

植物根系研究进展

未晓巍, 吕杰, 武慧, 勾畅, 徐洪伟, 周晓馥

(吉林师范大学 生物资源与环境信息 吉林省高校重点实验室, 吉林 四平 136000)

摘要:根系是植物体的地下部分,是植物长期适应陆地条件而形成的一个重要器官,具有锚定植物、吸收输导土壤中的水分养分、合成和储藏营养物质等生理功能。根的发育过程比较复杂,而且因不同种类的植物和环境条件而异,形成了不同的根系类型、形态结构、生理功能及生长特性。现对植物根系的生理机制、根系活力、根系环境胁迫及根系的形态构型等进行了概述。

关键词:植物根系;研究;进展

中图分类号:Q 943.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)18-0206-04

根系是植物长期适应陆地生活的重要器官之一,根系除了可以从土壤中吸收水分和无机养分,并通过根的微管组织运输和转运到地上部之外,还可以将地上部合成的光合产物等有机物输送到根的各部位。早在 20 世纪 30 年代 Weaver J E 较系统地研究了作物根系的生长过程得出,植物根系生长、根群分布、根系构型、不同发育时期的根系吸收水分和养分的活力以及不同环境条件下根系的变化,都会影响植物的生长发育。植物内源激素是植物正常代谢的极微量产物,对植物的生长、发育、成熟及衰老等所有生理过程有着重要的调控作用,是根系生命活动的调节者。在植物遭受胁迫时,内源激素起到重要的调节作用。在 Drew and Saker 的研究中提到在不同的土壤条件下,根系构型对植物应对环境刺激的敏感性、营养物质吸收等起着重要作用。在 20 世纪 90 年代,随着对根系在生态系统以及全球碳平衡中重要作用的认识,植物根系形态及根构型与养分有效性的关系及其定量分析等渐渐成为国际相关领域的研究热点之一。现主要对国内外有关根系生物学研究成果进行综述,以期为进一步开展该领域的研究和应用提供参考。

1 根系的生理机制研究

1.1 根系的生长素调节研究

生长素与插条生根、不定根的形成以及不定根原基的发生有着密切相关,其它物质通过影响生长素代谢或信号转导而影响生根。Aloni R 等^[1]对拟南芥侧根生长

素的转运起始位点与生长素合成的关系进行了研究,伴随着主根数的减少,侧根上精确的生长素的转运的起始位点较生长素重新合成更重要。HU Y F 等^[2]研究得出,在拟南芥中通过抑制水仙环素的基因表达,调控生长素的合成基因来促进根系的生长发育、侧根的形成及毛状根的形成。Rashotte 的研究表明,生长素的极性运输与其所造成的生长素侧向浓度梯度是植物根系向地性的必要条件,植物根系的侧向生长素浓度梯度的建立一直是植物向性研究的重要内容^[3-7]。诱导这一梯度的机制及分子方面的研究在近年来已有较多成果。

1.2 根系的赤霉素调节研究

Swain S M 等^[8]、FU X 等^[9]在研究生长素(IAA)与赤霉素(GA₃)对植物生长发育的影响时发现,这 2 个因素在植物的种子发芽、叶片增大、茎的伸长、开花和果实及种子发育的过程中起着主要的调控作用,在根系的生长发育及结构形成上起着重要作用。Achar P 等^[10]提出赤霉素在主根的伸长方面,通过不稳定的 DELLA 蛋白类似阻滞物 GA₃ (RGA)影响着细胞在根部伸长区的吸胀作用。Kaneko M 等^[11]发现,赤霉素被发现在拟南芥主根伸长区的内胚层细胞的增殖上起作用。Steffens B 等^[12]研究得出,不同植物的 GA₃ 的生物合成与根尖分生区直接相关,并且 GA₃ 的信号转导可以促进主根生长。Gou J Q 等^[13]将 GA 缺失(35S:PcGA2ox1)和 GA-不敏感(35S:rgl1)转化入杨树,用以统计在试管和温室培养的条件下生长的杨树侧根的增殖和伸长,GA-不敏感基因通过抑制侧根胚原基的启发影响侧根的形成,在侧根生长过程中添加外源 GA₃ 处理,结果发生显著改变。Fu X 等^[14]已经提出 GAs 在主根的伸长系方面,由不稳定的 DELLA 蛋白类似 GA1 (RGA)的阻滞物影响着根部的伸长区域细胞的膨胀。由于植物激素在根系伸长过程中的交互作用,在植物激素运输或者信号转导的中断时,都会导致 DELLA 不稳定性的延长。

第一作者简介:未晓巍(1986-),女,在读硕士,研究方向为植物遗传转化。

责任作者:周晓馥(1964-),女,博士,教授,硕士生导师,现主要从事于植物基因工程等研究工作。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30970219;31070224);吉林师范大学研究生创新科研计划资助项目(研创新(学)201115 号)。

收稿日期:2012-05-18

1.3 根系的细胞分裂素调节研究

根系是合成细胞分裂素(CTK)的主要场所。杨喜田等^[15]在研究松柏幼苗根系切根研究 CTK 的调节关系时发现,CTK 的含量随着切根的增大而下降。Vescovi M 等^[16]得出,转基因拟南芥通过降低植物细胞分裂素的水平以增加根系分支和根系的生长发育。植物在高光照生长条件下,随着枝条内部的 CTK 类似物含量增加,根系的数量发生相应的降低。在根系形成过程中,玉米素、玉米素核苷和异戊烯基腺嘌呤的含量,在根生长发育阶段有所增加,但是在不同的幼嫩植物和成熟植物中细胞分裂素的含量有所差异。

1.4 根系的脱落酸调节研究

De Smet I 等^[17]在对转基因拟南芥的研究中发现,根系系统因为外源 ABA 应用而抑制主根和侧根的生长发育,不同浓度的 ABA 处理时,可以不同程度的增加植物的光合速率、植物的抗氧化酶、可溶性糖以及蛋白质含量。ABA 能够不同程度的促进根系的生长,提高根重,同时增加侧根数及不定根数,但是过量施加 ABA 会对主根的伸长有影响。Beaudoin N 等^[18]在根系系统的研究中,ABA 通过控制侧根分生组织的活动,来影响根系的生长和构型。干旱胁迫下植物激素脱落酸(ABA)在植物中是调节生理反应的作用,适应环境胁迫,但是,这种激素的作用,在调制甜菜碱(GB)的代谢,特别是在玉米苗期的调节机理了解较少。张立新等^[19]通过一些水培试验研究 ABA 对植物根系的生长、吸收水分的关系,以玉米品种“郑单 958”(ZD958,耐旱)、“浚单 20”(JD20,干旱敏感)研究对象,用聚乙二醇(PEG, 12% W/V, 6000 兆瓦)进行根区干旱胁迫(IR-DS)的综合模拟,ABA 含量和 GB 含量在干旱胁迫下玉米幼苗有所增加,为玉米耐干旱胁迫提供条件。ABA 可以是作为一种内在信号起作用,也可以通过增加或减少其它类激素来促进生根。

2 根系的活力研究

植物根系的生长情况和活力水平直接影响地上部的营养状况及产量水平,根系活力是一个表征植物根系的量。生利霞等^[20]在对平邑甜茶研究时发现,植株的生长、呼吸速率、营养元素代谢的相关酶活性的影响时发现,随着胁迫力的加强,根系的活力呈先升高后降低的趋势。何强等^[21]研究表明,土壤环境、气象因子、品种、播种期、种植密度、生育时期、肥水措施、深中耕等条件或措施对根系活力有影响。胡敏等^[22]系统地分析了小麦根系活力的昼夜变化动态,并对根系活力测定技术进行了规范,1 d 中的取样时间早晚和取样后根样保存时间长短都有严格限定,以期增强小麦根系活力测定的科学性和可靠性。光照条件、土壤的水肥条件以及培养温度对植物的根系活力有明显的影响,采取适当的栽培措施以改变相应生长发育期的根系活力,从而达到营养高

效、增产增收的目的^[23]。对不同时期根系活力与产量性状的关系分析可以为科学、生理育种提供一些理论依据。

3 根系在环境胁迫条件的研究进展

3.1 养分有效性对根系生长的影响

植物在缺营养元素时最明显的变化是形态学上的变化,而根系形态变化是植物适应氮、磷、硫等元素调控的重要机制之一。Sanchez 等^[24]对拟南芥的研究中发现,磷和钾对拟南芥的主根伸长具有明显的调控作用,而其它几种养分,如氮、磷、硫等对拟南芥的主根没有显著影响。Lopez-Bucio J 等^[25]对拟南芥的耐胁迫生理机制研究时得出,低磷浓度促进侧根分枝分化,但是对侧根和主根伸长却有抑制作用。Brown L K 等^[26]在对植物进行磷处理时,通过 7 d、8 周和 14 周的统计对比发现,根系长度、根系重量、根毛长度以及根系生物量的积累都发生相应变化,植物根毛能够耐氮磷胁迫,如果植物根系为毛状根,能够更加有效的维持植物生长及产量。通过定量分析不同生长时期的植物根系的平均长度、干重、湿重、根冠比及遗传条件等因素,研究养分有效性对根系生长的影响是植物根系研究的关键条件。

3.2 其它环境因素对根系生长的影响

温度、水分及盐分等对根系的生长具有一定的调控作用。Liphadzi 等^[27]研究得出,随着温度的下降,MDA 的含量逐渐上升,有效防止了活性氧对膜脂和蛋白质的过氧化作用。另外,SOD、CAT 是酶促防御系统的重要保护酶类,其活力在抗寒锻炼后持续升高并协同作用及时清除了体内活性氧和自由基,对细胞起到保护作用。West 等^[28]报道,拟南芥主根及侧根的生长速度与植物的盐分浓度呈负相关,随着 NaCl 的浓度增加,根系生长速率呈下降趋势,当 NaCl 的浓度低于 0.5% 时,主根及侧根生长速度相对稳定。张德奇等^[29]对小麦的不同生长时期的水分需求量进行了对比分析,在拔节期和灌浆期合理进行补充水分,在拔节期有利于维持小麦根系活力,保持植株正常生长状态,在灌浆期有利于提高小麦的干物质向籽粒转运的能力。

4 根系形态构型的分析

植物根系形态构型不仅决定了根系锚定植物的能力的大小,也与植物吸收利用养分的能力密切相关。植物根系形态构型在很大程度上决定了植物根系在土壤中的空间分布和所接触到土壤体积大小,因而对植物的养分吸收速率十分重要。由于大部分植物根系埋藏于地下,导致难以直接观察与测量分析。因此,根系形态、构型特征一致是根系生物学研究热点、难点之一。随着实验室栽培技术、图像扫描采集技术的不断发展及其与计算机技术结合,形成了一系列根系分析方法。已经被广泛认可的有微根管法(Minirhizotron)、WinRhizo(加拿

大 Reagent Instruments 公司)根系分析系统、核磁共振成像法(MRI)及基于 DLA 的虚拟植物根系模拟方法等。微根管法促进了根系研究技术的发展,微根管法技术可应用于对作物、草地、树木以及其它植物根系形态的观测,可以连续监测根系发生、生长及死亡动态等,是研究细根生产、分解和周转的理想手段,也能够系统地分析不同经营措施下植物根系生长、形态状况^[30]。WinRhizo(加拿大 Reagent Instruments 公司)是应用较多的根系分析系统之一。顾东祥等^[31]以 WR 软件为主要工具,结合 Image-Pro Plus 6.0 软件(美国 Media Cybernetics 公司),对所选 WR 分析参数下的测量分析结果进行对比检验,进一步定量分析根系形态特征随生育进程的变化以及分枝特征的变化规律,以期作为作物根系的定量研究提供参考^[32]。核磁共振成像法(MRI)通过 X-射线的成像技术获取二维、三维影像,作物的根系可以全面无损检测,这是一种更加直观、精确研究根系性状的有效手段和方法。张建锋等^[33]对大豆的根系进行 MRI 成像,在根系无损伤的状态下完成获取根系的图像,测试得到根系长度、根系数量、根系结构以及水分运移动力学等信息。赵春艳等^[34]利用基于 DLA 的虚拟植物根系模拟方法结合植物根的向水性原理,逼真、细腻地模拟了植物须根系复杂的向水性、分形生长形态,一定程度上符合实际植物的生长机理,体现了植物须根系向水性的动态生长过程。

5 展望

根系是连接土壤与植物地上部之间物质能量交换的重要桥梁,一个强大的根系是支撑和哺育蓬勃茂盛株冠的基础。因此必须深入研究植物根系的生物学特性,才能全面地了解植物的整体生物学特性及功能。目前,根系的相关研究技术已经成熟,需要加强以下几方面的研究力度:首先,植物根系形态构型的原位观察测定和定量分析研究;其次,植物根系对水分、养分、盐分、胁迫信号感受、转导与其它信号途径的互作关系;最后是养分高效和高产相关重要根形态构型指标及其生理与遗传基础研究。

我国是农业大国,植物根系的生物学研究的意义重大。今后应系统地开展植物根系生物学基础研究,深入了解植物整体生物学特性及功能,从而为保护和利用植物资源、提高作物生产力提供重要理论依据。

参考文献

- [1] Aloni R, Aloni E, Langhans M, et al. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism[J]. Ann Bot, 2006, 97: 883-93.
- [2] Hu Y F, Yang L, Na X F, et al. Narciolasine inhibits the responses of *Arabidopsis* roots to auxin[J]. Planta, 2012(4): 5.
- [3] Casimiro I, Marchant A, Bhalerao R P, et al. Auxin transport promotes *Arabidopsis lateral* root initiation[J]. Plant Cell, 2001(13): 843-852.
- [4] Bhalerao R P, Eklof J, Ljung K, et al. Shoot derived auxin is essential for early lateral root emergence in *Arabidopsis* seedlings[J]. Plant J, 2002, 29: 325-332.
- [5] Rashotte A, Brady S R, Reed R C, et al. Basipetal auxin transport is required for gravitropism in roots of *Arabidopsis*[J]. Plant Physiol, 2000, 122: 481-490.
- [6] Casimiro I, Marchant A, Bhalerao R P, et al. Auxin transport promotes *Arabidopsis lateral* root initiation[J]. Plant Cell, 2001(13): 843-852.
- [7] Swarup R, Friml J, Marchant A, et al. Localization of the auxin permease AUX1 suggests two functionally distinct hormone transport pathways operate in the *Arabidopsis* root apex[J]. Genes Dev, 2001(15): 2648-2653.
- [8] Swain S M, Singh D P. Tall tales from sly dwarves: Novel functions of gibberellins in plant development[J]. Plant Sci, 2005(10): 123-129.
- [9] Fu X, Harberd N P. Auxin promotes *Arabidopsis* root growth by modulating gibberellin response[J]. Nature, 2003, 421: 740-743.
- [10] Achard P, Cheng H, De Grauwe L, et al. Integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals[J]. Science, 2006, 311, 91-94.
- [11] Kaneko M, Itoh H, Inukai Y, et al. Where do gibberellin biosynthesis and gibberellin signaling occur in rice plants[J]. Plant J, 2003, 35: 104-105.
- [12] Steffens B, Wang J X, Sauter M. Interactions between ethylene, gibberellin and abscisic acid regulate emergence and growth rate of adventitious roots in deepwater rice[J]. Planta, 2006, 223: 604-612.
- [13] Jiqing Gou, Steven H. Gibberellins Regulate Lateral Root Formation in *Populus* through Interactions with Auxin and Other Hormones[J]. The Plant Cell, 2010, 22: 623-639.
- [14] Fu X, Harberd N P. Auxin promotes *Arabidopsis* root growth by modulating gibberellin response[J]. Nature, 2003, 421: 740-743.
- [15] 杨喜田, 陈久美, 唐妍, 等. 侧柏幼苗切根后根系内源激素含量的变化[J]. 河南农业大学学报, 2011, 45(1): 67-70.
- [16] Vescovi M, Riefler M, Gessuti M, et al. Programmed cell death induced by high levels of cytokinin in *Arabidopsis* cultured cells is mediated by the cytokinin receptor CRE1/AHK4[J]. Experimental Botany, 2012, 2(6): 1-8.
- [17] De Smet I, Zhang H, Inzé D, et al. A novel role for abscisic acid emerges from underground[J]. Trends Plant Sci, 2006(11): 434-439.
- [18] Beaudoin N, Serizet C, Gosti F, et al. Interactions between abscisic acid and ethylene signaling cascades[J]. Plant Cell, 2000(12): 1103-1105.
- [19] Zhang L X, Gao M, Hu J J, et al. Modulation Role of Abscisic Acid (ABA) on Growth, Water Relations and Glycinebetaine Metabolism in Two Maize (*Zea mays* L.) Cultivars under Drought Stress[J]. Int J Mol Sci, 2012(13): 3189-3202.
- [20] 生利霞, 束怀瑞. 低氧胁迫对平邑甜茶根系活力及氮代谢相关酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(1): 7-12.
- [21] 何强, 陈立云, 刘国华, 等. 杂交水稻根系生理机能与再生力的关联研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(2): 95-99.
- [22] 胡敏, 贺德先. 小麦根系活力的昼夜变化及最佳取样和测定时间[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(6): 1094-1098.
- [23] Huang Z X, Wang Y J, Wang K J, et al. Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15 000 kg ha⁻¹[J]. Sci Agric Sin, 2007, 40(9): 1898-1906.
- [24] Sanchez-Calderon L, Lopez-Bucio J, et al. Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant Cell Physiol, 2005, 46: 174-184.
- [25] Lopez-Bucio J, Hernandez-Abreu E, Sanchez-Calderon L, et al. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the *Arabidopsis* root system[J]. Plant Physiol, 2002, 129: 244-256.

兰州新区秦王川经济林建设现状与对策

李红霞¹, 卞凌云²

(1. 甘肃省农业科学院 农业经济与信息研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州市园艺试验场, 甘肃 兰州 730083)

摘要:论述了兰州新区秦王川的基本情况和经济林发展现状,从气候条件、技术服务等方面分析了经济林发展中存在的主要问题,并从做大做强玫瑰产业、积极发展梨产业、稳步推进枸杞产业和适量发展特色产业4个方面,提出了经济林发展对策。

关键词:兰州新区;经济林;现状;对策

中图分类号:S 727.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)18-0209-03

为了实施“再造兰州”的战略构想,甘肃省委、省政府和兰州市委、市政府决定将秦王川作为“跳出老城市建设新区、跨越发展再造兰州”的选址,秦王川距离兰州老城区 60 km,规划面积 806 km²[1]。按照“新区建设、生态先行”的要求,从 2011 年开始,新区已开始规划并实施林业生态建设。如何将生态建设与当地百姓的稳定增收相结合,将生态建设的产出与新区人民的生活需求相结

合,将生态建设与新区的休闲美化相结合,经济林的科学、合理规划和布局,无疑是实现以上结合的最好途径。

1 新区基本情况

秦王川新区位于兰州老城区北方,包括永登县、皋兰县的中川、秦川等 6 个乡镇,现有人口 10 万多人[1]。新区海拔 1 700~2 300 m,年平均气温 6.8℃,年均无霜期 130 d,年均降雨量 260 mm,年日照时数 2 768 h,≥10℃的有效积温 2 798.3℃。新区土壤为沙壤土,灌溉水为“引大入秦”水源。自 20 世纪 90 年代中期,引大入秦工程竣工后,经过 10 a 的发展,秦王川灌区生态建设已取得了一定成效,生态环境得到了较大改善。省门第

第一作者简介:李红霞(1977-),女,甘肃西峰人,本科,副研究员,现主要从事农业软科学研究及工程咨询工作。

收稿日期:2012-05-07

[26] Brown L K, George T S, Thompson J A, et al. What are the implications of variation in root hair length on tolerance to phosphorus deficiency in combination with water stress in barley (*Hordeum vulgare*) [J]. Ann Bot, 2012 (4): 319-328.

[27] Liphadzi M S, Kirkham M B, Paulsen G M. Auxin-enhanced root growth for phytoremediation of sewage-sludge amended soil [J]. Environ Technol, 2006, 27(6): 695-704.

[28] West G, Inze D, Beemster G T S. Cell cycle modulation in the response of the primary root of *Arabidopsis* to salt stress [J]. Plant Physiol, 2004, 135: 1050-1058.

[29] 张德奇, 季书勤, 李向东, 等. 水分调控对冬小麦根系与叶片生理特

性及产量和品质的影响 [J]. 华北农学报, 2012, 27(1): 124-127.

[30] 全先奎, 于水强, 史建伟, 等. 微根管法和同位素法在细根寿命研究中的应用及比较 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 428-434.

[31] 顾东祥, 汤亮, 曹卫星, 等. 基于图像分析方法的水稻根系形态特征指标的定量分析 [J]. 作物学报, 2010, 36(5): 810-817.

[32] Osama K, Onoe M, Yamada H. NMR imaging form easuring root system and soil water content [J]. Environ Control Bio, 1985, 23: 99-102.

[33] 张建锋, 周金星. 林木根系衰老研究方法与机制 [J]. 生态环境, 2006, 15(2): 405-410.

[34] 赵春艳, 马学强. 基于 DLA 的虚拟植物根系模拟方法研究 [J]. 计算机技术与发展, 2012, 2(22): 119-122.

Research Advances on Plant Roots

WEI Xiao-wei, LV Jie, WU Hui, GOU Chang, XU Hong-wei, ZHOU Xiao-fu

(Key Laboratory for Biological Resources and Environmental Information, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000)

Abstract: Root system is the underground part of plants, and an important organ formed in long-term adaptation on land. It is with physiological functions of anchoring plant, absorbing water and nutrition in soil, synthesizing and reserving nutrition and so on. Root development process is more complex, and varies for different kinds of plants and environmental conditions. It forms different types, structures, physiological functions and growth characteristics of root system.

Key words: plant roots; research; advances