

不同土壤水分条件下小麦根系 生态生理效应的研究

王晨阳 马元喜

(河南农业大学, 郑州 450002)

摘 要 1988~1990年的研究表明,土壤水分不足或过多,均抑制小麦根系的生长。干旱导致土壤表层根量减少,而深层根量所占比例增大。当土壤相对含水量低于60%时,单株次生根数明显减少;低于50%时,单株根量显著下降。根系活性随水分胁迫程度的加强而下降,其中以扬花期的下降幅度为最大。小麦单茎伤流量与土壤含水量呈极显著的正相关,而根冠比与土壤含水量则呈极显著的负相关。此外,研究还指出,40%的土壤相对含水量是小麦生育后期重度干旱的极限指标。

关键词 小麦 根系 土壤水分 水分胁迫 生态生理效应

小麦子粒产量的高低,在很大程度上取决于根系的发育状况,根系发达、活性强是小麦高产的基础。本世纪30年代J.E.Weaver,就指出:“要科学地理解作物生产,就必须全面地认识作物根系的生长发育、根群分布、不同生育时期根系吸收水分和养分的活力以及不同环境下根系的变化”。近几十年来,不少学者对小麦根系与地上部性状的相关性进行了大量的探讨^[1, 2],认为根系的生长呈倒“V”字型曲线,根重、单株次生根数与单株分蘖、成穗数、穗粒数等呈显著的正相关。在根系的生态生理研究方面,马元喜^[3]、魏其克^[4]曾分别对不同土壤、不同群体小麦根系的发育动态进行了研究,指出不同土壤根系的生长、分布及其糖、氮含量存在着显著差异,随地上部群体的增大,最大根量期前移、根活性降低。阎立富(1987)报道了施肥与根活力的关系。本试验着重探讨土壤水分对小麦根系的生态生理效应,旨在为麦田水分的有效利用及高产栽培提供理论依据。

材料和方法

一、试验条件与供试品种

研究采用典型试验与大田调查相结合的方法,于1988~1990年分别在河南农业大学和豫西丘陵旱作麦区、豫南多湿稻茬麦区进行。供试土壤为沙壤潮土,有机质含量1.17%,全氮0.04%,速效磷9.5ppm,速效钾60.0ppm, pH值8.3,最大持水量23.0%。供试品种为冀麦5418,大田调查的主要品种有豫麦10号、豫麦13、鄂恩1号和扬麦5号等。

二、试验设计与管理

盆栽试验 采用高25cm、直径26cm聚乙烯盆,每盆装过筛混匀的耕层干土10.4kg,伴施尿素及磷酸二铵各1.5g。1988~1989年度土壤相对含水量(SRWC,下同)设6个处理水平,即80%±5%(I)、70%±5%(II)、60%±5%(III)、50%±5%(IV)、40%±5%(V)和30%±5%(VI),4次重复,10月15日播种,密度相当于每亩18.8万苗,于蜡熟期冲根调查。1989~1990年度SRWC设3个处理水平,即75%±5%(I')、50%±5%(II')和30%±5%(III'),10月14日播种,密度相当于每亩16.3万苗,于各主要生育时期调查测定,3~4次重复。盆栽试验用称重法控制土壤水分含量。

池栽试验 池面积1×1m²,深2m,四周及底部均为水泥砌成。连续两年设4个处理水平,即2m深土层内的平均土壤含水量分别控制在60%~80%(1)、50%~60%(2)、40%~50%(3)和30%~40%(4)。与盆栽试验同期播种,条播,密度相当于每亩12万苗。试验期间采用土钻法每隔15天测定并调整一次土壤含水量。

以上试验均在遮雨条件下进行,其它管理同大田。

三、调查及测定内容

根系测定 先用清水仔细冲根,挑去根上杂物,考察根色、根粗、根长、单株次生根数等项性状,并用排水法测定根系体积,用 α -萘胺氧化法测定根系活力,然后烘干测定根系干重。不同土层根量分布用取根器测定,每20cm为一层。

伤流量测定 自制塑料管,检查不漏气后装入适量脱脂棉,称重法测定。

地上部测定 株高、叶面积、各器官干重等。

结果与分析

一、土壤水分对根系形成及分布的影响

1. 单株次生根 研究表明,在一定范围内,小麦单株次生根数随土壤含水量下降而减少,二者呈极显著的正相关($r=0.9456^{**}$)。从不同时期看,次生根数减少的幅度以拔节期为最大,处理II'和III'分别比处理I'减少31.2%和42.0%(见表1)。小麦起身、

表1 不同土壤水分对小麦单株次生根数的影响 (条/株,月/日)

处 理	越 冬 (12/16)		拔 节 (3/17)		扬 花 (4/25)	
	次生根数	比 I' 增减%	次生根数	比 I' 增减%	次生根数	比 I' 增减%
I'	8.0	—	20.5	—	27.0	—
II'	7.3	- 8.8	14.1	- 31.2	21.0	- 22.2
III'	7.0	- 12.5	11.9	- 42.0	20.0	- 25.9

拔节期是次生根发生的高峰期,此期间的的水分状况很大程度上决定发根的多少。生产上应重视这一时期的水分管理,特别是中、低产田,要浇好起身、拔节水,以促进次生根的发生和生长,为小麦丰产奠定基础;高产麦田,结合具体情况,在分蘖两极分化时适量灌水,有利

于地上部与根系的协调发展。

另通过对 6 个处理单株次生根数的差异显著性检验结果可以看出,60%~80%的SRWC比较适宜于次生根的发生,低于60%,次生根数开始显著减少,而当SRWC为30%时,发根严重受抑(表2)。

表2 不同水分处理小麦次生根数、根量及根系体积差异显著性检验

土壤水分 处 理	单株次生根数 (条/株)	差异显著性	单株根干重 (mg/株)	差异显著性	单株根体积 (cm ³ /株)	差异显著性
I	22.5	a	660.2	a	3.47	a
II	23.7	a	629.5	a	3.15	ab
III	24.5	a	633.5	a	3.19	ab
IV	20.5	b	561.3	ab	2.67	bc
V	16.7	c	489.7	b	1.95	c
VI	13.6	d	223.8	c	0.97	d

注: 处理间无相同字母的表示其差异达 5% 的显著水平

土壤渍水,在一定程度上会刺激表层根的发生,使单株次生根数有所增加(重度淹水除外)。据调查,豫麦13在苗期渍水15天后,次生根数比未淹水处理增加18.0%,拔节后渍水25天,次生根增加8.9%。但须指出,新发根多分布于土壤表层,从形态上看,其基部到根尖迅速变细,附着的土粒较少,白嫩不下扎,且根分枝、根毛都明显减少。

2. 根系生物量及体积 小麦根系生物量(干重表示)、根系体积与土壤含水量间均呈极显著的正相关($r_1 = 0.9309^{**}$, $r_2 = 0.9757^{**}$),即随土壤含水量降低,根系生物量减少,体积减小(图1)。不同时期相比,根量减少幅度是前期较小,返青后渐大,扬花以后

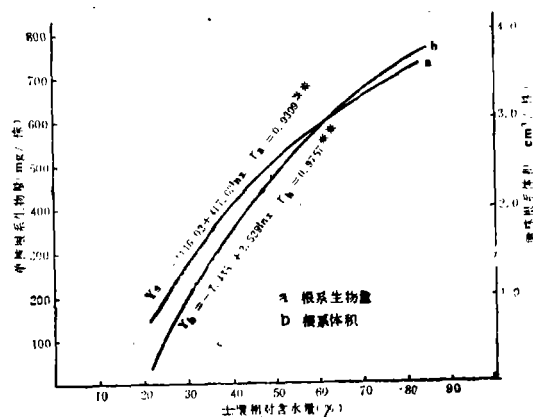


图1 小麦根系生物量、根系体积与土壤含水量的关系

则更加明显(见表3)。这表明生育前期根系对土壤水分的适应能力比较强,后期的适应能力逐渐减弱,因而受水分胁迫的影响也较大。小麦根系生物量在全生育期中呈“低—高—

表3 不同土壤水分对小麦根系干重的影响 (mg/株)

水分	越冬		拔节		扬花		灌浆		蜡熟	
处理	单株根重	比I'减%	单株根重	比I'减%	单株根重	比I'减%	单株根重	比I'减%	单株根重	比I'减%
I'	106.6	—	555.5	—	794.7	—	757.5	—	668.2	—
II'	97.6	8.4	436.1	21.5	714.5	10.1	650.6	14.1	601.3	10.0
III'	88.6	16.9	360.9	35.0	680.8	14.3	509.8	32.7	395.5	40.3

低”的变化趋势,即生育前期较小,起身后迅速增大,抽穗前后达到最大值。之后由于根系衰老,其内部物质不断向外运输,根重下降。干旱条件下,根量达最大值后维持的时间明显缩短,之后随时间推进,其下降的幅度亦较大。如灌浆中期、蜡熟期的根量分别与扬花期相比,处理I'下降4.7%和15.9%,处理II'下降8.9%和15.8%,处理III'下降25.1%和41.9%。

6个处理间根量及根系体积的差异显著性检验结果(表2)表明,50%~80%的SRWC可维持小麦根系的正常生长,SRWC低于50%,根系生长即明显受阻,根量及根体积显著减少,而低于30%,根系生长严重受抑或停滞,并于后期早亡。

淹水条件下,由于土壤氧化还原势降低,根系营养亏缺,生理代谢紊乱,其根分枝、根毛明显减少,根量亦显著减少。如苗期淹水15天,根量减少40.7%,扬花期淹水9天,根量减少17.5%。

3. 根系的垂直分布 因土壤含水量不同,根系的垂直分布有明显差异(见表4)。由表4

表4 不同土壤水分对小麦根系垂直分布的影响 (g/m²)

水分	0~20cm		20~40cm		40~60cm		60~80cm		80~100cm		0~100cm	
处理	根量	占100cm土层%	根量	占100cm土层%	根量	占100cm土层%	根量	占100cm土层%	根量	占100cm土层%	根量	占100cm土层%
(1)SRWC =60~80%	41.799	31.9	41.401	31.6	19.103	14.6	15.525	11.9	13.137	10.0	130.970	100.0
(2)SRWC =50~60%	35.032	36.2	23.487	24.3	15.127	15.6	13.137	13.6	9.952	10.3	96.735	100.0
(3)SRWC =40~50%	29.857	32.5	23.487	25.5	11.943	13.0	15.525	16.9	11.146	12.1	91.958	100.0
(4)SRWC =30~40%	11.943	26.3	10.350	22.8	5.175	11.4	10.350	22.8	7.564	16.7	45.382	100.0

1989年4月7日测定

可以看出,在0~40cm土层内,处理(1)、(2)、(3)和(4)的根量依次为83.200g/m²、58.519g/m²、53.344g/m²和22.293g/m²,分别占其100cm土层总根量的63.5%、60.5%、58.0%和49.1%,即随土壤干旱程度的加强,根量呈明显减少的趋势;在40~60cm土层内,以上4处理的根量分别占其100cm土层总根量的14.6%、15.6%、13.0%和9.2%,即

随土壤含水量的下降, 根量比例有增有减, 但总的趋势也是减少; 而在60~100cm土层内, 以上4处理的根量依次为28.622g/m²、23.089g/m²、26.671g/m²和17.914g/m², 分别占其100cm土层总根量的21.9%、23.9%、29.0%和51.4%。可见, 随土壤干旱的加强, 土壤深层根量所占比例也逐渐增大, 这是小麦自身对生长环境适应的结果。在水分管理中, 改小水勤灌为少次适量多灌, 有利于根系下扎, 提高小麦抗旱及抗倒能力。

二、土壤水分对根系生理活性的影响

测定结果表明, 根系氧化 α -萘胺量随土壤含水量下降而减少。不同生育时期相比, 以扬花期减少的幅度最大, 处理Ⅱ'、Ⅲ'分别比处理Ⅰ'减少28.7%和48.5% (见表5), 表明这一时期根系对土壤水分条件十分敏感。水分不足, 易造成根系活力锐减, 并引起早衰。因而生产上应特别重视中后期麦田的水分管理, 保证小麦孕穗及扬花期的水分供应。

表5 土壤水分对小麦根系活力的影响 (mg/h·g根鲜重)

水分	苗 期		拔 节 期		扬 花 期	
处理	α -萘胺氧化强度	比Ⅰ'减小%	α -萘胺氧化强度	比Ⅰ'减小%	α -萘胺氧化强度	比Ⅰ'减小%
Ⅰ'	65.8972	—	98.3220	—	76.3691	—
Ⅱ'	58.2902	11.5	93.0920	5.3	54.4523	28.7
Ⅲ'	43.7528	33.6	78.7810	19.9	39.2979	48.5

植株伤流量是衡量根系主动吸收能力大小的重要指标之一。据测定, 苗期小麦伤流量较小, 起身后渐大, 于抽穗前后达最大值, 灌浆初期依然较大, 而后减小 (见表6)。同一时期, 小麦伤流量随土壤含水量下降而减小, 二者呈极显著的正相关。通过数学模拟, 所建立的苗期、起身期和扬花期小麦单茎伤流量与土壤含水量间的回归方程分别为:

$$y_1 = e^{-0.18727+0.04021X}, \quad r_1 = 0.9285^{**}$$

$$y_2 = e^{0.29419+0.03995X}, \quad r_2 = 0.9719^{**}$$

$$y_3 = e^{1.4441+0.03227X}, \quad r_3 = 0.9599^{**}$$

x —土壤相对含水量%; y —单茎伤流量 (mg/h)

曲线表示见图2。由于小麦伤流量在一定程度上能够反映土壤中的水分状况, 因而可作为诊断小麦水分亏缺程度的生理指标之一。

表6 不同土壤水分条件下小麦单株伤流量的变化 (mg/h, 月/日)

水分	苗 期 (1/26)		起 身 (3/12)		扬 花 (4/22)		灌 浆 (5/20)	
处理	伤流量	土壤相对含水量	伤流量	土壤相对含水量	伤流量	土壤相对含水量	伤流量	土壤相对含水量
(1)	10.6	66.7	33.7	70.0	145.0	74.8	94.0	63.6
(4)	1.5	34.0	18.0	39.8	24.1	32.0	10.6	30.5

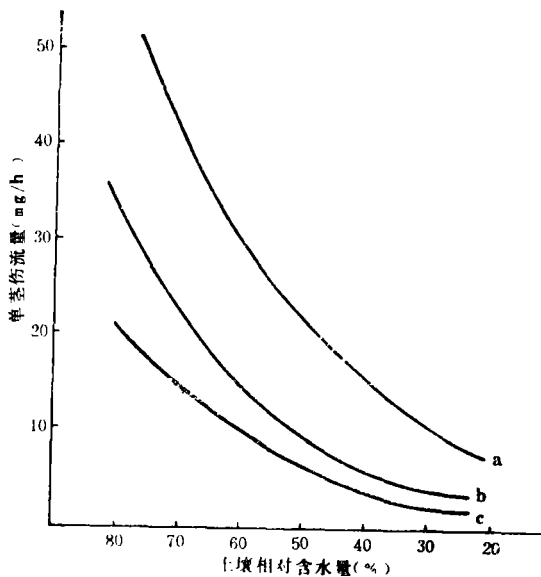


图2 小麦不同生育时期单茎流量与土壤含水量的关系

$$y = 0.018484 \times e^{-0.024779x},$$

x —土壤相对含水量%;

$$r = -0.9727^{**}$$

y —小麦根冠比

对方程求导, 得出根冠比达到极点时的SRWC为40.4%, 经过该点, 若含水量继续下降, 根

表7 不同土壤水分条件下小麦根冠比 (R/T) 的动态变化 (月/日)

处 理	苗期(12/16)		起身(3/17)		扬花(4/25)		灌浆(5/19)	
	根冠比	比 I' 增加%	根冠比	比 I' 增加%	根冠比	比 I' 增加%	根冠比	比 I' 增加%
I'	0.699	—	0.759	—	0.276	—	0.214	—
II'	0.787	12.6	0.843	12.4	0.355	23.6	0.290	35.5
III'	0.830	18.7	0.912	20.2	0.467	69.2	0.331	51.7

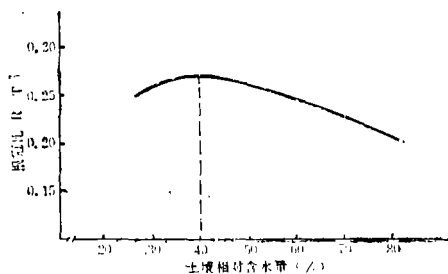


图3 后期小麦根冠比与土壤含水量间的关系

三、不同土壤水分条件下根冠比的动态变化

小麦根冠比(R/T)反映了根系与地上部之间干物质积累的关系。一般情况下, 它在整个生育期中的变化趋势是: 冬前较小, 越冬、返青期较大, 起身后逐渐减小, 成熟时减至最小。这说明小麦起身以前, 根系生长占优势, 尤其是越冬期间, 由于地上部直接受寒冷气候的影响, 生长速度明显下降或停滞, 而根系却仍有一定的生长; 起身以后, 尽管根系与地上部均迅速生长, 但地上部的生长渐占优势; 灌浆期间, 地上部干重继续增加, 而根系却逐渐衰亡, 其干重呈下降趋势(见表7)。从表7还可看出, 同一时期, 不同水分条件下小麦根冠比存在明显差异, 且随土壤含水量下降而增大, 增大幅度为12.4%~69.2%。另据分析, 成熟期根冠比与土壤含水量间的关系符合曲线方程:

冠比反呈减小的趋势(见图3)。这表明在中度干旱条件(SRWC为40%~65%)下, 根系从土壤中所获得的水分, 首先是维持其自身生长发育的需要, 因而表现为根系受害较地上部轻, 根冠比增大; 但随干旱程度的进一步加强, 根系生长亦严重受到抑制, 特别是小麦生育后期, 严重的水分胁迫(SRWC低于40%)造成根系过早衰亡。从这一角度

考虑,40%左右的土壤相对含水量是小麦后期严重干旱的极限。土壤含水量低于该指标值,必然导致小麦早衰,子粒灌浆不良,粒重降低。这在北方广大麦区,是制约产量进一步提高的主要障碍因素之一。

土壤渍水条件下,小麦根冠比减小。据抽穗期测定,淹水9天后,处理Ⅰ'、Ⅱ'和Ⅲ'根冠比分别比未淹水的对照减小2.2%、4.2%和32.1%,平均减小12.8%。这表明在水分过多条件下,根系生长首先受到抑制,相对而言,地上部受影响比较小。

讨 论

一、干旱条件下,小麦次生根数量减少,根系活性降低。其中,次生根数减少的幅度以拔节期为最大,表明这一时期的水分条件是决定次生根产生和发育的关键;根系活性下降的幅度则以扬花期为最大,其活力陡降是根系早衰的信号。因此,在小麦生产中,应保证小麦拔节期及扬花期间的水分供应,尤其是在高产栽培中,保证后一时期正常的水分供应是增加穗粒数、提高粒重的关键。

二、干旱使土壤表层根量明显减少,而深层根量增加,这是小麦根系适应土壤干旱的结果。生产上可据此来协调小麦“根—苗”关系。如苗期适当控制水分供应,可促进根系下扎,有利于增强小麦后期抗旱及抗倒能力,为高产、稳产奠定基础。

三、在中度干旱(SRWC为40%~65%)条件下,根系吸收的水分将优先供应其自身生长,致使地上部受害较根系重;而在土壤渍水条件下,根系生长首先受到抑制,其受害亦相对较重。作者还根据后期根冠比随土壤水分的变化曲线,提出40%左右的土壤相对含水量是小麦后期重度干旱的极限指标。至于小麦生育前、中期的该项指标,尚待进一步探讨。

本文内容为河南农大小麦栽培研究室的研究课题之一,试验过程中得到本校农学系贺德先讲师、朱云集讲师、介小磊讲师等的热情帮助,谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 崔振会.冬小麦根系发育与地上部分性状的相关关系.北京农业科学,1985,(3):10~13
- 2 亓新华.小麦伤流液及其与地上部关系.中国农业科学,1981,(3):33~38
- 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 魏其克.冬小麦不同群体根系发育规律的研究.西北农业大学学报,1987,15(3):49~55
- 5 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
- 6 Gajri P R. Rooting, water use and yield relations in wheat on loamy sand and sand loam soils. Field Crops Research, 1985, 12(2): 115~132
- 7 Meyer W S. Effect of irrigation on soil oxygen status and root and shoot growth of wheat in a clay soil. Aust J Agric Res, 1985, 36(2): 171~185

Ecological and Physiological Effects on Root Systems of Wheat under Different Soil Water Conditions

Wang Chenyang Ma Yuanxi

(*Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002*)

Abstract From 1988 to 1990, the ecological and physiological effects on root systems of wheat were studied under different soil water conditions. Results showed that the development of root systems could be inhibited by deficiency and oversupply of soil water. Drought might lead to the reduction of roots in the surface layer and the increase of the ratio of the roots in the deeper layer. When the relative soil water content was below 60%, the number of secondary roots of the individual plant decreased obviously. When it was below 50%, the root system reduced significantly. Less activity of root systems resulted from the higher severity soil water stress, and the least activity was found in the flowering period. The wound sap flow of the single plant was in extremely significant positive correlation with the content of soil water. However, there existed an extremely significant negative correlation between the root-top ratio and the soil water content. It was found that the 40% relative soil water content was the lower limit index for severe drought in the later growing stage of wheat.

Key words: Wheat; Root system; Soil water content; Water stress; Ecological and physiological effects