

范小玉,陈雷,刘卫星,等.氯化钙浸种对干旱胁迫下花生种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].江苏农业科学,2022,50(8):101-105.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.019

氯化钙浸种对干旱胁迫下花生种子萌发及幼苗生理特性的影响

范小玉,陈雷,刘卫星,张枫叶,贺群岭,李可,吴继华

(河南省商丘市农林科学院,河南商丘 476000)

摘要:为探明钙肥在干旱胁迫下对花生种子萌发及幼苗生长发育的调控效应,以商花30号为试验材料,在10%聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫条件下,研究不同浓度的氯化钙(CaCl_2)浸种处理对花生种子萌发、幼苗生物量、膜脂过氧化作用及抗氧化酶活性的影响。结果表明,干旱胁迫条件下, CaCl_2 浸种处理显著提高了花生种子的发芽率、发芽势、发芽指数,促进了种子的萌发; CaCl_2 浸种处理显著增加了花生幼芽胚根长、胚轴长、根数量及幼苗株高、鲜质量、干质量,促进了根系的生长、构建了健壮的植株形态; CaCl_2 浸种处理显著降低了幼苗叶片丙二醛(MDA)含量,增强了幼苗叶片SOD和POD活性。由此表明,本试验条件下, CaCl_2 浸种处理对干旱胁迫具有一定的缓解作用,其中40 mmol/L CaCl_2 对干旱胁迫的缓解效果最佳,可以有效地促进干旱胁迫下花生种子萌发和幼苗生长。

关键词:氯化钙;干旱胁迫;种子萌发;幼苗;生理特性

中图分类号:S565.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0101-04

花生(*Arachis hypogaea* L.)是我国重要的油料作物和经济作物,随着全球气候变暖,干旱化的威胁越来越严重,我国作为花生的主产国之一,种植面积的2/3常年受到不同程度的干旱影响^[1-2]。高国庆等统计表明,干旱常年造成的花生减产占全国总产量的20%以上^[3]。姚君平等认为,干旱除引起减产外,还降低了花生品质,加重了黄曲霉毒素污染和病虫害发生频率^[4]。花生是喜钙作物,对钙极度敏感,对钙肥的需求量次于氮,高于磷,与钾相当^[5]。相关研究表明,适宜的外源钙具有提高干旱胁迫下作物幼苗根系活力、植物体内超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、脯氨酸含量,降低丙二醛(MDA)含量,调节激素和一些重要的生化物质代谢等作用,从而减缓干旱胁迫对花生造成的伤害,提高花生的抗旱性^[6-7]。

农用氯化钙是一种由氯元素和钙元素构成的

盐,化学式为 CaCl_2 ,可以为作物提供微肥,具有稳定和保护细胞质膜结构与功能、参与干旱信号的传递、调节保护酶活性等作用,从而缓解干旱胁迫对作物造成的伤害。目前,关于氯化钙浸种提高作物抗旱性等研究可见于玉米^[8]、银杏^[9]、小麦^[10]、苜蓿^[11]、大豆^[12]、亚麻^[13]等作物上。但鲜有报道氯化钙浸种对干旱胁迫条件下花生种子萌发及幼苗生理指标的影响,本研究通过在10%聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫条件下,研究不同浓度的 CaCl_2 浸种对花生种子萌发及幼苗生理指标的影响,探讨 CaCl_2 浸种缓解干旱胁迫对花生种子萌发及幼苗生长发育造成伤害的机理及筛选最佳浸种浓度,以期为提高花生抗旱性提供重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2020年5月在河南省商丘市农林科学院生理实验室内进行。供试花生品种为商花30号,是商丘市农林科学院新育高油酸花生品种。氯化钙(CaCl_2 含量 $\geq 96\%$),白色粉末状,天津市致远化学试剂有限公司生产。用10%聚乙二醇(PEG-6000,分析纯)模拟干旱处理。

1.2 试验设计

试验设4个 CaCl_2 浓度处理,分别为20 mmol/L

收稿日期:2021-06-25

基金项目:河南省花生产业技术体系专项(编号:S2012-05-G01);

河南省重大科技专项(编号:201300111000);河南省科技攻关计划(编号:202102110179)。

作者简介:范小玉(1984—),女,河南商丘人,硕士,助理研究员,主要从事花生遗传育种及栽培研究。E-mail: fxy084627@126.com。

通信作者:吴继华,研究员,主要从事花生遗传育种及栽培研究。

E-mail: wjihua122@163.com。

(CA_{20})、40 mmol/L (CA_{40})、60 mmol/L (CA_{60})、80 mmol/L (CA_{80}), 蒸馏水浸种作为对照 (CK)。选取籽粒饱满、大小一致的花生种子, 用 1% 次氯酸钠溶液消毒 5 min, 无菌水冲洗 3 遍, 用不同浓度的 $CaCl_2$ 溶液浸种 12 h, CK 采用蒸馏水浸种 12 h。将浸好的种子分别置于培养皿内, 每皿放 20 粒种子, 加入 10% PEG 溶液, 每处理重复 3 次, 然后置于 28 °C 光照培养箱进行发芽培养。每 24 h 更换 1 次滤纸和胁迫液。每天观察记录种子发芽情况, 用于种子萌发指标的测定。于处理第 15 天时测定幼苗的相关生长指标及生理指标。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 种子萌发指标的测定项目和方法 以胚根长度等于种子长度作为发芽标准, 每天观察记录发芽情况并统计发芽数。参照《种子生物学研究指南》^[14] 计算种子的露白率、发芽势、发芽率、发芽指数。处理第 7 天采用游标卡尺测量幼芽的幼根长、胚轴长, 统计根数量。

1.3.2 幼苗生长指标的测定 每处理选取长势均匀一致的植株 10 株, 冲洗干净, 吸干表面水分, 分别称其鲜质量; 将选取的材料立即置入恒温干燥箱内, 先杀青 (105 °C、30 min), 后烘干 (80 °C) 至恒质量, 称其干质量。试验均重复 3 次, 取其平均值。

1.3.3 幼苗生理指标的测定项目和方法 每处理取同等部位的叶片部分, 用于以下生理指标的测

定。丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸法; 过氧化物酶活性采用愈伤木酚法测定; 超氧化物歧化酶活性采用氮蓝四唑光还原法测定, 具体测定方法参照文献^[15], 每次测定均重复 3 次。

1.4 数据处理及分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行编辑处理。采用 DPS 软件对数据进行方差显著性分析。

2 结果与分析

2.1 $CaCl_2$ 浸种对干旱胁迫下花生种子萌发的影响

种子萌发状况的好坏直接关系到后期幼苗的建立、植株密度以及最终产量的形成^[16]。由表 1 可知, 经 $CaCl_2$ 浸种处理的花生种子的露白率、发芽势、发芽率、发芽指数均高于对照, 随着 $CaCl_2$ 浸种浓度的升高, 各项萌发指标值均呈先上升后下降趋势。4 个 $CaCl_2$ 浸种处理中, CA_{20} 处理花生种子露白率、发芽率、发芽指数、幼根长测定值最低, 但均高于 CK; CA_{40} 处理的种子发芽率最高, 达 78.60%, 为 CK 的 1.21 倍, CA_{60} 处理的种子的露白率、发芽势、发芽指数均最高, 分别为 CK 的 1.03、1.10、1.43 倍, 2 个处理间无显著差异; 当浸种浓度达到 80 mmol/L 时, 各萌发指标值均下降明显, 对花生种子的萌发促进作用逐渐减弱。说明适宜浓度的 $CaCl_2$ 浸种可以有效地缓解干旱胁迫对种子萌发的抑制作用, 从而保证苗全苗齐, 提高幼苗的整齐度。

表 1 $CaCl_2$ 浸种对干旱胁迫下花生种子萌发的影响

处理	露白率 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽指数	幼根长 (cm)	胚轴长 (cm)	根数量 (条)
CK	36.30 ± 4.5bA	59.03 ± 2.1cC	65.10 ± 7.0cC	9.73 ± 4.3dD	5.23 ± 0.65cC	0.84 ± 0.09cC	16.00 ± 3.05cC
CA_{20}	36.67 ± 4.7abA	63.07 ± 3.8bB	72.93 ± 5.6bB	11.73 ± 2.5cC	6.10 ± 0.55bBC	1.50 ± 0.14bAB	26.00 ± 4.16bBC
CA_{40}	37.13 ± 3.5aA	64.33 ± 2.6aAB	78.60 ± 5.8aB	13.67 ± 4.7aA	7.30 ± 0.17aAB	1.70 ± 0.10aA	36.67 ± 2.64aA
CA_{60}	37.27 ± 3.5aA	64.80 ± 3.2aA	78.23 ± 4.5aA	13.87 ± 1.1aA	7.23 ± 0.35aA	1.61 ± 0.04aA	34.67 ± 5.57aAB
CA_{80}	36.80 ± 2.6abA	62.90 ± 3.4bB	73.90 ± 7.9bA	12.60 ± 1.5bB	6.86 ± 0.21abAB	1.45 ± 0.03bB	25.33 ± 3.51bBC

注: 同列数字后不同大写字母、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

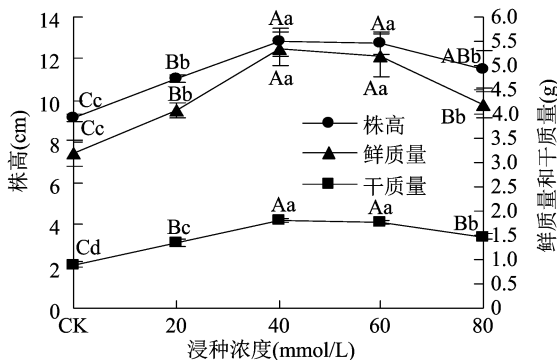
花生萌发后幼根长、胚轴长和根数量可以很好地反映出幼苗生长初期的形态构建状况。由表 1 可知, $CaCl_2$ 浸种对提高种子的幼根长度、胚轴长度及根的数量有明显的促进作用。花生种子幼根长、胚轴长和根数量均随着 $CaCl_2$ 浸种浓度的增加呈先上升后下降趋势, 且各处理值均大于 CK; 其中 CA_{40} 处理的幼根长、胚轴长及根数均最大, 分别是 CK 的 1.40、2.02、2.29 倍; CA_{20} 、 CA_{80} 处理花生种子的幼根长、胚轴长和根数均低于其他 2 个处理, 但均显著

高于 CK。说明适宜浓度的 $CaCl_2$ 浸种处理能够显著增加幼根、胚轴长和根数, 促进根系生长, 为构建健壮的花生植株打下良好的基础。

2.2 $CaCl_2$ 浸种对干旱胁迫下花生幼苗株高及生物量的影响

由图 1 可以看出, $CaCl_2$ 浸种处理后, 在干旱胁迫条件下, 各处理幼苗株高、鲜质量和干质量值均高于 CK, 花生幼苗的株高、鲜质量和干质量在 $CaCl_2$ 浸种浓度为 0 ~ 40 mmol/L 范围内随浸种浓度的升

高而增高,并在 40 mmol/L 时达最大值,当 CaCl_2 浸种浓度高于 40 mmol/L 时,则呈降低趋势。其中 CA_{40} 处理幼苗株高、鲜质量、干质量比对照增加 40.04%、67.50%、102.22%,对花生幼苗的生长具有明显的促进作用;随着 CaCl_2 浸种浓度的增加,当到达 80 mmol/L 时,与 CA_{40} 处理相比,其幼苗株高、鲜质量、干质量分别降低 10.15%、21.64%、18.68%。说明适宜浓度的 CaCl_2 浸种处理能够较好地促进幼苗生长,而较高浓度的 CaCl_2 浸种对幼苗生长有明显的抑制作用。



不同大写字母、小写字母分别表示 0.05、0.01 水平上差异显著。图 2、图 3 同

图 1 CaCl_2 浸种对干旱胁迫下花生幼苗株高及生物量的影响

2.3 CaCl_2 浸种对干旱胁迫下花生幼苗叶片 MDA 含量的影响

当植物受到逆境胁迫时,往往会发生膜脂过氧化作用,MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,其含量可以直接反映出逆境胁迫对植物细胞膜的伤害程度^[17]。由图 2 可知,在干旱胁迫下, CaCl_2 浸种处理可以有效降低叶片 MDA 含量,且随浸种浓度的增加呈先下降后上升的趋势。与 CK 相比, CA_{40} 处理叶片 MDA 含量大幅下降,说明 40 mmol/L CaCl_2 浸种浓度可以明显抑制花生幼苗叶片 MDA 的合成与积累,减轻干旱胁迫对幼苗叶片造成的伤

害; CA_{20} 、 CA_{60} 、 CA_{80} 处理也能有效降低叶片内 MDA 含量,与 CK 相比,其值分别下降 20.09%、27.72%、9.81%。说明 CaCl_2 浸种能有效降低幼苗叶片 MDA 积累量,从而减轻膜脂过氧化作用对细胞造成的伤害,其中 40 mmol/L CaCl_2 浸种效果最好。

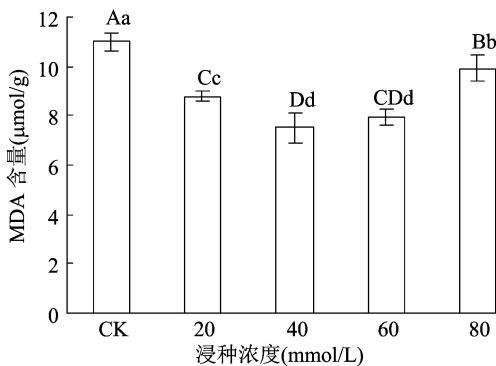


图 2 CaCl_2 浸种对干旱胁迫下花生幼苗叶片 MDA 含量的影响

2.4 CaCl_2 浸种对干旱胁迫下幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

SOD、POD 是种子萌发过程中重要的代谢酶,也是保护氧自由基对细胞膜系统伤害的保护酶^[18]。由图 3 可知, CaCl_2 浸种处理后,在干旱胁迫下,花生幼苗叶片的 SOD、POD 活性变化趋势基本一致,均随 CaCl_2 浓度的增加先大幅升高后小幅降低。各浓度处理幼苗叶片 SOD、POD 活性均高于 CK,其中 CA_{40} 处理幼苗叶片 SOD、POD 活性最高,与 CK 相比,分别增加 32.53%、44.01%; CA_{20} 、 CA_{60} 、 CA_{80} 处理后幼苗叶片 SOD 活性分别为 CK 的 1.15、1.45、1.37 倍,POD 活性分别为 CK 的 1.34、1.76、1.57 倍。说明 CaCl_2 浸种可以有效促进 SOD、POD 活性的提高,从而有助于消除氧自由基对细胞膜系统的伤害,缓解干旱胁迫对幼苗叶片的伤害,且 40 mmol/L CaCl_2 为提高花生幼苗抗氧化能力的最佳浓度。

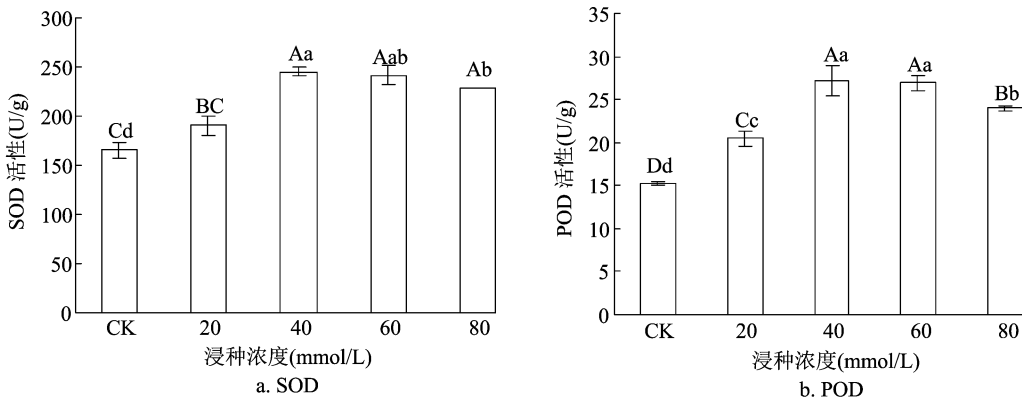


图 3 CaCl_2 浸种对干旱胁迫下花生幼苗叶片 SOD、POD 活性的影响

3 结论与讨论

种子萌发是植株正常生长发育和形态建成的基础,是植物体生命周期的起点。本研究结果表明,在干旱胁迫条件下,花生种子萌发受到显著抑制,而采用 CaCl_2 浸种预处理则能明显促进干旱胁迫下花生种子萌发和幼芽的生长,主要表现在花生种子发芽率、发芽势和发芽指数与对照相比均显著提高,且幼根长、胚轴长和根的数量均较对照显著增加,这与代海芳等的研究结果^[12,19]一致。从本试验可以看出, CA_{60} 处理对于种子的露白率、发芽势、发芽指数有明显的提高作用,与 CA_{40} 处理无显著差异,但对于提高种子发芽率及后期促进幼芽生长效果则低于 CA_{40} 处理,说明 40 mmol/L CaCl_2 处理对于种子萌发和幼芽的生长为最佳浸种浓度。在干旱胁迫条件下, CaCl_2 浸种之所以能够提高花生种子的发芽能力,可能是由于外源 Ca^{2+} 存在时,种子细胞内能迅速产生 O_2^+ 和 H_2O_2 等活性氧分子,进而启动机体内其他信号,引起一系列保护性的生理反应,从而缓解干旱胁迫下对花生种子萌发造成的伤害。

钙是植物生长的营养元素与第二信使,能调控植物生长发育^[20-22]。本研究结果表明, CaCl_2 浸种预处理可以显著提高干旱胁迫下幼苗株高、干质量和鲜质量,且均高于对照,各项幼苗生长指标随浸种浓度增加呈先上升后下降趋势,这与罗永华等的研究结果^[13]一致。 CaCl_2 浸种预处理能够显著提高干旱胁迫下幼苗株高、干质量和鲜质量,可能是由于通过 CaCl_2 浸种预处理能促使花生种子萌发和幼芽生长上升,增强一些种子在物质代谢水平上的相关酶活性,一旦种子体内的代谢水平加强、酶活性增加,外在的幼苗株高、干质量和鲜质量会相应提高,从而可以构建健壮花生植株,提高幼苗抗旱能力,这是一个由内而外的过程。其中 40 mmol/L CaCl_2 浸种处理幼苗株高、鲜质量、干质量比对照增加 40.04%、67.50%、102.22%,为最佳浸种浓度。

当植物受到逆境胁迫时,其体内活性氧防御系统就会对其形成相应适应逆境的生理生化代谢反应,而 SOD、POD 是植物活性氧防御系统中的关键酶^[20]。 CaCl_2 浸种能够有效提高干旱胁迫条件下幼苗叶片 SOD、POD 活性,且活性均显著高于对照,说明干旱胁迫破坏了活性氧防御系统及自由基产生和消除的平衡,通过 CaCl_2 浸种,提高了保护酶活

性,增强了活性氧防御系统能力,维持了细胞结构和功能的稳定性,提高了花生幼苗的干旱性,从而缓解了花生幼苗叶片在逆境下造成的伤害,这与周录英等的研究结果^[21]一致。同时 CaCl_2 浸种可在一定浓度范围内提高幼苗叶片 MDA 含量,说明适宜浓度的 CaCl_2 对稳定双脂层的膜结构、防止膜损伤和膜渗透、维持膜的完整性起着积极的作用,这与李永胜等的研究结果^[22-25]一致。从本试验可以看出,干旱胁迫下,40 mmol/L CaCl_2 浸种浓度在降低幼苗叶片 MDA 含量,提高 SOD 和 POD 活性效果最好,为最佳浸种浓度。

综上所述,干旱胁迫条件下,采用 40 mmol/L CaCl_2 浸种预处理,能有效促进干旱胁迫下种子萌发和幼苗生长,抑制膜脂过氧化产物 MDA 含量,诱导 SOD、POD 活性提高,从而减轻干旱胁迫对花生幼苗带来的伤害,获得较好的植株构建,为培育健壮幼苗打下基础。然而,关于 CaCl_2 浸种预处理提高花生抗旱性的具体作用机制还要进一步研究。

参考文献:

- [1] Reddy T Y, Reddy V R, Anbumozhi V. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to drought stress and its amelioration: a critical review[J]. *Plant Growth Regulation*, 2003, 41 (1): 75-88.
- [2] 苗锦山, 王铭伦. 水分胁迫对花生生长发育影响的研究进展[J]. *花生学报*, 2003, 32(增刊1): 368-371.
- [3] 高国庆, 周汉群, 唐荣华. 花生品种抗旱性鉴定[J]. *花生科技*, 1995, 24(3): 7-9, 15.
- [4] 姚君平, 罗瑶年, 杨新道. 干旱对花生早熟种籽仁发育及其品质影响研究初报[J]. *中国油料*, 1982, 4(3): 50-52.
- [5] 黄钧如, 黄立新. 增施钙肥是实现花生高产的有效措施[J]. *江西农业科技*, 2000(6): 22.
- [6] 顾学花, 孙莲强, 高波, 等. 施钙对干旱胁迫下花生生理特性、产量和品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1433-1439.
- [7] 王广恩, 金卫平, 李俊兰, 等. 干旱胁迫下外源钙对棉花幼苗抗旱相关生理指标的影响[J]. *华北农学报*, 2010, 25(增刊2): 115-118.
- [8] 龚明, 杜朝昆, 许文忠. 钙和钙调素对玉米幼苗抗旱性的调控[J]. *西北植物学报*, 1996, 16(3): 214-220.
- [9] 蒋林, 丁平, 蔡冬梅, 等. 几种化学药物对银杏种子发芽力的影响[J]. *中草药*, 2000, 31(11): 856-858.
- [10] 冯文新, 韩占芳, 王玉国, 等. 钙浸种对小麦幼苗保护酶活性及膜功能的影响[J]. *麦类作物学报*, 1997, 17(3): 31-33.
- [11] 姜义宝, 李建华, 方丽云, 等. 钙处理对苜蓿幼苗抗旱性的影响[J]. *中国草地学报*, 2008, 30(1): 117-120.
- [12] 代海芳, 王素芳, 汤菊香. 水杨酸和氯化钙处理对干旱胁迫下大豆种子萌发的影响[C]//河南省植物生理学会三十周年庆典暨学术研讨会论文集. 郑州, 2010.

王坤庭,陶钰,邢志鹏,等. 穗肥施氮量和结实期遮光对水稻产量和干物质积累特征的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):105-110.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.020

穗肥施氮量和结实期遮光对水稻产量和干物质积累特征的影响

王坤庭,陶钰,邢志鹏,冯源,郭力,赵欣怡,缪孙静,陈慧敏,胡雅杰
(扬州大学江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏扬州 225009)

摘要:穗肥施氮量和结实期遮光通过改变灌浆结实期植株营养和叶片光合影响水稻产量。以淮稻 5 号、南粳 9108 为材料,设置 3 种穗肥施氮量处理和结实期 2 种光照处理,研究穗肥施氮量和结实期遮光对水稻产量及其构成因素和干物质积累特征的影响。结果表明,随穗肥施氮量的增加,结实期 2 种光照处理下水稻产量均表现为先增后降的趋势。结实期遮光显著降低了水稻产量,且水稻产量于穗肥施氮量处理间的差异也减小。穗肥施氮量的增加有利于有效穗数和穗粒数的增加,群体颖花量同时增加,但结实率和千粒质量下降。结实期遮光显著降低水稻的结实率和千粒质量。随穗肥施氮量的增加,水稻成熟期干物质积累量增加,淮稻 5 号抽穗至成熟阶段的干物质积累量增加,南粳 9108 抽穗至成熟阶段的干物质积累量呈先增后降的趋势。与自然光照处理相比,结实期遮光显著减少了水稻成熟期干物质积累量和抽穗至成熟阶段干物质积累量与比例。水稻抽穗至成熟阶段的光合势随穗肥施氮量的增加而增大,群体生长率和净同化率呈先增大后减小的趋势。结实期遮光提高了各穗肥施氮量处理下水稻抽穗至成熟阶段的光合势,但显著降低了群体生长率和净同化率。

关键词:穗肥施氮量;结实期遮光;产量;光合物质;积累特征

中图分类号:S511.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0105-06

水稻是高温短日照作物,光照度是影响水稻植株生长与产量形成的主要气候因子之一^[1]。充足

的光照是水稻叶片光合和产量形成的必然条件。相关研究表明,80% 以上的水稻产量来源于结实期水稻叶片的光合产物,光照不足则显著抑制叶片光合作用以及干物质积累与产量形成,且生育后期的光照度差异对水稻产量形成的影响更大^[2]。近几十年的卫星资料统计报道,陆地区域地表太阳辐射通量总体上呈逐年减少趋势,各国家和地区的地表太阳辐射通量与全球变化趋势基本一致^[3]。受气候异常变化和环境污染的影响,寡日照可能逐步成

收稿日期:2021-10-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31801293);江苏省大学生创新创业训练计划(编号:202011117087Y)。

作者简介:王坤庭(2000—),男,河南焦作人,主要从事水稻优质高产栽培技术研究。E-mail:389157462@qq.com。

通信作者:邢志鹏,博士,助理研究员,主要从事水稻优质丰产精简化栽培技术研究。E-mail:zpxing@yzu.edu.cn。

[13] 罗永华,张吉民,牛瑞明,等. 氯化钙对坝亚 7 号亚麻种子萌发及幼苗活力的影响[J]. 贵州农业科学,2014,42(1):48-50.

[14] 宋松泉. 种子生物学研究指南[M]. 北京:科学出版社,2005.

[15] 李合生. 植物生理学实验技术指导[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

[16] Khajeh - Pour M. Industrial crops[M]. Isfahan: University Jihad Publications of Isfahan Branch,2004.

[17] 孙莲强,顾学花,张佳蕾,等. 锌肥对花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 花生学报,2014,43(1):1-6.

[18] McAinsh M R, Brownlee C, Hetherington A M. Calcium ions as second messengers in guard cell signal transduction[J]. Physiologia Plantarum,1997,100(1):16-29.

[19] 刘振宇,于雯,张倩文,等. 不同化学试剂浸种对银杏种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 临沂大学学报,2019,41(6):32-38.

[20] 李妹芳. 转 BADH 基因植物的抗逆性与钙离子信号及热激蛋白的关系[D]. 泰安:山东农业大学,2013.

[21] 周录英,李向东,王丽丽,等. 钙肥不同用量对花生生理特性及产量和品质的影响[J]. 作物学报,2008,34(5):879-885.

[22] 李永胜,杜建军,赵荣芳,等. 花生中微量元素营养特性及研究进展[J]. 花生学报,2011,40(2):24-28.

[23] 张佳蕾,郭峰,孟静静,等. 钙肥对旱地花生生育后期生理特性和产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2016,38(3):321-327.

[24] 熊路,曾红远,吴佳宝,等. 花生钙素营养研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(12):13-17.

[25] Gong M, Li Y J, Dai X, et al. Involvement of calcium and calmodulin in the acquisition of heat - shock induced thermotolerance in maize seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 1997,150(5):615-621.