a	8.32±1.08a	6.00±1.05b	5.46±0.65b	2.70±0.96c
芽长	5.44±1.32a	5.08±0.61a	5.26±0.88a	3.38±1.43b	2.02±0.38c	1.76±0.77c

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicated that there were significant differences among the treatments($P<0.05$). The same below.

2.4 干旱胁迫对油莎豆发芽茎豆鲜重的影响

由图3可知,PEG浓度从0升高至25%过程中,油莎豆茎豆的鲜重表现出显著下降趋势。浓度自低到高的鲜重分别为0.34、0.23、0.17、0.16、0.04、0.03 g。与对照相比,不同PEG浓度胁迫下油莎豆发芽茎豆鲜重分别降低了0.11、0.17、0.18、0.30、0.31 g。其中PEG浓度由15%升高至20%时,鲜重下降最多(0.12 g)。

2.5 干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽指数的影响

发芽指数是评价种子萌发效果的一项重要指标,常被用来衡量种子的发芽能力^[7]。由图4可知,随PEG浓度升高,油莎豆茎豆发芽指数呈下降趋势。PEG浓度为10%时的发芽指数较5%浓度的发芽指数略有升高,但随着PEG浓度继续升高,发芽指数又表现出下降趋势。当PEG浓度为15%时,油莎豆茎豆发芽指数下降最快。当PEG浓度达到20%和25%后,油莎豆茎豆的发芽指数

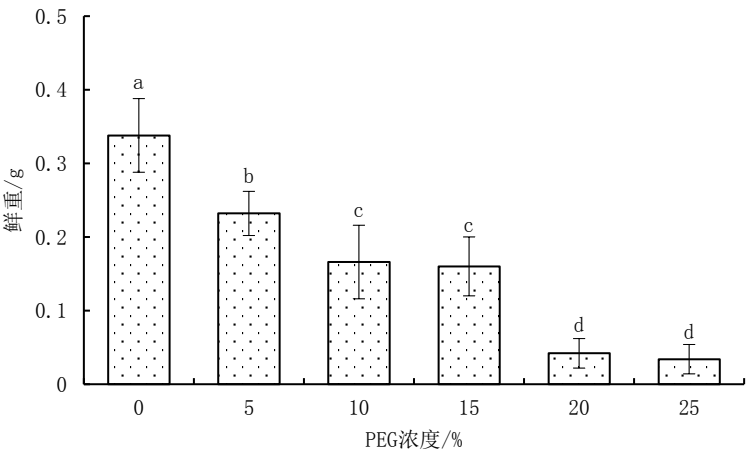


图3 干旱胁迫对油莎豆发芽茎豆鲜重的影响

Fig.3 Effect of drought stress on fresh weight of germinated seeds of tiger nut stem beans

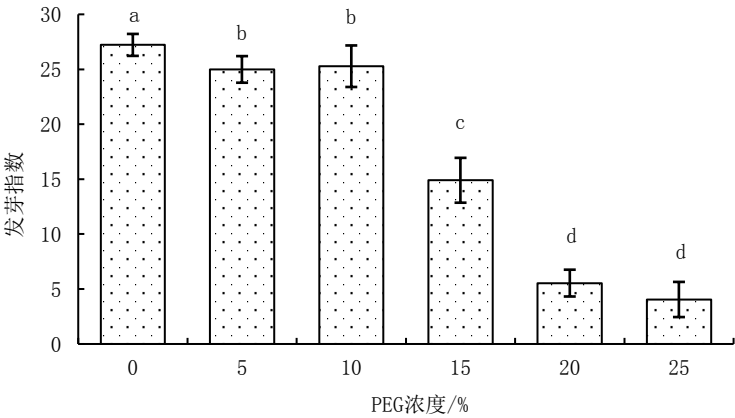


图4 干旱胁迫对油莎豆茎豆发芽指数的影响

Fig.4 Effect of drought stress on seed germination index of tiger nut stem beans

降到6以下,且在两个浓度间差异不显著。

2.6 干旱胁迫对油莎豆茎豆活力指数的影响

活力指数能够综合反映种子的发芽速率和生长量。干旱胁迫下,种子活力指数越高代表其抗旱能力越强^[18]。由表2可知,5个PEG处理与对照

的活力指数均存在显著差异。PEG浓度越高,油莎豆茎豆的活力指数越小。当PEG浓度达到25%时,油莎豆茎豆的活力指数仅为0.11。这说明油莎豆茎豆的活力指数会随着干旱胁迫的加重而降低,茎豆的萌发速率也随之减慢。

表2 干旱胁迫对油莎豆茎豆活力指数的影响

Table 2 Effect of drought stress on seed vigor index of tiger nut stem beans

指标 Index	PEG 浓度/% PEG concentration					
	0	5	10	15	20	25
活力指数	9.14±1.12a	5.81±1.08b	4.16±1.21c	2.43±0.89d	0.21±0.08e	0.11±0.03e

2.7 干旱胁迫对油莎豆抗旱指数的影响

由表3可知,5%与10%,20%与25% PEG浓度下油莎豆茎豆的抗旱指数差异不显著,其余各浓度的抗旱指数之间均存在显著差异。同时,在

5种PEG浓度处理中,10%PEG浓度处理下茎豆的抗旱指数最大(0.94),25%PEG浓度处理下的抗旱指数最小(0.15)。这说明在PEG干旱胁迫下,油莎豆茎豆的抗旱能力受到了不同程度的影

表3 干旱胁迫对油莎豆茎豆抗旱指数的影响
Table 3 Effect of drought stress on drought resistance index of tiger nut stem beans

指标 Index	PEG 浓度/% PEG concentration				
	5	10	15	20	25
抗旱指数	0.92±0.06a	0.94±0.10a	0.55±0.09b	0.21±0.05c	0.15±0.06c

响,但在高浓度(25% PEG)条件下依然具备一定的萌发能力。

3 讨论与结论

种子萌发期是开启植物生长发育的关键时期。若萌发时期缺少必要的水分,种子萌发将无法完成。在干旱胁迫条件下,种子的萌发可能会因吸水困难而表现出发芽进程受阻、幼苗胚芽及胚根生长减缓等一系列扰乱植物正常生长发育的现象,严重时会导致种子直接死亡^[19]。伴随着PEG浓度的升高,种子受到的干旱胁迫就越强烈^[20]。但也有低浓度PEG胁迫对种子的萌发产生促进作用,如10% PEG浓度的干旱胁迫会轻微提升食叶草种子的发芽率,5% PEG浓度也会对羊茅种子的萌发产生促进作用^[21]。因此,本研究将油莎豆茎豆置于不同浓度的PEG溶液中模拟干旱胁迫,并对萌发阶段的各项指标进行统计分析,以期了解干旱胁迫对油莎豆茎豆萌发的影响。

研究结果表明,PEG溶液在浓度不高于10%时对油莎豆茎豆的萌发速率及胚根、胚芽生长无显著影响,甚至5% PEG浓度会轻微促进油莎豆茎豆的萌发,10% PEG浓度处理对油莎豆茎豆根长生长也表现出了一定的促进效果。这与杨小梅等^[22]对神香草种子和刘新星等^[23]对亚麻种子在轻度干旱条件(PEG浓度为5%)下的耐旱表现较为一致。这可能与低浓度的PEG溶液有助于启动植物细胞生理生化反应,且积累的基础性代谢物质为种子萌发提供更多能量有关^[24],也可能与植物种类、胁迫浓度及处理时间不同有关^[25]。当PEG浓度超过10%并继续升高,油莎豆茎豆的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、抗旱指数、根长、芽长和鲜重均表现出持续下降趋势。这说明油莎豆茎豆对不同干旱程度的忍耐能力有所不同。当PEG浓度超过10%时,渗透势的降低会超出油莎豆发芽茎豆的承受范围,显著抑制了茎豆的萌发和生长。李丹等^[26]研究紫苏种子萌发期抗旱性发现,在PEG浓度超过12%时,紫苏种子的萌发将会

受到影响。作建芬等^[27]研究高羊茅耐旱临界浓度时发现,较高PEG浓度(15%~20%)条件下高羊茅的植株仍能保持较好的发育能力,具备较强的抗旱性。本研究在25% PEG溶液(渗透势-0.79 MPa)处理下,油莎豆茎豆依然可少量萌发,且发芽指数、活力指数和抗旱指数均大于0,说明油莎豆茎豆的抗旱能力较强,适宜在中低干旱地区种植。

参考文献:

- [1] GREGORY J, STOUFFER R, MOLINA M, et al. Climate change 2021—the physical science basis[J]. Chemistry International, 2021, 43(4): 22–23.
- [2] 彭玉琳,夏天意,邹云阳,等. PEG-6000模拟干旱胁迫对青稞种子萌发的影响[J]. 种子, 2022, 41(3): 58–62.
PENG Y L, XIA T Y, ZOU Y Y, et al. Effects of PEG-6000 simulated drought stress on seed germination of highland barley [J]. Seed, 2022, 41(3): 58–62. (in Chinese)
- [3] 王方琳,柴成武,赵鹏,等. 3种荒漠植物光合及叶绿素荧光对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 西北植物学报, 2021, 41(10): 1755–1765.
WANG F L, CHAI C W, ZHAO P, et al. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of three desert plants to drought stress and evaluation of drought resistance[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(10): 1755–1765. (in Chinese)
- [4] 杨向东,李子勇. 我国油莎豆产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(4): 712–717.
YANG X D, LI Z Y. Present situation, potential and countermeasures of tiger nut(*Cyperus esculentus*) industry in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2022, 44(4): 712–717. (in Chinese)
- [5] 程艳,魏尊苗,刘佳遥,等. 基于Logistic方程的油莎豆生长指标拟合与分析[J]. 东北农业科学, 2024, 49(4): 47–51.
CHENG Y, WEI Z M, LIU J Y, et al. Fitting and analysis of growth indexes of tiger nut(*Cyperus esculentus*) based on Logistic equation[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(4): 47–51. (in Chinese)
- [6] 马兴羽,黄彩变,曾凡江,等. 沙地盐胁迫对油莎豆幼苗生理生长影响的模拟研究[J]. 干旱区研究, 2022, 39(6): 1862–1874.
MA X Y, HUANG C B, ZENG F J, et al. Simulation study on the effect of salt stress on the physiological growth of tiger nut (*Cyperus esculentus*) seedlings in sandy land[J]. Arid Zone Re-

- search, 2022, 39(6): 1862–1874. (in Chinese)
- [7] 李梁, 叶君, 李娟, 等. 油莎豆种质资源光合特性分析[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(9): 1594–1606.
- LI L, YE J, LI J, et al. Analysis on photosynthetic characteristics of tiger nut(*Cyperus esculentus*) germplasm resources[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2024, 40(9): 1594–1606. (in Chinese)
- [8] 姜超, 于卓, 于肖夏, 等. 3个彩色马铃薯新品种幼苗的抗旱性研究[J]. 东北农业科学, 2022, 47(2): 103–109.
- JIANG C, YU Z, YU X X, et al. Study on drought resistance of three new varieties of colored potato seedlings[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 47(2): 103–109. (in Chinese)
- [9] 王靓, 龙威, 金羽琨, 等. 碱胁迫下油莎豆幼苗生理代谢和转录组学分析[J]. 山东农业科学, 2024, 56(12): 1–9.
- WANG L, LONG W, JIN Y K, et al. Physiological metabolism and transcriptome analysis of tiger nut (*Cyperus esculentus*) seedlings under alkali stress[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2024, 56(12): 1–9. (in Chinese)
- [10] 龙威. 油莎豆在盐胁迫下的生理特征和转录组学分析[D]. 长春: 吉林农业大学, 2024.
- LONG W. Physiological characteristics and transcriptome analysis of tiger nut(*Cyperus esculentus*) under salt stress[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2024. (in Chinese)
- [11] 钟鹏, 苗丽丽, 王建丽, 等. 油莎豆种质资源低温胁迫生理响应与耐寒性评价[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(9): 83–96.
- ZHONG P, MIAO L L, WANG J L, et al. Physiological response and cold tolerance evaluation of tiger nut(*Cyperus esculentus*) germplasm resources under low temperature stress[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(9): 83–96. (in Chinese)
- [12] 张冰彬, 张琳琳, 于明含, 等. 油莎豆的抗旱性评价及抗旱生理机制研究[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(4): 107–115.
- ZHANG B B, ZHANG L L, YU M H, et al. Evaluation of drought resistance of tiger nut(*Cyperus esculentus*) and study on physiological mechanism of drought resistance[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(4): 107–115. (in Chinese)
- [13] 朱俊岭, 师茜, 王小红, 等. 不同水分处理条件对油莎豆叶片生理指标及块茎品质的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(6): 1276–1280.
- ZHU J L, SHI Q, WANG X H, et al. Effects of different water treatment conditions on leaf physiological indexes and tuber quality of tiger nut(*Cyperus esculentus*)[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(6): 1276–1280. (in Chinese)
- [14] MICHEL B E, KAUFMANN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51: 914–916.
- [15] 李晶晶, 贾腾蛟, 王丽艳, 等. PEG胁迫下玉米自交系萌芽期抗旱性鉴定与评价[J]. 东北农业科学, 2021, 46(4): 6–10.
- LI J J, JIA T J, WANG L Y, et al. Identification and evaluation of drought resistance of maize inbred lines in germination stage under PEG stress[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(4): 6–10. (in Chinese)
- [16] 田金花, 高晓玲, 刘炳炎, 等. PEG模拟干旱胁迫下白芥种子萌发期抗旱性评价[J]. 青海农林科技, 2024(4): 91–97.
- TIAN J H, GAO X L, LIU B Y, et al. Drought resistance evaluation of white mustard seeds during germination under PEG simulated drought stress[J]. Qinghai Agriculture and Forestry Science and Technology, 2024(4): 91–97. (in Chinese)
- [17] 宋松泉, 唐翠芳, 程红焱, 等. 种子萌发调控的研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2024, 54(7): 1226–1253.
- SONG S Q, TANG C F, CHENG H Y, et al. Research progress of seed germination regulation[J]. China Science: Life Science, 2024, 54(7): 1226–1253. (in Chinese)
- [18] 韩芬, 何倩, 靳雪琴, 等. PEG-6000模拟干旱胁迫对食叶草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 现代农业科技, 2023(2): 184–187.
- HAN F, HE Q, JIN X Q, et al. Effects of PEG-6000 simulated drought stress on seed germination and seedling growth of herbivores[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2023(2): 184–187. (in Chinese)
- [19] 苏江, 岑忠用, 陈勇. PEG模拟干旱胁迫对巴马火麻种子萌发的影响[J]. 陕西农业科学, 2023, 69(6): 20–24, 41.
- SU J, CEN Z Y, CHEN Y. Effects of PEG simulated drought stress on the germination of hemp seeds in hemp[J]. Shaanxi Agricultural Sciences, 2023, 69(6): 20–24, 41. (in Chinese)
- [20] 卢前成, 宁松瑞, 颜安, 等. PEG-6000干旱胁迫下18种牧草种子萌发特性与响应机制[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(22): 180–190.
- LU Q C, NING S R, YAN A, et al. Seed germination characteristics and response mechanism of 18 forages under PEG-6000 drought stress[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(22): 180–190. (in Chinese)
- [21] 李瑞静. 羊茅属3份种质材料草坪质量及抗逆性的比较[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- LI R J. Comparison of turf quality and stress resistance of three *Festuca* germplasm materials[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [22] 杨小梅, 宗子媛, 岳莉然. 盐胁迫和干旱胁迫对神香草种子萌发的影响[J]. 北方园艺, 2022(8): 60–66.
- YANG X M, ZONG Z X, YUE L R. Effects of salt stress and drought stress on seeds germination of *Hyssopus of ficinalis*[J]. Northern Horticulture, 2022(8): 60–66. (in Chinese)
- [23] 刘新星, 罗俊杰, 王雍臻, 等. PEG-6000模拟干旱胁迫对亚麻种子萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 169–173.
- LIU X X, LUO J J, WANG Y Z, et al. Effects of PEG-6000 drought stress on seed germination of flax[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(22): 169–173. (in Chinese)
- [24] 陈士超, 王猛, 汪季, 等. 紫花苜蓿种子萌发及幼苗生理特性对PEG6000模拟渗透势的响应[J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 2923–2931.

11258. (in Chinese)
- [17] 杜尚广, 余波. 木薯的组织培养与快繁体系建立[J]. 分子植物育种, 2020, 18(23): 7847-7853.
- DU S G, YU B. tissue culture and rapid propagation of cassava [J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(23): 7847-7853. (in Chinese)
- [18] 魏世清, 张磊, 张琴, 等. 野葛(*Pueraria lobata*)愈伤组织诱导及组织培养[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 28(3): 422-424.
- WEI S Q, ZHANG L, ZHANG Q, et al. Callus induction and plantlet regeneration of pueraria in tissue culture[J]. Journal of Southwest Agricultural University(Natural Science Edition), 2006, 28(3): 422-424. (in Chinese)
- [19] 乃比江·麦图荪, 张霞, 张富春. 花花柴组织培养与植株再生体系的优化[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(10): 1829-1833, 1961.
- N B J·MAI TU SUN, ZHANG X, ZHANG F C. Optimization of tissue culture and plantlet regeneration of *Karelinia Caspica*[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(10): 1829-1833, 1961. (in Chinese)
- [20] 袁芳, 宋凯杰, 杨泽东, 等. 铁皮石斛茎段类原球茎的诱导及植株再生[J]. 东北农业科学, 2019, 44(4): 66-71.
- YUAN F, SONG K J, YANG Z D, et al. Protocorm-like Bodies Induction and plant regeneration from stem segments of *Dendrobium officinale* kimura et migo[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2019, 44(4): 66-71. (in Chinese)
- [21] 瞿萍梅, 龙春林, 程治英, 等. 油莎豆的组织培养和快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(2): 331.
- ZHAI P M, LONG C L, CHENG Z Y, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Cyperus esculentus* L. var. sativus Boeck[J]. Plant Physiology Journal, 2007, 43(2): 331. (in Chinese)
- [22] 李佳婷, 高静阳, 孙春雨, 等. 油莎豆快速繁殖体系的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 446-451.
- LI J T, GAO J Y, SUN C Y, et al. Studies on rapid propagation system of yellow nutsedge(*Cyperus esculentus* L.) in vitro[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2019, 27(4): 446-451. (in Chinese)
- [23] 吴琼. 油莎豆再生体系的建立及多倍体诱导[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- WU Q. The regeneration system of Yellow Nutsedge and the polyploid induction[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009. (in Chinese)
- [24] 黄思. 油莎豆茎尖培养体系的构建及高效栽培技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- HUANG S. The Construction of stem tip culture system and a study of efficient cultivation technology in chufa[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [25] 熊浪. 油莎豆组培-遗传转化体系建立与优化[D]. 武汉: 湖北大学, 2024.
- XIONG L. Establishment and optimization of tissue culture - genetic transformation system of *Cyperus*[D]. Wuhan: HuBei University, 2024. (in Chinese)

(责任编辑: 范杰英)

(上接第74页)

- CHEN S C, WANG M, WANG J, et al. Response of seed germination and seedling physiological characteristics of *Medicago sativa* to the simulated osmotic potential of PEG6000[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(9): 2923-2931. (in Chinese)
- [25] 姜生秀, 严子柱, 吴昊. PEG6000模拟干旱胁迫对2种沙冬青种子萌发的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 130-136.
- JIANG S X, YAN Z Z, WU H. Effects of PEG6000 on seed germination of two species of *Ammopiptanthus* under simulated drought stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 130-136. (in Chinese)
- [26] 李丹, 石浏芑. PEG-6000模拟干旱胁迫对紫苏种子萌发的影响[J]. 东北农业科学, 2022, 1(2): 167-170.
- LI D, SHI L P. Effects of PEG-6000 simulated drought stress on the germination of purple perilla seeds[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 1(2): 167-170. (in Chinese)
- [27] 作建芬, 林益超, 刘维维, 等. 聚乙二醇-6000模拟干旱胁迫对三种牧草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2025, 45(13): 6414-6426.
- ZUO J F, LIN Y C, LIU W W, et al. Effects of simulated drought stress with PEG-6000 on seed germination and seedling growth of three species of forage grasses[J]. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(13): 6414-6426. (in Chinese)

(责任编辑: 范杰英)