

土壤水分对作物根系生长及分布的调控作用*

冯广龙 刘昌明

(中国科学院地理研究所 北京 100101)

王 立

(中国农业科学院科技文献信息中心 北京 100081)

摘 要 冯广龙,刘昌明,王 立.土壤水分对作物根系生长及分布的调控作用.生态农业研究,1996,4(3):5~9.

研究了作物根系生长、分布对不同土壤水分条件,特别是水分胁迫条件和不同灌溉方式的动态响应特征及其与冠部生长、籽粒产量和水分利用的关系,指出对作物根系实施调控的方法,为寻求节水高产途径提供了可靠依据。

关键词 根系 根冠关系 土壤水分 调节

Abstract Feng Guanglong, Liu Changming (Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101) and Wang Li (Center of Science and Technology Document, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081): Roles of soil water in regulating root growth and distribution, *EAR*, 1996, 4(3): 5~9.

Features of dynamic responses of root growth and distribution to soil water conditions, especially to water stress conditions and irrigation regimes as well as the relationship of root with shoot growth, grain yield and water use efficiency are reviewed with methods and ideas in root regulation for high yield and water-saving presented in this paper.

Key words Root, Root-shoot relation, Soil water, Regulation

在当今水资源总量极其有限情况下,提高水资源利用效率,发展节水型农业成为今后农业持续稳定发展的必然选择。根系作为作物吸收水分器官,其生长、分布与土壤水分利用状况密切相关,且对作物生长和产量形成的影响也相当大。对不同灌溉制度、土壤水分条件下根系生长、时空分布特征深刻全面了解,不仅有助于理解作物生长对土壤水分条件响应特征,而且可为合理灌溉、施肥、育种、确定科学耕作栽培措施、提高作物生产力提供理论依据和改善途径。本文主要讨论土壤水分对作物根系生长发育、分布影响,其它因素略述。

1 土壤水分对根系调控的可行性分析

1.1 土壤水分影响根系生长机制

* 国家重大自然科学基金资助项目。

本文于1996年3月18日收到,1996年5月27日改回。

作物根系包括向下生长的主根和沿主根产生的侧根及其多级分枝根。双子叶作物由胚根伸长形成的直根主要向下生长,从直根上产生的一些侧根也有向下生长的习性。单子叶源于胚原基,由胚轴下部产生的初生根及源于叶原基,从分蘖节上产生的次生根均为向下生长根系,且均可进一步发育出一级或多级侧根。直根或初生根、次生根伸长状况决定了作物根系下扎深度,根长密度取决于它们的侧根数量和长度。根系生长发育动态及形态特征是由生物学特性和环境因素共同作用的结果,在田间,土壤条件对作物根系的影响要比遗传特性大得多,水分条件变化常常是导致根系生长、分布差异的主要原因。根系生长是由于伸长区细胞膨压作用的结果,这一过程机制可由下式加以表达:

$$1/L \times dL/dt = \Phi \times (P - Y - M)$$

式中, L 为根长(mm), t 为时间(s), Φ 为细胞壁伸展性($S^{-1}MPa^{-1}$), P 为膨压(MPa), Y 为细胞可扩张的最小膨压(MPa), M 为外部土壤阻力对细胞扩张所产生的压力(MPa)。细胞壁伸展性(Φ)、扩张域值(Y)及细胞最大膨压主要由作物本身遗传特性决定。实际膨压(P)和土壤对根系穿插阻力(M)则与土壤含水量及机械阻力有关。就作物生理而言,根组织需要 O_2 、适宜温度及产生新细胞物质,为保持细胞渗透势及扩张膨压还需吸收离子和溶质,这些因素几乎均与土壤水分状况有关。土壤水分可影响营养物质有效性、土壤强度、通透性、细胞膨压,同时也影响着冠层光合能力及分配。因此,土壤水分状况经常直接或间接地显著影响着根系的生长发育,是影响根系生长速率及分布的最重要因素之一,从而使得通过调节土壤水分状况对根系生长实施调控成为可能。如在饱和含水量以下土壤逐渐变干时,ODR 通常对根系生长较为有利,土壤强度则不利于根系生长。土壤含水量在田持之上,ODR 抑制根系生长而土壤强度利于根系发育。一旦土壤氧气浓度低于 $10mg/L_{\pm}$,大部分作物根系即停止生长。对于容重较低土壤,随土壤含水量增加,土壤强度降低,根系伸长速率增加。此外,土壤含水量变化会通过改变根土水势梯度而影响根系生长,当根土水势低于 $-0.8MPa$ 时,根系生长显著降低。土壤强度阻碍着根系生长,当土壤强度超过 $2.0MPa$ 时,根系生长受到严重抑制。

1.2 根系对土壤水分状况适应性反应

作物根系可根据土壤水分状况作出适应性反应,适应性程度取决于作物种类、发育阶段、土壤条件和大气蒸发力,恰是这种求生适应性机制,成为我们调控的基础。土壤水分过多或过少,均会改变作物根系大小、数量及分布,从而影响到冠层生长发育和籽粒产量。普遍性结论认为,水分过少,根系到处延伸,追逐水源,根、冠间竞争碳水化合物,为避免水分胁迫,促进根系生长,同化物分配到根系较多,冠部则受到水分限制,生长不旺,使得根冠比增大。反之,水分过多,土壤通气状况较差,根系生长发育受到抑制,同化物用于冠部较多,使得根冠比降低。根冠比与土壤含水量呈显著负相关,根系生长、分布状况充分反映出作物所具备的趋利避害功能。根系分布也会据土壤水分供应状况作出相应调整,若土壤干旱而深层仍有可利用水分,根系偏重于垂向伸展,根系分布一般深密,上层水分如充足,根系即向水平方向发展,根浅而分布广。可见,通过灌溉方法人为控制土壤水分状况对根系大小和分布是会起到一定调节作用的。

2 作物根系生长与吸收水分关系

根系在吸水过程中起着重要作用,决定着作物持续吸水的时间、区域并控制着吸水速

率在土壤剖面上的相对强度。无论根系是主动还是被动吸水,均需克服土壤阻力、土根界面阻力及根的径向、轴向阻力,而这些阻力大小和分布与根系特性及生长、分布状况具有密切关系。

此外,根系大小还会改变土壤有效含水量和临界土水势,从而影响作物利用水分状况及抗旱能力。根系吸水主要集中在根尖端,根毛区及根龄较小根系径向阻力小,活性大,为吸水主要部位。侧根主要承担吸水功能,主根主要负责输水功能。根系吸水机制说明,根系大小和分布会影响根系吸水速率并改变土体水分分布,而土壤剖面中水量分布又决定着根系大小和空间分布,二者存在着互为影响的反馈关系。

根系生长与吸水之间具有复杂非线性关系。据 Gardner 单根吸水模型理论推导,单位土体根系吸水速率(WU)与根长密度(RLD)关系为: $WU = RLD^a$, $a \in [0.5, 2.2]$,说明根系愈庞大,吸水能力愈强,吸水量愈大。Molz 等^[8]发现根系在作物吸水中作用比达西流作用大,尤其在土壤含水量较低时,根系作用更大。作物根系较小,即使土壤供水能力较强,如大气蒸发力强,也极易遭受水分胁迫使产量下降。特别是土壤强度较大层次,常阻碍根系下扎或降低根系伸长速率,从而影响作物吸水和生长,浅根系即使生长于土壤湿润区域,短期干旱也会限制作物生长,降低产量^[14]。任何阻碍根系生长因素经常引起作物水分胁迫。Hurd^[6]指出尽管大根系不会保证高产,但有助于避免由于水分供应不足而造成产量下降,任何促根管理措施均有助于缓减水分胁迫,增强作物抗旱能力,尤其对于质地较粗、保水较差土壤更是如此。

另有结论表明,水分吸收不一定与根系分布有关,原因是土壤水分在水势梯度作用下可移动到根表。在地下水位较浅时,由于毛管水上升,即使土壤干旱时,具有较小根系作物吸水速率也较高。根长密度与吸水速率甚至呈非线性反比关系^[7],这类结论可能由于总根量中活性根数量差异所致。干旱地区或作物受较长时间干旱影响地区,活性根系主要在下部土层发育。根系生长与分布呈动态变化,作物最大吸水速率随根系下扎不断下移。Ehlers 等^[4]研究得出,作物吸水量与根长密度关系不大,而更多依赖于扎根深度,深根系比浅根系更利于抵御水分胁迫。可见,在抗旱措施中,促使根系向深处下扎显得较为重要,同时,根系吸水参数最好用活性根数量表示。

3 灌溉对作物根系的调控作用

在相同条件下,灌溉作物根系一般主要分布于土壤剖面上部,未灌溉作物根系则在深层发育较多。根系生长一般在生殖生长开始后即停止或逐渐降低,在根量达最大值之前,水分对根系生长影响较大,之后影响则小。灌溉时间愈早,根系愈大^[3],就冬小麦而言,在拔节期水分对根系影响最大,虽也有反例^[9],在正常情况下,灌溉量愈大,根系发育愈大,灌溉作物一般总根量要比非灌溉作物大^[3],扎根深度则比非灌溉作物浅。在灌溉定额相同时,灌溉对作物的影响主要表现在灌溉时间和周期上。少量多次灌溉(即浅频灌)与多量少次灌溉(即常规灌)相比,较一致的结论是浅频灌作物的根系一般分布较浅,下层数量较大,深层吸水量较大。浅频灌常使该层处于湿润状态,从而降低了该层土壤强度,促进了根系发育,并提高了矿质营养有效性。此外,浅频灌不易引起深层渗漏,有助于缓减大气干旱所引起的水分胁迫。一般认为,地表经常湿润,由表层蒸发损失的水量必然较大。然而,Rawlins^[13]指出,由于冠部生长对土表的遮盖,频灌表层蒸发的失水量并不大。浅频灌作

物籽粒、干物重及水分利用率均较高^[3],也有一些非充分灌溉试验表明浅频灌只促进营养生长,生物量较大,产量和水分利用率则不及常规灌溉大^[12]。如果深层仍有可被作物利用的水分,则以多量少次灌溉为宜,以促使根系下扎利用深层水分,同时,灌溉应尽量安排在作物需水敏感时期,使有限水量充分被利用。

滴灌对根系影响方式与浅频灌类似。棉花灌溉试验表明,滴灌根系在40cm以上土层分布较多,沟灌根系则在40cm以下分布较多,且下扎较深,利用深层水分较多。滴灌水分利用率比沟灌高^[5]。玉米地表及地下滴灌试验表明,地下滴灌营养物质易移动范围大,有效性高,蒸发失水少,产量及干物质较大。愈靠近滴头,根系发育愈多,根系向水源处生长超过向其它方向生长,在垂直方向降低比水平方向降低快得多,充分展示出根系生长的向水性及水分对根系生长的诱导作用。地下滴灌的根系生长重心在滴头30~45cm处,地表滴灌则在0~15cm土层发育最多,地表、地下滴灌均未限制根系随深度发育^[11]。马瑞昆等^[1]冬小麦供水深度管栽试验得出,地表和20cm层供水处理,100cm以上土层根系发育较多,40cm土层供水对40cm以上土层中根系有一定抑制作用。80cm土层供水抑制次生根生长,上层根重显著降低,对深层根重影响较小。浅层地下供水(20cm、40cm)株体生物量及产量最高。据此可选择水分诱导、调控根系生长的适当方法。

4 在根系调控中应注意的问题

前已述及,深密根系有利于避免水分胁迫。常见看法认为作物高产需根大、根深、根密,这种根系是耐旱作物的基本特征。在实际生产中,任何促根方法均视为抗旱增产措施。但茂密根系会消耗大量本可用于冠层同化产物,作物根系和冠层之间存在着依赖制约、协调平衡关系,一定量光合产物被用于根系较多,分配到冠部必然会减少,水分利用率也随之降低。许多作物在收获时根系占总干物重比例约有10%,由于暗呼吸、老根脱落、微生物腐解、动物啃噬、根系分泌及取样、前处理等途径损失,这一比例至少被低估50%。Passioura^[10]研究表明,生产单位根重所需消耗同化产物及水肥量至少是生产单位冠重的2倍。大量去根试验表明,去掉部分根系对冠层生长无影响,作物可发育出超过其生长所需要的多余根系,根系的行为并不一定和行为结构对应,株冠生物量与产量也并非线性相关,大的冠层也未必非得由大的根系支撑。为应付土壤干旱条件,避免作物遭受水分胁迫,在促根时应充分考虑到建造根系的花费与代价,不可失之偏颇。解决关于高产作物是否总是具备或确实需要较大根系,各类作物在不同环境条件和生长发育阶段究竟需要多大根系较为经济之类问题的关键在于选择衡量标准和确定最终目标,同时应注重建立综合评价如此复杂动态关系行之有效的通用定量工具。Brouwer^[2]提出作物根、冠之间存在着一种动态功能平衡关系:当根系生长所具备功能可使冠层良好生长并使其功能得以充分发挥,同样冠层生长与功能也不限制根系生长和功能时,即认为作物处于最佳生长状态,此时的根冠比最优,水分利用最为经济。因此,由功能入手,以水肥利用效率和产量作为最终综合目标,在整体器官水平上,在受各类复杂多变环境因素交互影响的根、冠互作反馈关系中探求根系适宜大小、分布状况及根、冠最佳配比组合过程线,并以此为目标引入适当调控措施不失为一条有效途径。同时应注重各类作物在不同水分条件下可节水高产的根系动态时空分布过程及其调控措施的研究。另外,在根系研究中需加强实验室试验、温室试验及田间试验的结合,前者利于发现,后者是实际的检验。取样、前处理和测根技术,

特别是在田间实行的能标志和动态监测根系特征的实验技术,也是需要着重解决的问题,国外已有在田间可非破坏性地动态观测根系生长、分布技术,如视频、射线透视技术等,我们可借鉴、研制或适当引进。

参 考 文 献

- 1 马瑞昆等. 供水深度与冬小麦根系发育关系. 干旱地区农业研究, 1991, (3): 1~9.
- 2 Brouwer R. Function equilibrium; sense or nonsense. *Neth. J. Agric. Sci.*, 1983, 31: 335~348.
- 3 Carefoot JM, Major DJ. Effect of irrigation application depth on cereal production in the semi-arid climate of southern Alberta. *Irrig. Sci.*, 1994, 15: 9~16.
- 4 Ehlers W, Hamblin AP, Tennant D. Root system parameters determining water uptake of field crops. *Irrig. Sci.*, 1991, 12: 115~124.
- 5 Hodgson AS, Constable GA, Duddy GR, Daniells IG. A comparison of drip and furrow irrigated cotton on a cracking clay soil. 2. water use efficiency, waterlogging, root distribution and soil structure. *Irrig. Sci.*, 1990, 11: 143~148.
- 6 Hurd EA. Phenotype and drought to tolerance in wheat. *Agric. Meteor.*, 1974, 14: 39~45.
- 7 Meyer WS, Barrs HD. Roots in irrigated clay soils: measurement techniques and responses to rootzone conditions. *Irrig. Sci.*, 1991, 12: 125~134.
- 8 Molz FJ, Remson I. Application of an extraction-term model to the study of moisture flow to plant root. *Agron. J.*, 1971, 63: 72~77.
- 9 Nobel PS, Quero E, Linares H. Root versus shoot biomass; responses to water, nitrogen and phosphorus application for agave lechuguilla. *Bot. Gaz.*, 1989, 150: 411~416.
- 10 Passioura JB. Roots and drought resistance. *Agri. Water Management*, 1983, 7: 265~280.
- 11 Phene CJ, Davis KP, Hutmacher RB. Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrig. Sci.*, 1991, 12: 135~140.
- 12 Proffitt APB, Berliner PR, Osterhuism DM. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high and low-frequency irrigation. *Agron. J.*, 1985, 77(5): 765~762.
- 13 Rawlins SL, Roats PAC. Prospects for high-frequency irrigation. *Science*, 1975, 188: 604~610.
- 14 Unger PW, Kaspar TC. Soil compaction and root growth: a review. *Agron. J.*, 1994, 86: 759~766.
- 15 Veen BW. The influence of mechanical impedance on the growth of maize root. *Plant Soil*, 1982, 66: 101.

· 征订启事 ·

欢迎订阅 1997 年《北京农业》

《北京农业》是由北京市农业局主办的农林牧副渔业综合性科技月刊。16开48页,彩色四封,定价:3.00元/册,全年36元,邮发代号:2-87,全国各地邮局均可订阅。漏订者可以直接汇款至本刊编辑部订阅,地址:北京市北三环中路,北京市农业局《北京农业》杂志社,邮政编码:100029。