

## 土壤水分和磷营养对小麦根系生长生理特性的影响\*

梁银丽 陈培元

(中国科学院水利部西北水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

**摘要** 采用小偃6号小麦品种,在模拟田间原状土容重的条件下土培,研究了土壤水分和磷营养对小麦根系生长生理特性的效应。结果表明:在土壤相对含水量为40%—70%范围内,土壤水分亏缺,小麦根系生长受到限制,根系比表面积(RA)、根呼吸速率(Rp)、根水势(RΨw)和叶片蒸腾强度(EI)明显降低,根系干物重(RDW)减少;轻度干旱有利于根系的延伸生长;在土壤干旱条件下,磷营养可以提高根系RA,降低根系Rp,提高RΨw、增加叶面EI,促进根系延伸生长,扩大小麦根系对土壤深层水分的吸收和利用,进而促进地下部生长,提高RDW。磷除作为一种营养物质促进作物根系生长发育外,在水分胁迫条件下,磷营养可明显改善植株体内的水分关系,增强对干旱缺水环境的适应能力,提高作物抗旱性。促进根系生长,提高水分利用的有效方法是根据土壤水分状况调节磷的用量。

**关键词** 土壤水分,磷素营养,根系生长生理,小麦

### EFFECTS OF WATER AND PHOSPHORUS NUTRITION IN THE SOIL ON ROOT SYSTEM GROWTH PHYSIOLOGIC CHARACTER OF WHEAT

Liang Yinli and Chen Peiyuan

(Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica  
and Ministry of Water Conservancy, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract** The experiment was conducted under condition of simulating field undisturbed soil with 8 replications in order to study the effects of soil moist and phosphorus nutrition on root growth physiologic characters of wheat. The contemporary wheat variety, Xiaoyan No. 6 was used. Results showed that under soil relative water content as 40%—70%, as soil water stress developing, root growth of wheat is limited, root rate area (RA), root respiration intensity (RI), root water potential (RΨw) and leaf evaporation intensity (EI) are declined obviously, root dry weight (RDW) is reduced. Light water stress is of benefit to root lengthening growth. Under condition of soil water stress, phosphorus nutrition can raise root rate area, decline root respiration intensity, enhance root water potential and leaf evaporation intensity, promote root system lengthening growth, and increase root dry weight. Besides phosphorus as a kind of nutrition to promote crop root growth and development, phosphorus has the functions of improving water relationship in plant body, strengthen crop suitable ability to dry surroundings and heighten crop drought resistance. It is proposed that the effect of phosphorus on strengthening drought resistance should not underestimate; adjusting the usage of phosphorus to soil according to soil mois-

\* 国家自然科学基金资助课题。

ture is efficient way to promote root growth and enhance water use of wheat in dryland farming.

**Key words** Soil moist, phosphorus nutrition, root system growth physiology, wheat

世界上旱农地区均是粮食生产的低产区,同时又是提高生产潜力的关键地区(山仑, 1988)。联合国粮农组织(FAO)博默教授就曾指出:公元 2000 年时,非灌溉农业将生产半数的农产品,以满足世界人口对粮食的需求。苏联植物生理学家马克西莫夫就曾警告过,只要扩大灌溉面积而不对非灌溉地区农业生产的提高加以注意,这恐怕是一个很大的错误<sup>[8]</sup>。

长期以来作物科学围绕产量的形成,对作物地上部分器官的结构与功能及其叶光系统的调节控制,已作了大量的研究,而对地下部分,尽管早以为人们所注意,但限于工作量与研究方法上的原因,这方面的系统研究工作,在我国开展还很少。本世纪 30 年代 Weaver, J. E. 系统地研究了小麦、玉米、高粱等十多种作物的根系生长过程,并指出“要科学地理解作物生产,就必须全面地认识作物根系发育、根群分布、不同生育期根系吸收水分的活力,以及不同环境下的根系变化”。近几十年来国内外研究者都认识到:作为地下部分的根系,总是和其赖以攀延伸长的土壤密切联结成一个水、肥、气、热、根互为生态环境的“根土系统”。这种根土系统的构形容积、动态、内涵因素的数量、质量,直接关系到地上部分“叶光系统”的建成与产量形成。进入八十年代以来,人们逐渐将研究课题转向根系,使孤立研究地上部生理机能转向根系和地上部分相互作用的研究<sup>[1,2,3,7]</sup>。

大量资料表明,不同品种、栽培因子如播期、土壤耕作、肥料灌溉都在不同程度上影响根系生长发育和分布<sup>[4,9,10,11]</sup>。磷素营养对作物根系的生长发育起着极其重要的作用。在干旱条件下,磷在调节地下部生理代谢机能、促进根系生长方面具有哪些特殊作用,目前尚缺乏研究报道。本研究旨在探讨土壤湿度和磷营养对小麦根系生长生理特性的影响;为旱农地区作物根苗协调生长和作物生产潜势的开发提供科学依据。

## 1 材料与方 法

试验研究于 1991—1993 年在西北水保所试验场进行。模拟田间原状土容重,采用 2 因素 2 次饱和 D 优化设计。研究因素为磷营养( $P_2O_5$ )和土壤相对含水量(SRWC)。磷水平上限 180kg/ha,下限为 0,零水平 90kg/ha;SRWC 上限为 70%,下限 40%,零水平 55%。

在特制木盒(20×6×50cm)中装入试验地表土(垆土,田间持水量为 32%)7.8kg。土壤含全氮 0.071%,速效磷 7.5ppm,有机质 0.85%。不同水平的磷肥( $P_2O_5$  含量 46%)于装盒前一次施入土中,0.5g 尿素(N 含量 46%)也同时施入土内。土壤含水量采用称重法控制,重复 8 次。发育饱满的小偃 6 号种子经浸种后种植于 160 目的双层尼龙网之间,根系能够正常吸收土壤中的水分和养分,保持根苗生长良好,而根系的初生根和侧根则不能穿过,以便于无破坏性地获取完整根系,又避免了根系冲洗过程以及水分对根系内部水分状况的影响。

出苗后每 5 天测定叶面积发育动态,每天测定耗水量。当植株生长到具有 6 片主茎叶时,所有植株被收获,测定根长、根系的鲜干重及水分状况;用小液流滴速增量法<sup>[5]</sup>测定根系水势;用甲烯蓝比色法测定根系比表面积;用红外线  $CO_2$  气体分析仪测定根系呼吸强度;用 1600 型稳态气孔计(产于美国)测定叶片的蒸腾速率。

试验结果采用 BASIC 语言程序经微机运算,并对其结果进行显著性检验。

## 2 结果与分析

根系是作物的重要吸收、合成、固定和支持器官。土壤中的水分和养分主要通过根系被吸收,以满足作物生长发育之需。根系在土壤中的广泛分布和不断生长,追逐着土壤中的水分和养分,这对满足自身和地上部生长非常重要。当作物遇到由于蒸腾速率超过根系吸水速率而引起的作物水分胁迫;或由于土壤水分溶液中营养元素的低活性引起的养分亏缺;或两者兼而有之,作物根系和苗系的生长以及产量就会受到很大限制,根系的生理特性也会发生一系列的变化。根的生长状况和活动能力直接影响作物的生长情况,营养水平和产量水平。

### 2.1 土壤水分和磷营养对小麦根系生理特性的影响

2.1.1 对根系比表面积(RA)的影响 比表面积(RA)作为一种反映单位体积根系活性吸收面积大小的指标,在评价植物根系活力方面被广泛采用。本研究结果表明,土壤水分条件对根系 RA 产生剧烈影响,且呈抛物线型分布。在不同磷素营养水平下,土壤水分对根系 RA 的作用表现不同。在不施磷肥条件下,根系 RA 在 SRWC 为 57% 时达到峰值;当磷水平为 90kg/ha, SRWC 为 54% 时根系 RA 最大;当磷肥施用量达到 180kg/ha 时,根系 RA 在 SRWC 为 51% 时达最大值。这表明在土壤干旱条件下,磷肥可以明显提高根系的活性吸收面积。

2.1.2 对根系呼吸强度(RRI)的影响 由图 1 可以看出,土壤水分条件和磷素营养水平都对根系呼吸强度影响显著,而且其中一个因素的作用明显受到另一个因素的制约。在不施磷的情况下,随着土壤水分含量的增加,根呼吸明显降低;水分胁迫加剧,根呼吸明显提高;在磷水平为 45kg/ha 上下时,土壤水分的改变对根系呼吸作用无明显影响;尔后随着磷水平的提高,土壤水分含量提高,呼吸作用加强;水分胁迫加剧,根系呼吸强度降低。换言之,在 SRWC 为 70% 条件下,随着磷水平的提高,小麦根系呼吸作用增强;当 SRWC 为 55% 以下时,随着磷水平的提高,根呼吸作用显著降低。

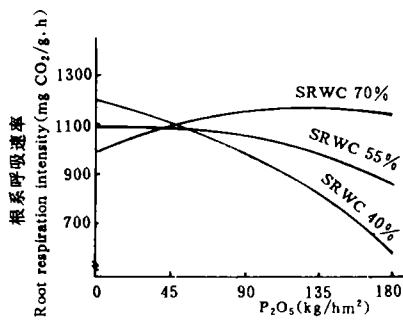


图 1 土壤水分和磷营养对根系呼吸速率的影响  
Fig. 1 Effect of SRWC and  $P_2O_5$  on root respiration intensity of wheat

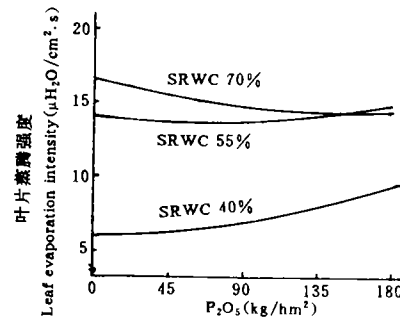


图 2 土壤水分和磷营养对叶片蒸腾强度的影响  
Fig. 2 Effect of SRWC and  $P_2O_5$  on leaf evaporation intensity of wheat

2.1.3 对叶面蒸腾速率(LER)的影响 图 2 表明,小麦叶片的蒸腾速率主要受土壤水分状况的影响,磷营养的作用不十分显著,除非在严重水分胁迫条件下才表现出对蒸腾速率的调节作用来。总的表现为:土壤水分含量提高,蒸腾速率增强;含水量降低,蒸腾速率减弱;在 SR-

WC 为 70% 条件下,蒸腾速率随磷营养水平的提高而下降;在 SRWC 为 55% 时,蒸腾速率受磷水平的影响不大;在严重水分胁迫条件下(SRWC 为 40%),蒸腾速率随磷水平的提高而增强。

2.1.4 对根水势( $R\psi_w$ )的效应 表 1 表明,土壤水分含量的高低直接影响着根系内部的水分状况。土壤干旱严重,小麦根区水分环境恶化,严重影响根系对土壤水分的吸收,根系内部的水势显著降低;土壤含水量提高,根区水分条件改善,根水势显著提高。统计分析结果表明,土壤相对含水量(SRWC)与根水势( $R\psi_w$ )之间的相关性达极显著水平( $r^2 = 0.929 - 0.998^{**}$ )。

表 1  $P_2O_5$  水平和 SRWC 与根水势( $R\psi_w$ )之间的关系

Table 1 The relationship between  $P_2O_5$ , SRWC and  $R\psi_w$ .

Xi	Xi level		Y( $R\psi_w$ , kPa)	$r^2$
$X_2$ (SRWC)	$X_1$	$P_2O_5$ 0kg/ha	$Y = -897 + 311x_2 - 68x_2^2$	0.998
		$P_2O_5$ 90kg/ha	$Y = -750 + 240x_2 - 68x_2^2$	0.960
		$P_2O_5$ 180kg/ha	$Y = -577 + 169x_2 - 68x_2^2$	0.929
$X_1$ ( $P_2O_5$ )	$X_2$	SRWC 40%	$Y = -1058 + 231x_1 + 13x_1^2$	0.996
		SRWC 55%	$Y = -750 + 160x_1 + 13x_1^2$	0.997
		SRWC 70%	$Y = -578 + 89x_1 + 13x_1^2$	0.986

磷营养对小麦根水势的影响也极为显著。SRWC 在 40%—70% 范围内,磷对根系水分状况的改善,对根水势的提高均有良好的作用;而在土壤严重水分胁迫条件下增施磷肥,对根水势提高的作用更大。同理,土壤水分对根水势的效应也因土壤磷营养状况而别。不施磷肥时,土壤水分对根水势的效应相对较大;随着磷营养水平提高,土壤水分对根水势的作用相对降低。相关分析结果表明,磷营养水平与根水势之间的相关性均达极显著水平( $r^2 = 0.986 - 0.997^{**}$ )。

总之,土壤水分和磷素营养对  $R\psi_w$  均产生剧烈影响,土壤水分条件改善, $R\psi_w$  提高;施磷量增加, $R\psi_w$  提高。而磷增效作用的大小因土壤水分状况而异:严重水分亏缺,磷肥的效应增大,土壤含水量提高,磷的效应降低;同样,土壤水分对  $R\psi_w$  的增效作用也因磷水平而别:在不施磷肥的条件下,土壤水分的效应增大,在增施磷肥的情况下,土壤水分的作用降低。

## 2.2 土壤水分和磷营养对小麦根系生长特性的影响

2.2.1 对根系干物重(RDW)的影响 土壤水分对小麦根系生长影响显著。在严重水分胁迫条件下(SRWC 为 40%),小麦根系生长严重受阻,RDW 明显降低;土壤供水条件改善,可极显著地促进根系生长,增加根系干重。磷营养对小麦根系的生长具有明显作用。增施磷肥可显著加速根系生长,提高根干重。在不同土壤水分条件下,磷促进根系生长所需的适宜用量各不相同。土壤严重干旱情况下(SRWC 为 40%),磷的增效作用从相对量而言极显著,但从绝对量而言,水分条件改善,磷的效应增大。

分析土壤水分和磷营养的不同组合对根系生长的作用发现,在不施磷肥条件下,SRWC 维持在 55% 可获得低水平的最大根量;在磷的用量为 90kg/ha 时,SRWC 在 58% 时根量最大;当磷用量达 180kg/ha 情况下,SRWC 在 61% 的水平可获得高水平上的最大根量。总之,随着土壤水分条件的改善,增加磷肥施用量,可显著提高 RDW。

2.2.2 对根系长度(RL)的影响 小麦根系长度(RL)对土壤水分的反应极为敏感。土壤严重干旱(SRWC 40%),根的延伸生长严重受阻;土壤水分状况趋于良好,RL 显著增加;在 SRWC 达到 55% 上下时,RL 达最大值;尔后随着 SRWC 的递增,RL 又趋于降低。磷营养对

RL的作用因土壤水分状况而异。在土壤严重缺水条件下,施磷对促进根系延伸生长具有极显著的作用;随着土壤含水量的提高,磷肥的使用效果逐渐降低。土壤水分与磷素营养水平的适宜组合为: $P_2O_5$ 0kg/haSRWC60%; $P_2O_5$ 90kg/haSRWC58%; $P_2O_5$ 180kg/haSRWC56%,即土壤水分条件差多施磷对促进根系的延伸生长效果良好。

### 3 讨 论

在我国北方旱农地区,生产实践中通过增施磷肥而达到增产增收之目的实例屡见不鲜,至于为什么会产生这样的效果,尤其是从根系生长生理反应的角度,并无较多的科学研究依据加以说明。汤章城认为,在干旱条件下,根系的反应要有利于根在干旱条件下能吸收尽可能多的水分,以供本身和植株其余部分的需要。根系长度增加,有利于吸收水分,这是植物对干旱环境的一种适应性变化<sup>[6]</sup>。

本研究的结果证明,土壤水分对根系活性吸收面积的影响呈抛物线型分布,土壤干旱,根系活性吸收面积降低,呼吸作用加强,根水势和叶面蒸腾降低,根系干物质积累减少。在干旱条件下,磷营养可明显提高根系的活性吸收面积;降低根系呼吸强度;提高根水势和叶面蒸腾速率,促进根系的延伸生长,扩大对土壤深层水分的吸收和利用,增加根系干物质积累量。分析根干重(RDW)与根长度(RL)对SRWC和 $P_2O_5$ 的反应,认为:随着施磷水平的提高,土壤水分趋于轻度干旱有利于根系向纵深延伸,追逐土壤深处的水分;土壤水分趋于良好则有利于根量的增加。

在土壤水分亏缺情况下,磷营养的生理功能主要是改善了根系的水分状况;提高根水势,增加蒸腾蒸发量,进而促进地下部生长,提高生长量。因此,磷除了作为一种营养物质能促进作物根苗生长发育外,它在增强作物抗旱性方面的作用不可忽视;促进根苗生长,提高水分利用率的有效方法是根据土壤水分状况调节磷的用量。至于磷通过怎样的途径而改变 $R\psi_w$ 的,还有待进行深入研究。

### 参 考 文 献

- 1 苗果园,黄土高原旱地冬小麦根系生长规律的研究.作物学报,1989;15(2):104—115
- 2 陈培元.冬小麦根系的研究.陕西农业科学,1980;(6):1—6
- 3 马元喜.不同土壤对小麦根系生长动态的研究.作物学报,1987;13(1):37—44
- 4 陈彩虹.栽培因子与作物根系.耕作与栽培,1989;1:54—56
- 5 陈力君,曹成自.测定植物组织水势的小液流滴速增量法.植物生理学通讯,1991;27(5):379—380
- 6 汤章城.植物对水分胁迫的反应和适应性 I 植物对干旱的反应和适应性.植物生理学通讯,1983(4):1—7
- 7 凌启鸿.水稻不同层次根系的功能及其对产量形成作用的研究.中国农业科学,1984;(5):3—10
- 8 山仑.提高半干旱地区旱地农田生产力的现实途径和未来策略.中国科学院西北水土保持研究所集刊,1988;8:1—9
- 9 Betty Klepper, Belford R K, Rickman R W. Root and shoot development in winter wheat. Agronomy Journal, 1984; 76 (1):117—122
- 10 Narayan D, Misra R D. Drought resistance in varieties of wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 1989;59(9):595—598
- 11 Meyer W S, Tan C S. Root growth and water uptake by wheat during drying of undisturbed and repacked soil in Drainage Lysimeters. Aust. J. Agric. Res., 1990; 41: 253—265
- 12 Richards A R, Passioura J B. Seminal root morphology and water use of wheat I. environmental effects. Crop Science, 1981;21(2):249—255