

·科技纵横捭阖·

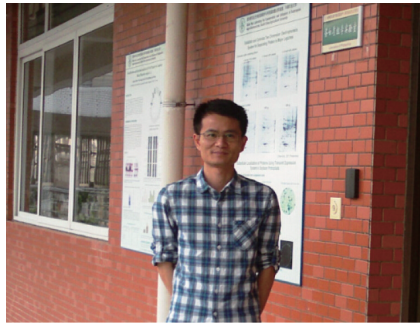
从根系生物技术改良到作物高产高效

随着世界人口的不断增长,对粮食的需求也日益增加。20世纪80年代以来,化肥和农药的大量投入提高了我国粮食产量。然而,近年来,我国粮食产量并未随化肥/农药用量的增加而增加;并且由于片面追求高产,化肥和农药等不合理投入引起的农产品质量和生态环境问题日渐严重,粮食安全已成为亟待解决的世界性难题。因此,通过挖掘作物自身潜力,提高作物对养分、水分等资源的利用效率,减少肥料及农药用量,改善作物品质,实现作物高产高效势在必行,也是农业可持续发展的基本要求^[1]。

土壤是作物水分、养分的主要来源。根系是作物吸收土壤水分和养分的主要器官,是连接土壤与植物的桥梁。强壮的根系才能保障地上部旺盛的生长,即所谓的“根深叶茂”。此外,根系还可通过与土壤有益微生物互作,提高土壤资源的利用效率^[2]。因此,通过生物技术改良,培育高效吸收水分及养分的根系、配合地上部性状的优化,将有助于实现作物高产高效,达到环境友好和生态安全农作物生产的目标。

由于根系是植物的“The hidden half(隐藏的一半)”,因而“Out of sight, out of mind(看不见,想不到)”。因此,建立有效的根系研究方法是对特定土壤环境根系改良的前提和技术保障。目前,国内外逐渐建立起了根系培养和定量分析技术,如砂培、营养袋纸培、营养液栽培和雾培等根系培养技术,以及原位观测、数字图像重建和计算机建模相结合、二维与三维观测相结合等根系分析系统。随着根系研究方法的不断改进,根系高效吸收利用养分的机理也日渐清晰。根系具有可塑性,在不同生长环境中表现出不同的形态构型。深根型有利于吸收深层土壤的水分和养分,而浅根型利于吸收表层养分。并且不同类型的根系分泌物对吸收土壤养分及解除元素毒害都有作用^[3]。这些发现,加速了通过根系改良实现作物高产高效的研究,并且卓有成效。例如,浙江大学吴平课题组、华南农业大学严小龙/廖红课题组等,分别在水稻和大豆根系遗传改良方面取得重要进展,培育出磷高效水稻和大豆新材料^[3,4]。

利用丰富的种质资源,选育具有较高遗传力的优良根系性状,是根系生物技术改良的有效途径。传统的育种方法



主要通过表型选育,受环境因素影响较大、成本较高。结合常规遗传改良和分子标记等方法,通过构建重组自交系和近等基因系等材料,确定控制根系性状的主要基因位点,可有效地提高育种效率。例如,国际水稻所通过控制水稻磷吸收的主要位点Pup1,结合分子标记辅助技术,获得了通过调控根系生长,进而增加养分吸收的水稻养分高效新材料^[5]。

转基因技术是根系生物改良的另一重要途径。通过基因转化,能够高效、定向地获得具有良好根系性状的植物材料。例如,过表达*GmEXPB2*的大豆转基因材料,其根构型得到改良,在缺磷土壤中具有较高的生物量和磷效率^[6];此外,*OsPh1;1*和*NtPT1*等转基因水稻都能提高养分吸收效率和增加产量;通过转基因技术,增加根系分泌物进而活化根际土壤养分的转基因材料(如:*PoMDH*和*TaALMT1*等基因),都具有提高养分效率和增加产量的潜力^[7]。然而,转基因根系由于遗传基础、生理生化活性和根际环境的改变,有可能会影响土壤微生物种群和养分转化规律。因此,应用转基因技术改良根系,需要充分验证并考虑由此带来的生态环境效应。

根系与土壤微生物形成共生系统能够促进养分的吸收和利用。例如,豆科植物根系与根瘤菌的共生固氮系统,能为宿主生长提供氮源;而根系与菌根真菌的共生体系则增加了宿主对根际养分的吸收。改良根际环境,充分发挥根系与土壤微生物间的互惠互利作用,将有助于挖掘利用潜在的养分资源。例如,通过调控磷营养,促进结瘤有助于达到豆科作物“以氮促磷、氮磷协同高效”的效果。另一方面,通过促进丛枝菌根分泌H⁺、有机酸和酸性磷酸酶以及调控磷转运子基因的表达,能更有效地活化和利用土壤磷,从而提高作物的养分效率^[2]。因此,对根系

及根际环境进行改良,使植物、土壤和微生物协同发展,是提高土壤养分资源利用效率的又一重要途径。

根系既是植物吸收养分、水分的重要器官,也是感受土壤逆境的直接器官,具有重要的生物学功能。随着根系研究技术和手段的更新与发展,以及对根系养分高效吸收机理的深入认识,通过生物技术改良根系,可为实现作物高产高效、进行生态环境友好型的农作物生产提供重要的理论依据。此外,我国干旱、涝害和盐害等自然灾害频繁,而根系与作物抗旱、抗涝等能力也密切相关,因此,如何对根系进行生物技术改良,提高作物的抗逆性,将是保证作物高产稳产的另一重大研究方向。

参考文献

- [1] Zhang F, Chen X, Vitousek P. Chinese agriculture: An experiment for the world [J]. *Nature*, 2013, 497: 33-35.
- [2] 严小龙, 廖红, 年海. 根系生物学-原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] Wu P, Shou H, Xu G, et al. Improvement of phosphorus efficiency in rice on the basis of understanding phosphate signaling and homeostasis[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2013, 16: 205-212.
- [4] Liang C, Wang J, Zhao J, et al. Control of phosphate homeostasis through gene regulation in crops[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2014, 21: 59-66.
- [5] Chin J, Gamuyao R, Dalid C, et al. Developing rice with high yield under phosphorus deficiency: *Pup1* sequence to application[J]. *Plant Physiology*, 2011, 156: 1202-1216.
- [6] Zhou J, Xie J, Liao H, et al. Overexpression of β -expansin gene *GmEXPB2* improves phosphorus efficiency in soybean[J]. *Physiologia Plantarum*, 2014, 150: 194-204.
- [7] Tian J, Wang X, Tong Y, et al. Bioengineering and management for efficient phosphorus utilization in crops and pastures[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2012, 23: 866-871.

文/陈志坚¹,廖红²

作者简介 1. 华南农业大学农学院, 博士后; 2. 华南农业大学农学院, 教授。图片为本文第1作者。

(编辑 王丽娜)