

花生对水分胁迫的响应研究进展

姚珍珠, 夏桂敏*, 王淑君, 胡家齐, 迟道才
(沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳, 110161)

摘要:花生是我国主要的油料作物和重要的经济作物, 干旱对其生长发育、代谢生理、产量、品质及水分利用效率均有一定的影响。本文分析了水分胁迫及复水后, 花生生长、代谢生理的调节动态; 总结了花生品质的变化规律; 综述了花生水分利用效率因其受水分胁迫及复水后的响应, 水分胁迫及复水对花生生长、代谢生理、产量、品质及水分利用效率的影响, 为进一步实施花生的节水栽培技术和确定花生的调亏灌溉制度提供参考。

关键词:花生; 水分胁迫; 生理生态性状; 产量; 水分利用效率
中图分类号: S565.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9084(2016)05-0699-06

Research progress of the effects of water stress on peanut

YAO Zhen-zhu, XIA Gui-min*, WANG Shu-jun, HU Jia-qi, CHI Dao-cai
(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: Peanut is a major oil crop and an important economical crop in China. Drought is one of the most important environmental stresses affecting the productivity and quality of peanut. The paper analyzed the regulation dynamics of peanut growth and metabolic physiology, concluded the changes of peanut quality, and summarized the response of peanut water use efficiency to water stress and re-water. Elucidation of the complex mechanism will provide a theoretical basis for further implement of peanut water-saving cultivation techniques and choice of peanut deficit irrigation regime.

Key words: Peanut; Water stress; Ecophysiological traits; Yield; Water use efficiency

花生 (*Arachis hypogaea* Linn) 是我国主要的油料作物和重要的经济作物, 它在我国国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用^[1,2]。另外, 花生自身含有丰富的油脂、蛋白质、矿物质 (如 P, Ca, Mg, K)、维他命 (如 E, K, B 族) 等营养成分以及一定的药用价值, 除供食用外, 被广泛应用于保健医药等行业^[3,4]。作为我国传统的食用植物油和蛋白质来源, 花生生产发展对于增加我国蛋白质及食用植物油的供给具有重要的作用^[5,6]。

干旱是影响作物生长和生产的主要非生物因子之一^[7], 对农业生产具有显著的影响^[8]。在作物生育进程中, 良好的水分供应能够提高作物产量, 改善品质^[6], 而水分亏缺条件下, 作物会产生一系列生理生态反应, 以应对土壤的水分胁迫。花生是较耐

旱耐寒的经济作物, 也是发展旱作农业、充分开发利用旱薄地资源的理想作物。我国花生主要种植在干旱、半干旱地区, 地域降雨量偏少、降雨集中和季节性干旱, 使得花生在不同生育阶段, 常常会受到干旱胁迫的影响^[9]。据统计, 常年干旱造成我国 70% 的花生受到不同程度干旱胁迫的影响, 花生减产量占全国总产量的 20% 以上, 同时花生的品质降低, 黄曲霉毒素污染严重^[10,11]。干旱成为限制和危害花生生产种植的最大因素之一^[12]。因此, 总结国内外专家学者们对水分胁迫及复水后, 花生生长发育特征、代谢生理、产量、品质及水分利用效率的变化, 对进一步合理地制定花生调亏灌溉制度, 指导花生节水高产栽培技术及农业生产具有一定的意义。

收稿日期: 2016-03-04
基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201303125)
作者简介: 姚珍珠 (1990 -), 女, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究, E-mail: shuibao102102@163.com
* 通讯作者: 夏桂敏 (1973 -), 女, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事农业与生态节水理论及技术研究, E-mail: xiagm1229@126.com

1 水分胁迫对花生生长的影响

1.1 对花生根系生长的影响

干旱条件下,植物根系会产生一系列适应机制来抵御干旱胁迫带来的危害,以维持其正常生长^[13]。一般认为适度干旱下,根长度和密度增加^[14],根冠比提高,复水后各根系迅速吸水而恢复生长,但长期干旱或严重干旱,将会使细胞结构受到损坏,复水后无法恢复生长^[15]。薛慧勤^[16]研究表明根系活力受干旱胁迫影响显著,轻度干旱胁迫,根系活力稍有上升,随着干旱胁迫处理时间越长,根系活力则逐渐下降。丁红^[12]研究花生生育中度干旱胁迫对根系生长的影响后得出,花生生育前期适度水分胁迫,有利于根系向较深土层下扎,分生更多侧根,充分利用深层土壤水分以适应干旱胁迫。顾学花等研究发现^[17],花生花针期和结荚期干旱控水10d,使得花生根系活力显著降低,且随复水后天数增加,根系活力呈增强趋势。Rowland^[18]研究报道,早期水分胁迫改变了花生根系在土壤中的分布,增加了深土层根系分布量,同时增加花生根长度,根系分布直径及分布面积,有利于花生后期对水分的获取,促进其生长。Jongrunklang^[19]研究生育中期干旱胁迫对花生根系分布的影响,得到深层土壤根长密度百分数和花生产量呈正相关,而浅层土壤根长密度百分数和花生产量呈负相关,中层土壤根长密度百分数和花生产量无相关性。各研究者并未对花生全生育期的需水敏感程度进行统一划分,进而对花生进行水分胁迫处理,研究其对花生根系生长的影响。因此综合现有结论:在非需水关键期,对花生进行适度干旱胁迫,可以促进其根系向深层土壤生长,侧根分布发达,截获更多水分供花生植株利用,缓解水分胁迫,减轻其对产量的影响。

1.2 水分胁迫对花生地上部生长的影响

水分胁迫显著影响花生主茎高、侧枝长、总分枝数和结果枝数,不同时期干旱均使这些指标不同程度的降低,其中花针期和结荚期降低幅度最大^[5]。赵长星^[20]研究表明,苗期和饱果期干旱胁迫对花生植株生长影响相对较小,苗期干旱复水后对植株生长的补偿效应大,花针期和结荚期干旱对植株生长影响大,复水后补偿效应小。但李俊庆^[15]研究发现,不同生育期干旱处理,植株生长均受到抑制,苗期抑制作用最大,花针期次之,结荚期较小;复水后,可快速恢复生长,补偿水分胁迫期间造成的损失。对比学者们的结论,造成的差异可能是水分胁迫程度不同,亦或同气象因素有关。由张智猛等^[21]研究

可知,水分胁迫严重影响花生形态性状,使其主茎高、分枝数、根冠比值均较非胁迫环境有所降低,但在2个水分胁迫处理间表现不同。刘吉利^[22]研究表明,苗期干旱胁迫能够抑制花生叶片的生长,导致叶面积系数减少,群体光合有效辐射显著增加,群体透光率增大,光能利用率低。厉广辉^[23]研究表明,干旱胁迫降低了花生功能叶面积及单株叶面积,增加了比叶重值,同时改变了叶片组织结构。曹铁华^[24]研究开花后水分胁迫对花生产量形成过程的影响发现,各不同水分胁迫间花生的节数和分枝数无显著差异,降低花生茎的生长,成荚率随水分胁迫增加而减少。顾学花^[17]研究发现花针期和结荚期干旱胁迫抑制花生的营养生长,显著降低了花生的主茎高、主茎节数、主茎绿叶数、侧枝长、分枝数和干物质总量。而Dramé^[25]研究发现,水分胁迫下,花生叶片遭受了大约3.5MPa的负压,但其并未出现衰老症状,且在复水后,叶片软组织迅速恢复膨胀,表现出较好的耐旱性。张智猛^[26]研究表明,花生苗期适当干旱胁迫可促进花生植株健壮生长,利于花生“蹲苗”的实施。综上所述,在花生各生育阶段,适度的水分胁迫处理后,有明显的补偿效应,利于花生“蹲苗”,减少花生徒长,为产量的增加创造条件。

2 水分胁迫对花生代谢生理的影响

2.1 水分胁迫对花生叶片叶绿素含量的影响

叶绿素含量是花生光合性能、衰老程度及营养状况的直观表现,是花生进行光合作用的重要必备物质之一。虽然叶绿素含量的增加不能直接提高光合作用,但因其可增加光能的吸收和转化,所以促进了光合作用。一般情况下,水分胁迫处理使得花生叶绿素合成受阻。不同抗旱型花生品种和干旱胁迫程度,对水分胁迫下花生叶片的叶绿素含量的影响不同。张艳侠^[27]研究认为,水分胁迫会引起花生叶绿体色素的降解,轻度水分胁迫下叶绿素含量略有升高,在中度和重度水分胁迫下叶绿素含量迅速下降。Arunyanark对抗旱型花生叶绿素是否可作为抗旱指标研究时得出,水分胁迫降低了叶片的叶绿素总量,但提高了叶片的叶绿素密度,其原因很可能是因为水分胁迫下花生形成较厚的叶片,导致单位面积累积较多的叶绿素^[28]。孙爱清^[29]研究发现,长期水分胁迫,不同抗旱型的花生具有不同的响应,抗旱性强的花生在水分胁迫下叶绿素含量增加,抗旱性差的则显著下降。另外,叶绿素a/b值反映花生对逆境胁迫的灵敏程度。非水分胁迫条件下,花生叶绿素a/b值相对稳定,水分胁迫下,该值将下降。

李俊庆^[15]研究夏花生发现,生育期间干旱,夏花生叶片中叶绿素含量迅速提高,有利于进行光合作用,是花生维持一定的生长、抵抗不良环境影响的方式。顾学花^[17]研究表明,花针期和结荚期干旱控水10d,花生叶片的叶绿素含量显著降低,复水后叶片叶绿素含量缓慢增加。厉广辉^[23]研究发现,水分胁迫对于花生叶片叶绿素含量的影响,因花生不同抗旱性而产生差异,抗旱性强的花生品种,因水分胁迫作用,叶绿素含量高于对照处理,抗旱性弱的品种,叶片叶绿素含量因水分胁迫而降低。综上所述,花生生育期间,水分胁迫对花生叶绿素含量的影响,同水分胁迫程度和花生品种自身抗旱性密切相关,叶绿素含量随水分胁迫程度的变化,呈现单峰曲线,适度水分胁迫,可以激发花生叶片叶绿素含量的增加,达到一定程度后,叶绿素含量会减少。因此,确定叶绿素对水分胁迫程度变化的临界点,是进一步研究水分胁迫对花生代谢生理影响的重点之一。

2.2 水分胁迫对花生叶片保护酶活性及渗透物质含量的影响

水分胁迫初期,花生叶片中保护性酶系统(SOD、POD、CAT)活性升高,渗透物质含量增加,维持叶片的细胞膨压,保证叶片正常地进行细胞生理代谢过程,降低膜脂过氧化程度(MDA),防止细胞和组织脱水,进而提高了水分利用效率^[30,31]。张俊^[2]研究发现,在水分亏缺最敏感的花针期进行水分胁迫处理,花生叶片的保护酶活性显著降低,结束水分胁迫复水后,其酶活性迅速升高,但略低于正常水平。杨晓康^[32]研究发现,花生不同时期进行水分胁迫,提高了叶片的SOD活性。严美玲^[33]研究发现,水分胁迫下,不同品种花生叶片的SOD活性均有不同程度的提高,复水后,不同品种其活性恢复的程度有所不同;苗期中、轻度水分胁迫,不同品种花生叶片的POD和CAT活性均有不同程度提高,复水后,两种酶活性均有不同程度的降低。张智猛^[26]研究发现干旱处理初期,超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、游离氨基酸(AA)含量等显著升高,随着持续干旱处理,其酶活性和渗透调节物质同步降低;各干旱处理结束后,SOD、CAT、AA含量明显升高,且花针期升幅均较大,苗期干旱对生育后期渗透调节能力及保护酶的影响较小。Singh^[34]研究报道,水分胁迫降低了花生叶片的叶绿素荧光比率、有机酸和脂肪酸含量,提高了糖类和循环多元醇的相应水平。综上所述,花生叶片的保护酶和渗透物质的含量,随着水分胁迫的程度而变化,说明花生自身对水分胁迫所带来伤害具有一定

的抵抗能力。水分胁迫初期,刺激了花生叶片相关生理代谢调节系统,促进其正常代谢,当其胁迫强度超过其自身调节能力时则产生一系列负面影响,但在一定范围内,复水后可产生一定的补偿效应或超补偿效应。

2.3 水分胁迫对花生叶片光合特性的影响

作物遭受干旱胁迫后,光合性能将明显下降,且随胁迫程度的加重下降越显著,但复水后能够产生一定补偿效应^[35]。孙爱清^[29]研究表明,长期水分胁迫后,花生主茎倒三叶净光合速率和蒸腾速率明显下降,原因为长期水分胁迫下, C_i 值升高, L_s 值降低,光合速率降低是由非气孔因素所致,且通过降低蒸腾速率应对水分胁迫危害。杨晓康^[32]研究表明,不同生育时期水分胁迫降低了花生叶片净光合速率,但复水后,净光合速率均能较好地恢复到对照水平。严美玲^[33]研究表明,水分胁迫下,随胁迫程度的增加,花生幼苗光合速率逐渐下降,光合同化积累物受损,复水后,中度和重度干旱的叶片光合速率显著增加,表明花生苗期较耐旱。刘吉利^[22]研究表明,苗期水分胁迫显著降低花生叶片光合速率和蒸腾速率,复水后,叶片光合性能可产生一定的补偿效应,同时蒸腾速率比光合速率对水分胁迫的敏感性小,但对复水的敏感性大于光合速率。Haro^[36]研究发现,早播花生在结荚关键时期进行水分胁迫,减少截留光合有效辐射,降低光能利用效率,且随着水分胁迫程度的增加而降低幅度增大。Collino^[37]研究发现,水分胁迫提高两个花生品种叶片的 CO_2 转化效率,进而提高了叶片的光能利用效率。侯敏^[38]研究发现,水分胁迫下,花生冠层光合速率(CAP)变化幅度较大,且随胁迫程度加重而加重,同时,影响CAP的日变化,使其出现明显的“午休”现象。综上所述,水分胁迫影响花生叶片光合速率可分为直接影响和间接影响,前者为气孔因素,后者为非气孔因素。已有的研究并没有明确水分胁迫影响了气孔因素和非气孔因素在整个光合过程中的哪一个转化阶段,导致水分胁迫对花生光合作用的影响结论缺乏理论的支撑。今后的研究可针对花生光合作用的转化进程所需原料及影响因素,结合水分胁迫的影响,对花生叶片光合作用进行机理和调节动力方面的解释,进而得出相应结论,便于指导花生节水栽培技术实践。

3 水分胁迫对花生产量及产量构成的影响

花生不同生育期水分胁迫对单株结果数和单株

生产力均有一定影响^[39]。杨晓康^[32]研究发现,不同生育时期干旱显著降低花生荚果数和籽仁产量,并且结荚期对水分胁迫最敏感,减产率最大,其次为花针期和饱果期,苗期减产率最小。程曦^[40]研究发现,不同生育期干旱胁迫均使花生荚果产量降低,花针期干旱对荚果产量影响最大,结荚期次之,然后是饱果期,苗期影响最小。姚君平^[41]对早熟花生品种进行研究发现,任意生育期干旱处理,均使产量明显低于对照,结荚期干旱对产量影响最大,其次为饱果期,花针期相对较小,同时认为结荚中后期是早熟花生籽仁饱满的关键期,缺水将严重影响产量。赵长星^[20]研究发现,苗期干旱对荚果产量影响最小,且主要降低有效果数;其次为饱果成熟期,主要影响荚果饱满度;花针期和结荚期干旱对荚果产量影响大,是有效果数和荚果饱满度共同作用结果。顾学花^[17]研究得到,花针期和饱果期进行水分胁迫处理,显著降低了花生的产量,原因主要是降低了花生单株结果数,影响了花生结果饱满度。Girdthai^[42]研究得到,生育后期水分胁迫能显著降低花生产量,同时加剧黄曲霉毒素的污染。刘吉利^[43]研究发现,苗期水分胁迫处理,能显著减少单株结果数,进而影响花生经济产量和生物产量,但苗期适当控水(5d)能促进荚果发育,从而提高双仁果率和饱果率,一定程度补偿了因结果数减少对产量的影响。Flexas^[44]研究发现前期对花生进行水分胁迫处理,后期复水,可使花生产量增加,且对中后期的水分胁迫具有较好的耐性。Jongrunklang^[45]在花生开花前期对其进行水分胁迫处理,使花生饱果期荚果的生长速率得到提高,改变了花生经济部分的营养吸收比例,最终增加了花生的产量。综上所述,不同时期的水分胁迫使得花生的百果重、百仁重、饱果率和出仁率均降低。苗期和花针期水分胁迫主要影响单株结果数;结荚期和饱果期水分胁迫主要影响饱果率、百仁重、出仁率,从而影响产量。前期水分胁迫主要影响花生的结果率,后期主要影响其饱果率^[2]。另外,通过适度水分胁迫处理,可通过补偿效应实现增产或稳产的目标,同时,显著降低耗水量。

4 水分胁迫对花生水分利用效率的影响

水分利用效率是衡量植物耐旱性的重要指标^[46]。水分过多,其利用率并不会增加;干旱胁迫时,植物的水分利用效率提高^[22],但不分时期、盲目地降低灌水量,也无法保证一定的产量。灌溉要根据花生需水规律^[47],适时、适量灌溉才能更有效地利用水分,保证产量。刘吉利^[22]研究表明,苗期控

水能够减少花生的耗水量,且胁迫越重耗水量越少,但水分利用效率不随耗水量的增加而增加,在苗期适度干旱胁迫(5d)时,水分利用效率最大,其次是正常灌水处理,再次是重度胁迫(15d)下。Kheira^[47]研究发现,水分胁迫处理后,提高了花生的水分生产效率和灌溉水利用效率,且水分胁迫对后者的影响高于前者。Collino^[48]研究表明,水分胁迫下,由于上层土壤机械阻抗作用,花生果针入土滞后,导致其荚果水分利用率降低。水分利用效率最直接的影响因素有两个,即经济学产量和需水量。水分利用效率是一个综合作用的结果,探究水分胁迫对花生影响的本质,合理地进行水分胁迫处理,充分发挥花生的自我调节能力,在不影响产量的基础上,实现减少需水量的目标,为花生节水栽培技术及节水原理提供依据。

5 水分胁迫对花生品质的影响

可溶性糖含量、蛋白质含量和脂肪含量是评估花生籽仁品质的主要指标,油酸/亚油酸比值直接反映花生耐储藏能力。严美玲等^[33]研究表明,苗期中轻度水分胁迫可增加籽仁蛋白质含量,对脂肪含量无影响,重度水分胁迫会明显降低籽仁脂肪含量、油酸含量和油酸/亚油酸比值,提高亚油酸含量,但对蛋白质含量影响较小。刘吉利^[22]研究发现,苗期控水,提高花生籽仁蛋白质含量、亚油酸和棕榈酸含量,降低脂肪含量、油酸含量及油酸/亚油酸比值。顾学花^[17]研究表明,水分胁迫增加了籽仁蛋白质和可溶性糖含量,降低了脂肪含量,原因是水分胁迫可能抑制糖向脂肪转化,从而改善花生品质。另外,水分胁迫降低了花生制品的油酸/亚油酸比值,降低了花生耐储藏性。

6 结论

综上所述,水分亏缺条件下,花生通过调节生长、生理代谢活动等对水分胁迫产生一定的响应,在一定的水分胁迫范围内,花生可通过自身的调节能力,在复水后产生补偿效应,均衡水分胁迫对其造成的伤害,保证其健康生长,减少水分胁迫对末期荚果产量和品质的影响。因此可利用花生的自我补偿响应,实现花生节水高产或稳产的目标。但水分胁迫超过一定程度后,花生的生长受损,代谢生理紊乱,最终导致其产量减少和品质变差。因此,确定水分胁迫的最佳程度和最佳阶段,是花生种植采用调亏灌溉的关键技术点。很多学者已经研究了水分胁迫对花生各个生育阶段生物学特性、生理生态特性,产

量及水分利用效率等方面的影响,但由于花生品种、种植方式及气候条件的不同,导致所得到的结论均具有强的地域性。因此,未来的研究,应该以花生品种为基础,结合相应的种植方式,根据花生各个生育时期对水分敏感程度的不同,划分具体的水分胁迫程度,探究各个生育阶段,花生对所划分的水分胁迫程度的响应,进而通过花生具体的生长指标、代谢生理指标、产量及耗水量,得到该品种合理的调亏灌溉制度。另外,也可针对地区特点,进行花生品种的调亏灌溉制度的推行,科学合理地进行水量分配^[49],可显著地减少干旱半干旱地区水分的消耗,为落实现代节水农业技术,提供切实可行的理论基础。

参考文献:

- [1] 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):368-371.
- [2] 张俊,刘娟,臧秀旺,等. 不同生育时期干旱胁迫对花生产量及代谢调节的影响[J]. 核农学报,2015,29(6):190-197.
- [3] Jha B, Mishra A, Chaturvedi A K. Engineering stress tolerance in peanut (*Arachis hypogaea* L.) [A]. Genetically modified organisms in food: production, safety, regulation and public health [M]. 2015.
- [4] Savage G P, Keenan J I. The composition and nutritive value of groundnut kernels [A]. The Groundnut Crop [M]. 1994. 173-213.
- [5] 张俊,刘娟,臧秀旺,等. 不同生育时期水分胁迫对花生生长发育和产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(24):93-98.
- [6] 张怡. 中国花生生产布局变动解析[J]. 中国农村经济,2014,8(3):9-11.
- [7] Wan X R, Li L. Regulation of ABA level and water-stress tolerance of Arabidopsis, by ectopic expression of a peanut 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene [J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 2006,347(4):1030-1038.
- [8] Cunha A P M, Alvalá R C, Nobre C A, et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region [J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2015,214-215:494-505.
- [9] Aninbon C, Jogloy S, Vorasoot N, et al. Effect of end of season water deficit on phenolic compounds in peanut genotypes with different levels of resistance to drought [J]. Food Chemistry, 2016,196:123-129.
- [10] 王瑾,李玉荣,张嘉楠,等. 中国花生主栽品种抗旱性鉴定及其遗传多样性分析[J]. 中国农业科技导报,2015,17(1):57-64.
- [11] 姜慧芳,任小平. 干旱胁迫对花生叶片 SOD、活性和蛋白质的影响[J]. 作物学报,2004,30(2):169-174.
- [12] 丁红,张智猛,戴良香,等. 干旱胁迫对花生生育后期根系生长特征的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(12):1477-1483.
- [13] Wison J B. Shoot competition and root competition [J]. Journal of Applied Ecology, 1988,25(1):279-296.
- [14] Hund A, Liedgens M. Rooting depth and water use efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought tolerance [J]. Plant & Soil, 2009,318(1-2):311-325.
- [15] 李俊庆. 不同生育时期干旱处理对下花生生长发育的影响[J]. 花生学报,2004,33(3):33-35.
- [16] 薛慧勤,孙兰珍. 水分胁迫对不同抗旱性花生品种生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(4):83-85.
- [17] 顾学花,孙莲强,高波,等. 施钙对于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.
- [18] Rowland D L, Faircloth W H, Payton P, et al. Primed acclimation of cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) through the use of deficit irrigation timed to crop developmental periods [J]. Agricultural Water Management, 2012,113(10):85-95.
- [19] Jongrungrklang N, Toomsan B, Vorasoot N, et al. Classification of root distribution patterns and their contributions to yield in peanut genotypes under mid-season drought stress [J]. Field Crops Research, 2012,127(1):181-190.
- [20] 赵长星,程曦,王月福,等. 不同生育时期干旱胁迫对花生生长发育和复水后补偿效应的影响[J]. 中国油料作物学报,2012,34(6):627-632.
- [21] 张智猛,万书波,戴良香,等. 不同花生品种对于干旱胁迫的响应[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):631-638.
- [22] 刘吉利,赵长星,吴娜,等. 苗期干旱及复水对花生光合特性及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(3):469-476.
- [23] 厉广辉,张昆,刘凤珍,等. 不同抗旱性花生品种的叶片形态及生理特性[J]. 中国农业科学,2014,47(4):644-654.
- [24] 曹铁华,梁焯赫,张磊,等. 开花后水分胁迫对花生产量形成过程的影响[J]. 吉林农业大学学报,2011,33(1):9-13.
- [25] Dramé K N, Clavel D, Repellin A, et al. Water deficit induces variation in expression of stress-responsive genes in two peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars with different tolerance to drought [J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2007,45(3-4):236-243.

[26] 张智猛,戴良香,宋文武,等. 干旱处理对花生品种叶片保护酶活性和渗透物质含量的影响[J]. 作物学报,2013,39(1):133-141.

[27] 张艳侠. 外源甜菜碱改善花生抗旱性的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2006.

[28] Arunyanark A, Jogloy S, Akkasaeng C, et al. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut[J]. Journal of Agronomy & Crop Science,2008,194(194):113-125.

[29] 孙爱清,万勇善,刘凤珍,等. 干旱胁迫对不同花生品种光合特性和产量的影响[J]. 山东农业科学,2010(10):32-38.

[30] Amako K, Chen G X, Asada K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants[J]. Plant & Cell Physiology,1994,35(3):497-504.

[31] 薛慧勤,孙兰珍,甘信民,等. 花生品种抗旱性综合评价及其抗旱机理的数量分析[J]. 干旱地区农业研究,1999,17(4):82-85.

[32] 杨晓康. 干旱胁迫对不同抗旱花生品种生理特性、产量和品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2012.

[33] 严美玲,李向东,林英杰,等. 苗期干旱胁迫对不同抗旱花生品种生理特性、产量和品质的影响[J]. 作物学报,2007,33(1):113-119.

[34] Singh D, Collakova E, Isleib T G, et al. Differential physiological and metabolic responses to drought stress of peanut cultivars and breeding lines[J]. Crop Science,2014,54(5):2 262-2 274.

[35] 戴俊英,沈秀瑛,徐世昌,等. 水分胁迫对玉米光合性能及产量的影响[J]. 作物学报,1995,21(3):356-363.

[36] Haro R J, Dardanelli J L, Otegui M E, et al. Seed yield determination of peanut crops under water deficit: Soil strength effects on pod set, the source-sink ratio and radiation use efficiency[J]. Field Crops Research, 2008,109(1-3):24-33.

[37] Collino D J, Dardanelli J L, Sereno R, et al. Physiological responses of argentine peanut varieties to water stress: light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates[J]. Field Crops Research, 2001,70(3):177-184.

[38] 侯敏,侯刚,刘学良,等. 水分胁迫下氮素水平对花生产量和品质的生理生态影响[J]. 安徽农学通报,2010,16(15):8-16.

[39] 姚君平,罗瑶年. 早、中熟花生不同生育阶段土壤水分亏缺对植株生育和产量的影响[J]. 花生科技, 1985(20):1-8.

[40] 程曦,赵长星,王铭伦,等不同生育时期干旱胁迫对花生抗旱指标及产量的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2010(27):282-284.

[41] 姚君平,罗瑶年,杨新道,等. 早、中熟花生不同生育阶段土壤水分亏缺对植株生育和产量的影响[J]. 花生科技,1985,24(3):18-22.

[42] Girdthai T, Jogloy S, Vorasoot N, et al. Associations between physiological traits for drought tolerance and aflatoxin contamination in peanut genotypes under terminal drought[J]. Plant Breeding,2010,129(6):693-699.

[43] 刘吉利,王铭伦,吴娜,等. 苗期水分胁迫对花生产量、品质 and 水分利用效率的影响[J]. 中国农业科技导报,2009,11(2):114-118.

[44] Flexas J, Bota J, Galmés J, et al. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress[J]. Physiologia Plantarum,2006,127(3):343-352.

[45] Jongrunklang N, Toomsan B, Vorasoot N, et al. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels[J]. Field Crops Research, 2013,144:34-42.

[46] 李冀南,李朴芳,孔海燕,等. 干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展[J]. 生态学报,2011,31(9):2 610-2 620.

[47] Kheira A A A. Macromanagement of deficit-irrigated peanut with sprinkler irrigation[J]. Agricultural Water Management,2009, 96(10):1 409-1 420.

[48] Collino D J, Dardanelli J L, Sereno R, et al. Physiological responses of argentine peanut varieties to water stress. Water uptake and water use efficiency[J]. Field Crops Research,2000,68(2):133-142.

[49] Mullen J D, Yu Y, Hoogenboom G. Estimating the demand for irrigation water in a humid climate: A case study from the southeastern United States[J]. Agricultural Water Management,2009,96(10):1 421-1 428.

(责任编辑:王丽芳)