中国油料作物学报
Chinese Journal of Oil Crop Sciences
2026,48(5):174-179
doi:10.19802/j.issn.1007-9084.2025302

花生“清棵”技术研究及“免清棵”技术设计

唐桂英[1],张佳蕾[1§],单雷[1],徐平丽[1],李国卫[1],田婧雯[2],万书波[1*]
(1. 山东省农业科学院/ 山东省大田作物生理生态与高效生产重点实验室(筹),山东 济南,250100;
2. 山东师范大学生命科学学院,山东 济南,250014)

摘要:花生是地上开花、地下结果植物,其第一对侧枝的结果数占总结果数的60%以上,该侧枝发育状况直接决定产量形成。花生属于子叶半出土或不出土类型,出苗时子叶埋于土中,对第一对侧枝的生长形成空间限制,影响其发育。传统清棵技术(如“挖窝晒棵”)虽可有效促进侧枝发育、提高产量,但依赖人工操作、效率低,难以适应现代轻简化、规模化栽培需求。本文系统综述了花生下胚轴伸长的生物学特性及其关键调控因子(光照与植物激素)的研究进展,梳理了传统清棵、覆土引升子叶节位等农艺措施的发展历程与技术特点,并从子叶出土型种质创制、品种选育、激素调控、延迟顶芽见光等角度,提出了花生免清棵栽培技术的设计思路与实现路径,旨在为花生轻简化、高产高效栽培提供理论依据与技术支撑。

关键词:花生;子叶出土;下胚轴伸长;清棵;免清棵栽培
中图分类号:S565.2　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1007-9084(2026)05-0174-06

Research on stem-base soil-cleaning technique in peanut and design of non-cleaning technique

TANG Gui-ying[1], ZHANG Jia-lei[1§], SHAN Lei[1], XU Ping-li[1], LI Guo-wei[1], TIAN Jing-wen[2], WAN Shu-bo[1*]
(1. *Shandong Academy of Agricultural Science/ Shandong Provincial Key Laboratory of Field Crop Physiology, Ecology, and Efficient Production (under construction), Jinan* 250100, *China*; 2. *Life Science College, Shandong Normal University, Jinan* 250014, *China*)

Abstract: Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is characterized by aerial flowering and subterranean fruiting. The first pair of lateral branches contributes to over 60% of the total pod number, and their development directly determines yield formation. In peanut, the cotyledons remain partially or completely buried in soil during seedling emergence, which imposes spatial constraints on normal development of the first pair of lateral branches. Traditional stem-base soil-cleaning techniques, such as the “digging and exposing the stem base” technique, could effectively promote lateral branch development and increase yield, but are labor-intensive and inefficient, making them unsuitable for modern simplified and large-scale cultivation. This paper systematically reviews the biological characteristics of peanut hypocotyl elongation and the research progress on its key regulatory factors (light and phytohormones), summarizes the development process and technical characteristics of agronomic practices including traditional soil-cleaning and soil-covering to elevate cotyledonary node. Furthermore, from the perspectives of developing germplasm with epigeous cotyledon emergence, varietal breeding, hormonal regulation, and delaying light exposure of apical bud, this paper proposes design strategies and implementation pathways for a cleaning-free cultivation technology in peanut, expecting to provide theoretical basis and technical support for the simplified, high-yielding and efficient cultivation of peanut.

Key words: peanut (*Arachis hypogaea* L.); cotyledon emergence; hypocotyl elongation; cleaning soil surrounding stem base technique; non-cleaning soil surrounding stem base technique

收稿日期:2026-01-04
基金项目:山东省重点研发计划项目(2023LZGCQY019);泰山学者工程(tsqn202211275、tspd20221107);济南市“新高校20条”项目(202333033、202534088)
作者简介:唐桂英(1978-),女,副研究员,硕士,主要从事花生分子遗传改良研究,E-mail: guiyingtang88306@163.com;[§] 同等贡献作者:张佳蕾(1984-),男,研究员,博士,主要从事花生栽培与生理生态研究,E-mail: zhangjialei19@163.com
[*] 通讯作者:万书波(1962-),男,研究员,主要从事花生栽培与生理生态研究,E-mail: wanshubo2016@163.com

花生是世界上重要的油料作物和经济作物。我国是全球最大的花生生产国和消费国,花生总产量和总消费量均占全球40%左右,居世界之首[1]。近十年来我国花生总产保持增长趋势,但仍然不能满足人民对优质食用油和多样化花生食品的需求。自加入WTO以来,我国油脂油料进口规模持续扩大,自给率逐年下降,目前花生油在国内食用植物油消费结构中的占比仅约8%,每年市场缺口超过100万吨[2]。花生是我国单位面积产油量最高的油料作物之一,在保障我国食用植物油供给安全、稳定国内市场方面具有较大的潜力和优势。因此,结合我国农业生产条件、科技支撑能力和花生综合竞争优势,提高花生产量依然是有效应对世界粮油市场波动和保障国家油料安全的战略举措。

播种出苗是花生生产的首要关键环节,是花生丰产丰收的基础保证。不同于大豆、油菜、棉花等子叶出土类双子叶植物,花生属于子叶半出土或不出土作物[3]。出苗过程中,埋于土中的子叶不能充分展开,对子叶腋内第一对侧枝的生长形成空间局限,导致其发育不良。而花生第一对侧枝结果数占总结果数的60%~70%,其发育状态直接决定花生产量高低[4]。在花生出苗阶段,为了保护新生顶芽且将其推出土层接受光照,萌发后的种子首先进行暗形态建成,黄化子叶闭合、下胚轴快速伸长;子叶靠近地面时逐渐打开,顶芽接受光照后,下胚轴伸长受到抑制,导致子叶部分或全部埋于土壤中。因此,下胚轴的伸长程度是决定花生子叶能否出土的核心因素,多种内源生理因素和外界环境因素均会通过调控下胚轴伸长,影响花生出苗进程和壮苗培育。本文拟在本团队研究成果基础上,结合国内外相关研究进展,综述花生下胚轴伸长的生物学特征及影响因素、清棵技术的研发与应用,并提出了免清棵技术的研发方向与实践路径,为花生轻简化栽培提供参考。

1 花生出苗过程中影响下胚轴伸长的因素

种子在适宜的条件下吸水膨胀,其内部储藏物质的代谢活动也逐步恢复,呼吸作用逐渐增强,营养物质开始被动员并转运,为种子顺利萌发提供保障。当胚根突破种皮,种子完成萌发。随后,在重力作用下胚根进一步伸长形成主根,与此同时下胚轴也快速伸长将胚芽推送出土层接受光照,幼苗由异养转化为自养,完成出苗。

1.1 下胚轴的生长特征

下胚轴的形态建成始于胚胎发生阶段。拟南芥中,受精卵经不对称分裂后形成八分体胚,其下层细胞进一步分化发育成下胚轴和胚根[5,6],后续细胞继续分裂,历经原胚、球形胚和心形胚时期,球形胚两侧细胞快速分裂发育成子叶原基,同时胚细胞继续分裂、分化成可辩的下胚轴原始形态。心形胚后,下胚轴不断伸长并最终形成20余层细胞构成的完整结构[7]。至此,下胚轴原始形态建成。

种子萌发后,下胚轴伸长对于双子叶植物的破土出苗极其重要。但不同作物的下胚轴伸长特性与栽培要求差异显著:棉花、大豆等大子叶作物若播种太深,土壤阻力过大将显著降低出苗率[8,9];黄瓜、番茄等幼苗则容易受高温高湿环境影响,在子叶出土后下胚轴仍继续伸长而造成徒长,不利于壮苗,进而影响植株后期生长及产量[10,11]。在花生萌发过程中,下胚轴伸长产生的由内向外“顶”的机械力是胚根突破种皮的动力,种皮的突破进一步促进了对环境水分的吸收。萌发完成后,黑暗条件下幼苗下胚轴继续快速伸长,以完成将顶芽推出土层接受光照的使命。若播层太深或泥土粘重,子叶尚未出土,下胚轴即停止了生长,将导致位于子叶腋内的第一对侧枝发育不良,影响产量;而当播层太浅,土壤湿度低时,子叶出土后明显高于地面,易形成“高脚弱苗”,降低幼苗抗逆性。因此,调控下胚轴的适度伸长,是花生早期培育壮苗、奠定高产基础的关键。

1.2 影响下胚轴生长的因素

1.2.1 *光照抑制下胚轴的生长* 在植物赖以生存的环境中,光照、温度、水分和重力等因子对植物下胚轴的生长均有重要的影响,其中光照条件对下胚轴生长的影响研究较为深入。光不仅为植物的光合作用提供能源,它还作为一个重要环境信号对植物的生长发育进行调控,如促进植物幼苗暗形态至光形态的转化、诱导花器官的分化等[12,13]。

不同光照强度和光质对花生下胚轴的生长影响效果不同。光照越强对下胚轴生长的抑制越明显,将下胚轴3 cm的黄化花生幼苗分别置于9 μmol/(m^2·s)、27 μmol/(m^2·s)和36 μmol/(m^2·s)的自然光下,其下胚轴分别在6天、3天和1天后停止生长。当用144 μmol(/m^2·s)的不同光质处理下胚轴3 cm的花生芽苗时发现,蓝光和白光对下胚轴的抑制作用最强,红光、黄光和绿光的抑制相对较弱[14]。

众多关于光对下胚轴伸长抑制的机理研究表

明,植物通过多种光受体感知不同波长的光信号,并将光能转化为生物信号,引发一系列生理生化反应,最终导致形态建成的改变[15-17]。其中光敏色素(phytochromes, PHYs)可感知波长600~750 nm的红光与远红外光信号:在红光照射下,PHYs从非活性的Pr态转换为活性的Pfr态,启动光信号转导;而在远红外光照射下,Pfr态恢复为Pr态,信号关闭[18-20]。隐花色素(cryptochromes, CRYs)则感知320~500 nm的蓝光与紫外光A信号:蓝光激活后,CRYs发生构象变化、同源寡聚化和磷酸化,形成活性状态,进而与下游信号蛋白互作[21,22]。生理活性型光受体通过与相关转录因子互作,调控E3泛素连接酶活性,进而调节HY5等光形态建成关键转录因子的稳定性,从而调控植物形态建成[23]。

1.2.2 *植物激素调控下胚轴生长* 植物下胚轴的伸长生长还受到众多内源因素的影响,其中植物激素是最重要的内源信号。生长素作为重要的激素之一,在植物的可塑性生长发育过程中发挥着不可替代的作用[24]。其对植物细胞伸长的调控主要通过两个途径:一是引起细胞壁理化性质改变,提高细胞壁的可扩展性;二是激活胞内信号通路,直接促进细胞伸长,且该调控作用具有严格的浓度依赖性。遗传学分析表明,生长素合成与氧化分解相关基因在调控细胞伸长方面具有重要作用。生长素过表达植株*sur1*(*superroot1*)、*sur2*、*YUC1*(*yuc1-D*)光照条件下表现出长下胚轴表型[25],而生长素合成缺失突变体*sav3-2*(*shade avoidance3-2*)和*cyp79B2 cyp79B3*的下胚轴则较短[26]。

赤霉素(GA)主要通过促进细胞分裂及调控细胞微管排列方向来影响细胞膨大进而促进下胚轴伸长[27]。植物体内GA合成水平降低或信号转导抑制基因*DELLA*的过表达均能引起黄化苗下胚轴变短,而*DELLA*敲除突变或外施GA处理则能引起幼苗下胚轴伸长[28,29]。此外,油菜素内酯、乙烯、脱落酸、独脚金内酯KARs(Karrikins)等植物激素,也在相关研究中被证明可通过不同调控路径,影响植物下胚轴的伸长过程[30-33]。

2 清棵技术

花生清棵又叫清棵蹲苗,是山东省花生研究所于20世纪60年代初期,在调查莒南、日照、文登等花生产区时,发现当地群众在花生幼苗期采取“挖窝晒棵”或“剜花生”等方法达到蹲苗效果。在此基础上,技术人员通过试验研究,对该技术进行了总结、优化和提升,形成了一项使幼苗健壮生长的田间管理技术,并在全国花生产区进行了推广。在地膜覆盖全面推广之前,清棵技术是花生增产的一项必备措施,后来因人工清棵费工费时,且地膜覆盖后清棵操作难度大,又发展出覆土引升子叶节位的栽培技术等,成为清棵技术的重要改进形式。

2.1 挖窝晒棵法

花生幼苗出土过程中,由于子叶不能出土导致第一对侧枝发育不良,直接影响花生产[34-38]。针对这一问题,20世纪60年代初,山东花生产区农民在多年生产实践中摸索了“挖窝晒棵”或“剜花生”等人工清棵技术,该技术的核心措施是在大田齐苗1~2天内,利用小铲或小扒锄等农具,清除花生幼苗四周土壤,让花生幼苗两片子叶和腋内侧芽刚好露出土面接受光照。该措施可促进第一对侧枝发育,抑制主茎生长,起到蹲苗效果;同时还能显著促进花芽分化,增加第一、二对侧枝结果数,一般可增产20%~30%[34]。

2.2 覆土引升子叶节位的栽培技术

“挖窝晒棵”虽能够解决花生幼苗子叶出土问题,但由于清除幼苗周围土壤时,农具离苗太近,幼苗极易受伤;且该技术依赖人工操作,难以实现大面积机械化推广,增加了栽培人工成本和推广难度。随后科技人员根据光照抑制幼苗下胚轴生长的特征,研发了通过覆土延迟芽苗见光,引升子叶节位的栽培技术,在一定程度上替代传统人工清棵,实现了清棵技术的轻简化改进。

2.2.1 *AnM栽培法* 为使花生幼苗子叶出土、荚果成熟期相对一致,沈毓骏设计了引升子叶节位、控制果针集中下土的AnM栽培法:播种后,播行上覆土使行断面呈A型,以覆土遮光延迟芽苗曝光,促进下胚轴持续伸长,引升子叶节位;初花期,通过中耕将垄两侧的土锄向行间,使垄形成n状窄埂,以利通风降湿,增加果针与地面的距离,达到延迟早期花下针结实的目的;封行前,于垄行中间进行深锄,带土扶垄,使花生行形成M形凹形垄,引导果针下扎入土,提高结荚率。随覆膜栽培技术在花生生产中的广泛应用,沈毓骏等又优化创制了覆膜花生控制下针栽培法,较好地解决了常规覆膜栽培的灼苗、跑墒等问题[35,39,40]。

2.2.2 *“W”栽培法* 针对覆膜AnM栽培法存在的土壤过松或墒情不足时易导致种子或幼苗落干、膜上压土被风吹走、降雨少时土壤水分不能充分利用等问题,在汲取覆膜AnM栽培技术优点的基础上,

宋传雪等研发了覆膜“W”栽培法。该技术主要环节包括:地膜覆盖后,对膜上播行镇压(深2 cm),在镇压沟底的膜上打孔(孔距5 cm、孔径5 mm),最后在沟上覆土(5 cm),使播后垄横断面呈W形。经示范推广证明,该技术能有效将子叶节提升至土层以上,促进花生第一对侧枝发育,增加了前期有效花数量,果实成熟度较一致,一般增产20%左右,高者可达35%以上,为花生的优质高产栽培奠定了基础[41,42]。

3 免清棵栽培技术设计

3.1 子叶出土型花生的发现

2021年5月12日,万书波和张佳蕾在山东花生主产区莒南县调查苗情时发现,常规种植条件下,个别品种的幼苗子叶出土率大于70%,这与之前报道的花生幼苗为子叶不出土或半出土类型不符,推测该品种在幼苗子叶出土特征方面发生了突变。为更系统科学地了解花生幼苗子叶出土情况,本研究团队于试验田种植并调查了来自国内外的876个花生种质的幼苗子叶出土情况。统计数据显示:绝大多数种质的幼苗子叶出土率低于2%,仅有5个花生种质的幼苗子叶出土率超过50%。这表明现有花生种质资源中,绝大多数为子叶不出土类型,但也存在少量子叶出土的突变型种质,为子叶出土型花生品种的选育提供了珍贵的种质基础。

3.2 免清棵栽培技术设计

传统清棵技术虽能有效解决花生子叶不完全出土导致的侧枝发育不良问题,实现增产效果,但存在技术操作精准度要求高、适用栽培模式受限、人工和经济成本较高等弊端,难以适应现代花生规模化、轻简化栽培的需求。本团队在多年对花生栽培技术、生理生态、遗传育种等研究基础上,提出免清棵技术是从根本上解决花生子叶出土难题的有效措施,核心思路是通过品种改良与栽培调控相结合,实现花生子叶自主出土,替代传统人工清棵。具体设计路径分为四个方面:

(1)创制子叶自主出土型突变体:通过化学、物理诱变和分子生物学技术,筛选创制子叶出土型花生种质材料;

(2)培育子叶出土型花生新品种:选用目前发现的子叶出土型花生种质为亲本,配制杂交组合,结合分子标记选育技术,培育农艺性状优良、子叶出土率高的花生新品种;

(3)研发筛选促下胚轴伸长的专用种衣剂:依据赤霉素、生长素等激素对幼苗下胚轴伸长的调控特征,研发含不同激素配比、能定向促进下胚轴适度伸长的花生专用种衣剂,通过种子包衣实现下胚轴伸长的人工调控;

(4)研发遮光型栽培材料与技术:基于延迟幼苗顶芽见光促进下胚轴伸长的理论,研发具有适度机械束缚作用的种衣剂,或针对花生顶芽部位的特异遮光地膜,通过延迟顶芽见光,推动下胚轴持续伸长,实现子叶出土。

3.3 免清棵技术应用效果

为评估免清棵技术的应用效果,研发替代传统清棵的轻简化栽培技术,本团队通过室内试验与田间技术研发相结合的方式开展了系统研究。室内激素调控试验显示,适当浓度赤霉素播前浸种可促进幼苗下胚轴伸长,进而推动子叶出土;针对光照抑制下胚轴伸长的特性,设计了机械束缚子叶打开以延迟顶芽见光的试验:用弹性细塑料绳绑缚种子中腰以限制子叶打开,发现种子萌发后,只要顶芽不见光,下胚轴保持持续伸长,并可将子叶完全推出土层。基于室内试验揭示的调控机制,本团队创新研发出“二次镇压”免清棵播种技术:播种沟镇压成平底,种子平放,覆膜后膜上播行镇压(深2 cm),沟内覆土抹平,大大提高了花生幼苗子叶出土率,实现了田间免清棵的栽培效果[38]。此外,隋启功等研发并应用花生专用白间黑地膜,该地膜在播行区域设置两条15 cm宽黑色不透明带,其余区域保留透明膜面;出苗期间黑色带可有效延迟顶芽见光,促使下胚轴伸长与子叶出土,透明区域则发挥保温、保墒作用,从而实现免清棵栽培目标[43]。

4 免清棵栽培应用前景

免清棵技术通过品种改良与栽培调控相结合,从根本上解决子叶出土难题,摆脱了对传统人工清棵的依赖,未来应用将聚焦于降本增效、轻简化种植、绿色可持续三大方向,推动花生产业升级,具体应用优势体现在四个方面:首先是降本增效,推动规模化种植。免清棵技术替代人工清棵,每亩可减少约2~3个工时的人工投入,降低成本10%~15%,尤其适合东北、华北等规模化种植区,有效提升花生产业的整体经济效益。二是衔接机械化作业,提升种植效率:无需人工扒土清棵,可直接与播种等机械流程衔接,减少田间作业环节,提升种植效率30%以上,契合现代农业机械化发展趋势。三是稳定产量,提升产品品质一致性。通过品种改良

或栽培调控,确保子叶自主出土,促进第一对侧枝发育,实现花生结果整齐、成熟一致,亩产可增加5%~10%,同时提升荚果的一致性,提高商品品质。四是绿色可持续,契合生态农业发展要求:研发应用的复合种衣剂、特异遮光地膜等,可替代部分化肥、农药,减少化学投入品对土壤的污染,符合绿色农业发展趋势。

免清棵技术的推广应用,将重塑我国花生栽培模式,从"依赖人工"转向"品种+技术协同",为我国花生产业的规模化、标准化、绿色化发展提供关键支撑。

参考文献:

[1] 张辉,冯晓,王来刚,等. 花生大数据平台建设研究和展望[J]. 农业大数据学报,2020,2(1):45-52. DOI:CNKI:SUN:NYDS.0.2020-01-008.

[2] 廖伯寿. 我国花生生产发展现状与潜力分析[J]. 中国油料作物学报,2020,42(2):161-166. DOI: 10.19802/j.issn.1007-9084.2020115.

[3] 周德超. 种子萌发出苗过程中胚轴的伸长和胚根的发展[J]. 生物学通报,1985,(7):1-3. DOI: CNKI:SUN:SWXT.0.1985-07-001.

[4] 万书波. 中国花生栽培学[M]. 上海:上海科技出版社,2003,60-64.

[5] Scheres B, Wolkenfelt H, Willemsen V, et al. Embryonic origin of the *Arabidopsis* primary root and root meristem initials[J]. Development, 1994, 120(9): 2475-2487. DOI:10.1242/dev.120.9.2475.

[6] 宋丽珍,王逸,杨青华,等. 生长素在植物胚胎早期发育中的作用[J]. 植物学报,2013,48(4):371-380. DOI: 10.3724/SP.J.1259.2013.00371.

[7] 宋雨函,张锐. 高等植物下胚轴伸长的调控机制[J]. 生命的化学,2021,41(6):1116-1125. DOI: 10.13488/j.smhx.20210274.

[8] 谢皓,贾秀婷,陈学珍,等. 播种深度和种子大小对大豆出苗率和幼苗生长的影响[J]. 农学学报,2012,2(6): 10-14. DOI: 10.3969/j. issn. 1007-7774.2012.06.003.

[9] 林皎,郜红忠,练文明,等. 不同播深对棉花大小苗及产量与品质的影响[J]. 新疆农业科学,2016,53(12): 2225-2231. DOI: 10.6048/j. issn. 1001-4330.2016.12.009.

[10] 高晓旭,张志刚,段颖,等. 高浓度营养液对黄瓜和番茄下胚轴徒长的抑制作用[J]. 植物营养与肥料学报,2014, 20 (5): 1234-1242. DOI: 10.11674/zwyf.2014.0520.

[11] Sun W, Han H, Deng L, et al. Mediator subunit MED25 physically interacts with PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR4 to regulate shade-induced hypocotyl elongation in tomato[J]. Plant Physiol, 2020, 184(3): 1549-1562. DOI:10.1104/pp.20.00587.

[12] Neff M M, Street I H, Turk E M, et al. Interaction of light and hormone signalling to mediate photomorphogenesis. In: SCHÁFER, E., NAGY, F. (eds) Photomorphogenesis in plants and bacteria[M]. Springer, Dordrecht 2006: 439-473. DOI:10.1007/1-4020-3811-9_21.

[13] Whitelam G C, Halliday K J. Light and plant development[M]. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2007. DOI: 10.1002/9780470988893.

[14] 闫萌萌. 光照对花生下胚轴伸长的效应及其机理研究[D]. 青岛:青岛农业大学,2013. DOI: 10.7666/d.Y2663624.

[15] Gangappa S N, Botto J F. The multifaceted roles of HY5 in plant growth and development[J]. Mol Plant, 2016, 9(10): 1353-1365. DOI:10.1016/j.molp.2016.07.002.

[16] Liang T, Mei S, Shi C, et al. UVR8 interacts with BES1 and BIM1 to regulate transcription and photomorphogenesis in *Arabidopsis*[J]. Dev Cell, 2018, 44(4): 512-523.e5. DOI:10.1016/j.devcel.2017.12.028.

[17] Li X, Liu C, Zhao Z, et al. COR27 and COR28 are novel regulators of the COP1 - HY5 regulatory hub and photomorphogenesis in *Arabidopsis*[J]. Plant Cell, 2020, 32(10): 3139-3154. DOI:10.1105/tpc.20.00195.

[18] Gu D, Chen C, Zhao M, et al. Identification of HDA15-PIF1 as a key repression module directing the transcriptional network of seed germination in the dark[J]. Nucleic Acids Res, 2017, 45(12): 7137-7150. DOI: 10.1093/nar/gkx283.

[19] Cheng M C, Kathare P K, Paik I, et al. Phytochrome signaling networks[J]. Annu Rev Plant Biol, 2021, 72: 217-244. DOI: 10.1146/annurev-arplant-080620-024221.

[20] 许亚楠,闫家榕,孙鑫,等. 红光和远红光在调控植物生长发育及应答非生物胁迫中的作用[J]. 植物学报,2023,58(4):622-637. DOI: 10.11983/CBB22087.

[21] Yang L, Mo W, Yu X, et al. Reconstituting *Arabidopsis* CRY2 signaling pathway in mammalian cells reveals regulation of transcription by direct binding of CRY2 to DNA[J]. Cell Rep, 2018, 24(3): 585-593.e4. DOI: 10.1016/j.celrep.2018.06.069.

[22] Ma L, Guan Z, Wang Q, et al. Structural insights into the photoactivation of *Arabidopsis* CRY2[J]. Nat Plants, 2020, 6(12): 1432-1438. DOI:10.1038/s41477-020-00800-1.

[23] Jing Y, Lin R. Transcriptional regulatory network of the light signaling pathways[J]. New Phytol, 2020, 227(3): 683-697. DOI:10.1111/nph.16602.

[24] Zhang F, Li C, Qu X, et al. A feedback regulation between ARF7-mediated auxin signaling and auxin homeostasis involving MES17 affects plant gravitropism[J]. J Integr Plant Biol, 2022, 64(7): 1339-1351. DOI: 10.1111/jipb.13268.

[25] Zhao Y. Auxin biosynthesis and its role in plant development[J]. Annu Rev Plant Biol, 2010, 61: 49-64. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112308.

[26] Lee K, Seo P J. Coordination of matrix attachment and ATP-dependent chromatin remodeling regulate auxin biosynthesis and *Arabidopsis* hypocotyl elongation [J]. PLoS One, 2017, 12(7): e0181804. DOI:10.1371/journal.pone.0181804.

[27] Yamaguchi S. Gibberellin metabolism and its regulation [J]. Annu Rev Plant Biol, 2008, 59: 225-251. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804.

[28] Collett C E, Harberd N P, Leyser O. Hormonal interactions in the control of *Arabidopsis* hypocotyl elongation [J]. Plant Physiol, 2000, 124(2): 553-562. DOI: 10.1104/pp.124.2.553.

[29] Li Z, Tu Q, Lyu X, et al. GmSTF accumulation mediated by DELLA protein GmRGAs contributes to coordinating light and gibberellin signaling to reduce plant height in soybean[J]. The Crop Journal, 2024, 12(2): 432-442. DOI:10.1016/j.cj.2024.01.013.

[30] Zurek D M, Clouse S D. Molecular cloning and characterization of a brassinosteroid-regulated gene from elongating soybean (*Glycine max* L.) epicotyls [J]. Plant Physiol, 1994, 104(1): 161-170. DOI: 10.1104/pp.104.1.161.

[31] Waters M T, Nelson D C, Scaffidi A, et al. Specialisation within the DWARF14 protein family confers distinct responses to karrikins and strigolactones in *Arabidopsis* [J]. Development, 2012, 139(7): 1285-1295. DOI: 10.1242/dev.074567.

[32] Hayashi Y, Takahashi K, Inoue S, et al. Abscisic acid suppresses hypocotyl elongation by dephosphorylating plasma membrane H^+-ATPase in *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Cell Physiol, 2014, 55(4): 845-853. DOI: 10.1093/pcp/pcu028.

[33] Liu K, Li Y, Chen X, et al. ERF72 interacts with ARF6 and BZR1 to regulate hypocotyl elongation in *Arabidopsis* [J]. J Exp Bot, 2018, 69(16): 3933-3947. DOI: 10.1093/jxb/ery220.

[34] 花生研究所栽培组. 花生清棵蹲苗为什么能增产[J]. 花生学报,1973,(2):3-7.

[35] 沈毓骏. 花生控制下针栽培法的研究[J]. 耕作与栽培,1984,4(9):39-44. DOI: 10.13605/j.cnki.52-1065/s.1984.04.009.

[36] 郭贵敏,李正强. 花生清棵增产作用研究[J]. 耕作与栽培,1999(2):35-36. DOI: CNKI:SUN:GZZP.0.1999-02-011.

[37] 李绍伟,李绍生,任丽,等. 清棵对花生主要农艺性状和产量的影响[J]. 浙江农业科学,2007,3(17):281-282. DOI: 10.3969/j.issn.0528-9017.2007.03.017.

[38] 刘珂珂,郭峰,杨莎,等. “二次镇压”对花生子叶节的出土调控增产效果[J]. 中国油料作物学报,2025,47(1): 160-166. DOI: 10.19802/j. issn. 1007-9084.2023265.

[39] 沈毓骏,安 克,王铭伦,等. 简化花生覆膜AnM栽培新技术的研究[J]. 莱阳农学院学报,1996,13(3):182-185. DOI: CNKI:SUN:LYXI.0.1996-03-005.

[40] 张海燕,王铭伦,刘赞谟,等. 花生控制下针(AnM)栽培法对花芽分化及果针生长的影响[J]. 莱阳农学院学报, 2004, 21(3): 203-205. DOI: 10.3969/j.issn.1674-148X.2004.03.006.

[41] 宋传雪,杨振玲,赵长星,等. 花生覆膜“W”栽培法对植株生长动态的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2013, 30(2): 102-106. DOI: 10.3969/J.ISSN.1674-148X.2013.02.005.

[42] 宋传雪,高华援,赵长星,等. 花生覆膜“W”栽培法对植株干物质积累及产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2014,39(1):37-40.

[43] 隋启功,尹山云,马立平,等. 白间黑地膜对花生的增产效果[J]. 山东农业科学, 2005, 3: 32-33. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4942.2005.03.013.

(责任编辑:郭学兰)