

水的淋洗而流失,在重庆常常见到受酸雨危害最严重的往往是山坡部位的森林,这可能与这些部位的土壤蓄水性差的事实有关。参见表 4。

2.5 铝对森林生态系统的危害

土壤活性铝对森林的危害决定于 Ca/Al 的摩尔浓度比例, Saigusa 等(1980)^[5], Kawai (1980)^[6]和 Ulrich(1981)^[7]指出,当土壤溶液中 Ca/Al 比接近于 1 以及土壤溶液中铝的浓度达到 1 mg/l 时,植物将产生受害反应。

表 5 模拟酸雨淋洗液中 Ca/Al 和 Al 浓度 (mg/l)

Table 5 The ratio of Ca/Al and Al content in the leached solution from soil

模拟酸雨 pH 值		6.12		4.45		3.49		2.67	
pH of simulated acid rain		6.12		4.45		3.49		2.67	
土壤层次	Soil layers (cm)	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40
土壤类型 1	Ca/Al	4.28	3.37	5.57	3.64	7.22	6.05	0.14	0.17
	Al(mg/l)	0.41	0.51	0.49	0.79	0.24	0.30	27.47	32.38
土壤类型 2	Ca/Al	2.31	1.52	2.79	3.14	4.79	4.85	0.22	0.48
	Al	2.17	1.49	2.13	1.28	1.03	0.96	38.51	36.42
土壤类型 3	Ca/Al		2.63	3.21	7.71	8.91	0.73	0.42	0.63
	Al		0.50	0.53	0.53	0.50	2.33	32.77	33.57
土壤类型 4	Ca/Al	14.47	15.41	17.44	17.92	17.35	9.15	0.52	0.48
	Al	0.20	0.18	0.28	0.25	0.17	0.31	31.53	31.39

普遍认为 Ca/Al 的摩尔浓度比小于 1 时,植物就有危险。表 5 中的数据表明,除土壤类型 2 以外, Ca/Al 比大于 1 时,溶液中 Al^{3+} 离子浓度就小于 1, 相反当 Ca/Al 比小于 1 时,溶液中 Al^{3+} 离子浓度就大于 1。而土壤类型 2 是马尾松林地,土壤酸度比较大,它不仅象前面所说的那样,淋洗液的 pH 值对模拟酸雨的酸度更加敏感,而且其铝的释放量也较其他土壤对酸雨酸度敏感些,各种模拟酸雨下,铝离子浓度普遍显著高于其他土壤类型。

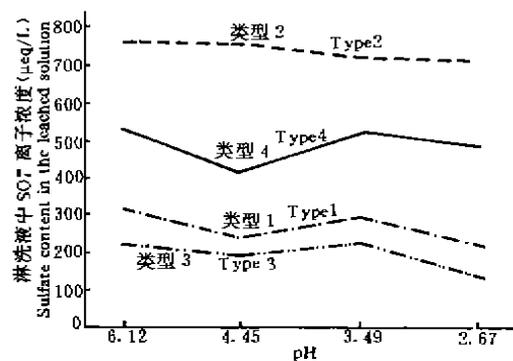


图 1 各土壤淋洗液中 SO_4^{2-} 离子浓度

Fig. 1 Sulphate content in the leached solution from soil

实际过程就是这样的:随着酸度高的降水的不断输入,土壤中释放的铝离子逐步增多,最终对植物产生毒害作用,而此时土壤溶液中其他各种离子的平衡失调又加剧了这种危害性。

2.6 硫酸根离子

SO_4^{2-} 离子几乎不受酸雨酸度的影响,各种土壤淋洗液中的 SO_4^{2-} 离子都分别处于同一个浓度水平,参见图 1。

3 结论

3.1 重庆南山几种主要土壤都有一定的抗酸化能力,表现在受到一定酸度的酸雨淋洗后,土壤溶液的 pH 值能相对稳定,但这种能力有一定的限度,酸度过强时,即受到破坏,这种危害主要发生在树干周围。

3.2 当土壤抗酸化作用被破坏后,伴随而来的是土壤溶液中 Al^{3+} 离子爆发式的增加,同

时其它一些养分离子如 Ca、Mg 的浓度也明显增多, Al^{3+} 离子的高浓度造成对树木根系的伤害, 与此相对, K、Na 离子较为稳定, 而 S_4^{2-} 离子几乎不受影响。

3.3 正因为土壤在受到强酸雨影响后, 其溶液中各种成分含量明显增高, 从而地形和部位的不同, 将造成酸雨危害的症状和严重性有差异。

参 考 文 献

- 1 冯宗炜等. 模拟酸雨对树木叶片的伤害和树木抗性的研究. 环境科学, 1988, 9(5): 30~33
- 2 邓仕坚, 陈楚莹等. 林冠及叶凋落物对模拟酸雨缓冲能力的初探. 环境科学, 1992, 13(3): 10~17
- 3 曹洪法等. 森林冠层对酸雨的反应及其影响. 中国环境科学, 1989, 9(2): 81~85
- 4 程伯容, 许广山等. 森林林冠对酸性降水化学组成的影响. 中国环境科学, 1989, 9(2): 155~157
- 5 Saigusa M *et al.* Plant root growth in acid andosols from Northeastern Japan, 2 Exchange acidity y_1 as a realistic measure of Aluminum toxicity potential. *Soil Sci.* 1980, 130(5): 242~250
- 6 Kawai K. The relationship of phosphorus adsorption to amorphous aluminum for characterizing andosols. *Soil Sci* 1980, 129(3): 186~190
- 7 Ulrich B *et al.* Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Sci.* 1981, 130: 193~199

258-364

5688(6)

第16卷第3期
1996年6月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 16, No. 3
Jun., 1996土壤水分和氮磷营养对冬小麦
根系生长及水分利用的调节

梁银丽

中国科学院
水利部 水土保持研究所, 陕西杨陵, 712100

A

摘要 模拟试验研究表明:在土壤相对含水量为40%~70%范围内,水分亏缺严重,根水势和蒸腾蒸发量显著降低,根系生长严重受阻,根长变短,根干重降低;随着土壤水分趋于良好,根水势和蒸腾蒸发量明显增加;根干重在土壤相对含水量为55%~62%之间时最大,而土壤相对含水量在55%上下时根长达最长;土壤水分趋于轻度干旱有利根系下扎,土壤水分趋于良好有利于根量增长。氮磷营养对小麦根系生长具有明显的调节作用,磷营养可显著提高根水势、根长度、根干重、蒸腾蒸发量和水分利用效率,在严重干旱条件下磷对根水势、根长、水分利用效率的调节效果更好。氮素营养对小麦根系生长的调节效果与磷相比有明显的差别。土壤严重干旱,氮营养引起根水势和蒸腾蒸发量的明显下降,为负效应;轻度干旱氮对根水势和蒸腾蒸发量无明显作用;在土壤水分良好条件下,氮对根水势和蒸腾蒸发量有显著的正向调节效果。随着土壤相对含水量的提高,增施氮磷肥可引起根干重的显著增加,小麦根长对氮的反应不敏感。在土壤水分亏缺条件下,磷营养对小麦根系生长的调节,主要是改变了根系的水分状况,提高了根水势,增加了根系对土壤水分的吸收及蒸腾蒸发量,进而促进地上地下部生长,提高小麦的抗旱性。

关键词: 根系, 土壤水分, 氮磷营养, 冬小麦。

生长, 水分利用

THE ADJUSTMENT OF SOIL WATER AND NITROGEN
PHOSPHORUS NUTRITION ON ROOT SYSTEM
GROWTH OF WHEAT AND WATER USE

Liang Yinli

State Key Laboratory of Soil Erosion & Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil
and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Conservancy, Yangling, Shanxi, China, 712100

Abstract The experiments were conducted under conditions of simulating field undisturbed soil with 8 replications. The contemporary wheat variety, Xiaoyan No. 6 was used. Results show that under soil relative water content (SRWC) as 40%~70%, as soil water stress developing, root system growth of wheat was limited, root water potential ($R\Psi_w$), evapotranspiration (ET), root length (RL) and root dry weight (RDW) were reduced obviously, as water content increasing, $R\Psi_w$ and ET increased obviously, but RL and RDW were curve

· 收稿日期: 1994 08 11, 修改稿收到日期: 1995 07 16。

distribution. The maximum could be reached for *RDW* when *SRWC* was 55%~62% and for *RL* when *SRWC* was 55%. It is benefit for root deep growth that when soil water tend to light drought, and for root quantity increasing when soil moisture tend to fine. Nitrogen phosphorus nutrition possess very fine adjustment action on root system growth of wheat. Phosphorus nutrition can remarkably raise *RΨw*, *RL*, *RDW*, *ET* and *WUE*, especially under conditions of serious water stress, the adjustment action is better for *RΨw*, *RL*, *WUE*. There are obvious differences between nitrogen and phosphorus adjustment action on root growth of wheat. Under serious water stress, nitrogen could lead to decreases in *RΨw* and *ET* showing negative action; nitrogen had no obvious action on *RΨw* and *ET* under light drought, but it had remarkable positive adjustment action on *RΨw* and *ET* when soil water was enough. It is of benefit to *RDW* to enhance application of nitrogen and phosphorus to soil as *SRWC* increasing. The response of *RL* to nitrgen was not sensitive. Under water stress condition, the adjustment of phosphorus on root system growth mainly was to change the water state in the root, to raises *RΨw* and *RDW*, to increase *ET*, and to promote root and shoot growth and development. It is proposed that the effect of phosphorus on strenghtening drought resistance should not be underestimated.

Key words: root system, soil water, nitrogen and phosphorus nutrition, winter wheat.

作为作物重要吸收器官的根系,其生长发育状况直接关系着地上部分的发育与产量形成。80年代以来,随着生产的发展和水平的提高,人们逐渐将研究工作转向根系,使孤立研究地上部生理机能转向根系和地上部相互作用的研究^[1~5]。马元喜^[1]研究了黄土、冲积土和盐碱土对小麦根系生长的影响,指出黄土区根系入土最深,有夹沙层的冲积土根系最浅。陈培元^[6]研究了西北黄土区小麦根系的生长特点。Atkinson^[7]对21种双子叶植物和24种单子叶植物的研究发现,所有植物在缺磷条件下根量均降低。

我国北方干旱半干旱气候的黄土高原地区,作物生长所需水分来源和产量的形成在很大程度上取决于作物对土壤深层水分扩大利用的可能性。如何根据土壤水分调节氮磷肥的使用,以促进小麦根苗协调生长,提高水分利用效率,目前尚缺乏研究报道。本研究旨在探讨不同土壤水分和氮磷营养水平对小麦根系生长及水分利用效率的影响;不同水分亏缺程度下氮磷肥的适宜用量;促进根系生长提高水分利用效率的有效方法,为促进作物根苗协调生长和生产潜力开发提供科学依据。

1 材料与方法

试验研究于1991~1993年在中国科学院,水利部水土保持研究所进行。该所位于黄土高原南部平原地区,属于半湿润易旱地区,土壤以垆土为主。试验采用2因素2次饱和D优化设计。试验1设计因素为土壤相对含水量(*SRWC*)和氮营养(N),试验2设计因素为土壤相对含水量(*SRWC*)和磷营养(P₂O₅)。氮、磷水平上限各为180 kg/hm²,下限为0,零水平90 kg/hm²。*SRWC*上限为70%,下限40%,零水平55%。

将试验地0~50 cm原状土壤(垆土,最大持水量为32%)切割装入特制木盒(20 cm×6 cm×50 cm)中。土壤养分状况为:全氮0.074%,速效磷7.86 mg/kg,有机质0.883%。不

同设计水平的氮(N)、磷肥(P_2O_5)分别于装盒前一次施入土中。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,每盒2株,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5d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^[3]测定根系水势;用植株干物重与耗水量计算水分利用率。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。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亏缺;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;或两者兼而有之时,作物根系和苗系的生长以及产量就会受到很大限制。

2.1 土壤水分和氮、磷营养对小麦根干重(RDW)和根长度(RL)的影响

土壤水分对小麦根系生长具有明显影响。在严重缺水条件下(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,可显著促进根系生长,增加根干重,而在SRWC为55%~66%时RDW最大,以后随SRWC的提高,RDW显著降低。

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%),磷的增效作用显著,但从绝对量而言,水分条件改善,磷的效应增大(表1)。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90 kg/hm²时,SRWC在58%时根量最大;当磷用量达180 kg/hm²的情况下,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。

表1 SRWC与N、 P_2O_5 水平对小麦根干重(RDW)的影响(mg)

Table 1 Effects of SRWC and N, P_2O_5 level on root dryweight of wheat seedling

P_2O_5 (kg/hm ²)	相对含水量 SRWC (%)					N(kg/hm ²)	相对含水量 SRWC (%)				
	Level	40	53	55	63		70	Level	40	53	55
0	109	228	233	206	85	0	131	206	202	188	179
90	157	232	245	246	157	90	149	226	220	201	185
180	105	380	401	428	373	180	145	263	260	253	251

氮营养对小麦根系生长也具有明显的调节作用。增施氮肥也可加速根系生长,提高根干重,但其效果不及磷营养显著。不同水分条件下氮营养促进小麦根系生长的适宜用量差异较大。SRWC在40%~45%时不用氮肥;土壤轻度干旱(SRWC为55%)施氮90 kg/hm²;SRWC达60%上下时施氮180 kg/hm²,小麦根干重可达相应水分条件下的最高值。

即土壤水分严重亏缺不使用氮肥; 土壤水分状况良好增加氮肥施用量, 对小麦 RDW 的提高比较有利。

小麦根长(RL)对土壤水分的反应较为敏感。土壤严重干旱($SRWC40\%$), 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; 随 $SRWC$ 的进一步递增, 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 0 kg/hm^2 , $SRWC60\%$; P_2O_5 90 kg/hm^2 , $SRWC58\%$; P_2O_5 180 kg/hm^2 , $SRWC56\%$, 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。小麦 RL 对氮素营养的反应不太敏感。土壤严重缺水($SRWC$ 为 40%)施氮 36 kg/hm^2 ; $SRWC$ 为 55% 时施氮 30 kg/hm^2 ; $SRWC70\%$ 情况下施氮 15 kg/hm^2 , 对促进根系延伸生长的作用较好。这说明随着土壤水分的提高, 氮肥对小麦根长的作用逐渐削减。

2.2 土壤水分与氮、磷营养对小麦根水势($R\Psi_w$)的调节作用

图 1 表明, 土壤水分含量的高低直接影响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($R\Psi_w$)之间的相关性极显著($r^2=0.929\sim0.998^{**}$)。

磷营养对小麦 $R\Psi_w$ 的影响极为显著。 $SRWC$ 在 $40\%\sim70\%$ 范围内, 磷对根系水分状况的改善, 对 $R\Psi_w$ 的提高均有良好的作用; 而在土壤严重水分亏缺条件下增施磷肥, 对 $R\Psi_w$ 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 $R\Psi_w$ 的效应相对较大; 随着磷营养水平的提高, 土壤水分对 $R\Psi_w$ 的作用相对降低。统计分析结果表明, 磷营养水平与根水势($R\Psi_w$)之间的相关性达极显著水平($r^2=0.986\sim0.997^{**}$)。

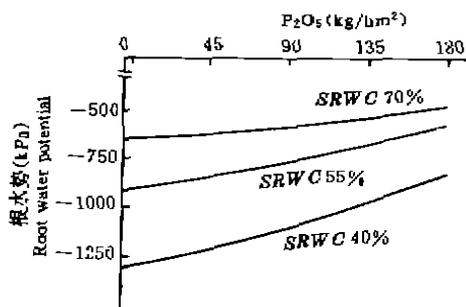


图 1 $SRWC$ 和 P_2O_5 对根水势($R\Psi_w$)的影响
Fig. 1 Effects of $SRWC$ and P nutrition on $R\Psi_w$ of wheat seedling

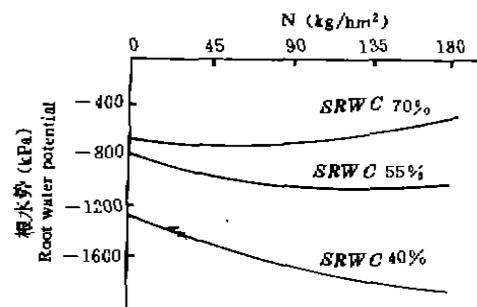


图 2 $SRWC$ 和 N 对根水势($R\Psi_w$)的影响
Fig. 2 Effects of $SRWC$ and N nutrition on $R\Psi_w$ of wheat seedling

氮营养对小麦 $R\Psi_w$ 的作用也极为显著, 但其效应要比磷营养复杂。在土壤严重缺水

条件下增施氮肥,加速土壤水分环境恶化,极显著地降低了 $R\Psi_w$;在 $SRWC$ 为55%时,氮可引起 $R\Psi_w$ 的缓慢下降;而在 $SRWC$ 为70%条件下,氮营养对根水势($R\Psi_w$)的提高有良好的作用。即土壤严重缺水时施氮明显降低小麦 $R\Psi_w$,表现为负效应;土壤中度干旱时施氮对 $R\Psi_w$ 的改变无明显效果;土壤供水良好时施氮显著提高 $R\Psi_w$,为明显的正效应。

总之,土壤水分和氮、磷营养对 $R\Psi_w$ 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。氮对 $R\Psi_w$ 的效应要比磷营养复杂。土壤严重缺水,氮营养明显降低 $R\Psi_w$,为负效应;中度干旱时氮对 $R\Psi_w$ 无明显效果;土壤供水良好时氮营养显著提高 $R\Psi_w$,为明显的正向效应。

2.3 土壤水分和氮磷营养对蒸发蒸腾(ET)的影响

不同土壤水分条件下蒸发蒸腾量(ET)如表2所示。从中可以看出,土壤含水量的高低决定 ET 量的多少,随着 $SRWC$ 的提高, ET 量不断增加。

磷对 ET 有明显的调节作用,而效应大小因土壤水分有较大差异。在 $SRWC$ 为40%时,施磷90 kg/hm²以内表现为增效作用,超过90 kg/hm²作用下降; $SRWC$ 达55%以后,施磷147 kg/hm²时蒸发蒸腾(ET)量最高;而在 $SRWC$ 达70%以后,随着磷用量的增加, ET 一直呈上升趋势。

小麦植株的 ET 对氮营养的反应也极其灵敏。在土壤严重缺水($SRWC$ 为40%)情况下,随着氮水平的提高, ET 迅速降低,表现为明显的负效应; $SRWC$ 在55%时,氮水平的提高可引起 ET 的缓慢下降;当 $SRWC$ 在57%~60%时,氮营养对 ET 无明显的调节作用; $SRWC$ 超过60%后,随着氮用量的增加, ET 一直呈明显的上升趋势。

表2 水分亏缺与N、P₂O₅水平对小麦蒸发蒸腾(ET)的影响(mL)

Table 2 Effects of $SRWC$ and N, P₂O₅ level on evapotranspiration (ET) of wheat seedling

相对含水量 $SRWC$ (%)	P ₂ O ₅ Level (kg/hm ²)					N Level (kg/hm ²)				
	0	75	90	125	180	0	75	90	125	180
40	411	576	700	679	651	711	606	581	506	491
55	1368	2111	2210	2316	2314	738	732	728	707	662
70	1289	2369	2484	2786	2941	715	833	845	878	905

2.4 土壤水分和氮、磷营养对小麦水分利用效率(WUE)的影响

小麦幼苗的 WUE 因土壤水分和氮、磷水平的不同差异显著,改变氮、磷施用量或土壤水分含量均可引起 WUE 的变化。表现为:氮、磷用量提高, WUE 提高。磷营养与土壤水分的不同组合,效应表现不一。在无磷肥情况下,且 $SRWC$ 在40%~53%的范围内, $SRWC$ 提高, WUE 提高; $SRWC$ 超过55%, $SRWC$ 提高, WUE 降低;在增施磷肥条件下, $SRWC$ 提高, WUE 下降。磷肥的效应表现为: $SRWC$ 在40%~58%范围内,磷用量增加, WUE 提高,且随着土壤干旱程度加重,磷的施用效果越好。对 WUE 的提高而言,氮营养与土壤水分的适宜组合为:N 0 kg/hm², $SRWC$ 63%; N 90 kg/hm², $SRWC$ 55%; N 180 kg/hm², $SRWC$ 50%。表明土壤较为干旱条件下适当增施氮肥;水分条件较好时适当少

氮肥, 对小麦 WUE 的提高较有利(表 3)。

表 3 $SRWC$ 与 N, P_2O_5 水平对小麦 WUE 的效应 (mg/ml)

Table 3 Effects of $SRWC$ and N, P_2O_5 level on water use efficiency (WUE) of wheat seedling

P_2O_5 Level (kg/hm^2)	$SRWC$ (%)					N Level (kg/hm^2)		$SRWC$ (%)				
	40	53	55	53	70	40	53	55	63	70		
0	1.09	1.13	1.12	1.03	0.83	0	0.96	1.15	1.17	1.32	1.32	
90	2.34	2.12	2.06	1.83	1.46	90	1.59	1.71	1.73	1.73	1.67	
180	2.83	2.34	2.24	1.87	1.33	180	2.09	2.15	2.15	2.11	2.01	

3 讨论

土壤水分亏缺, 首先影响了根系对水分的吸收, 从而减少了对地上部的营养物质供应, 使地上部生长受到抑制。土壤缺氮缺磷, 根系吸收的氮磷营养减少, 供给地上部的氮磷量会显著降低, 也会影响地上部的正常生长。统计分析结果表明, 小麦根系与苗系生长关系极为紧密($r=0.8997^{**}$, $n=15$), 说明促进根系生长的同时, 也在很大程度上促进了苗系的生长发育。

本研究结果表明, 土壤水分亏缺严重, 根水势和蒸腾蒸发量显著降低, 根系生长严重受阻, 根长变短, 根干重降低; 随着土壤水分趋于良好, 根水势和蒸腾蒸发量明显增加, 根干重在土壤相对含水量为 55%~62% 之间时最大, 而土壤相对含水量在 55% 上下时根长达最长。氮磷营养对小麦根系生长具有明显的调节作用。增施磷肥可显著提高根水势、蒸腾蒸发量、根长度、根干重和水分利用效率, 在干旱较为严重条件下施磷对根水势、根长度和水分利用效率的调节效果更好。氮素营养对小麦根系生长的调节效果与磷相比具有明显的差别。在土壤严重干旱条件下, 氮营养引起根水势和蒸腾蒸发量的明显下降, 为负效应; 轻度干旱氮对根水势和蒸腾蒸发量无明显作用; 在土壤水分良好条件下, 氮对根水势和蒸腾蒸发量具有显著的正向调节效果。随着土壤相对含水量的提高, 增施氮肥可引起根干重的显著增加; 小麦根长对氮的反应不敏感。

在我国北方旱农地区, 生产实践中通过调节氮磷肥而达到增产增收之目的实例屡见不鲜。汤章斌认为, 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, 这是植物对干旱环境的一种适应性变化。

从上述分析结果可知, 氮磷营养对小麦幼苗体内的水分状况具有明显的调节作用, 在干旱条件下磷的调节作用更加重要。分析其原因, 主要是在干旱条件下增施磷肥, 改善了植物磷素营养状况和植物细胞原生质的胶体化学性质, 促进了水分吸收, 使抗旱性增强, 进而促进根系生长^[3]。所以, 在旱地农业生产中, 绝不可以忽视对磷营养的使用。

在旱农地区, 农业生产上的许多问题都是围绕着如何充分地利用有限降水, 使其被作物根系充分吸收并被作物有效利用, 以生产量多质优的农产品。根系和苗系的健壮生长都有利于 WUE 的提高。本研究结果表明, RDW 和 WUE 之间的关系极为紧密($r=0.7168$, $n=15$), 苗系的生长与 WUE 关系也达到显著水平($r=0.6926$, $n=15$), 说明促根和促苗都有助于 WUE 的提高。由于根苗生长本身具有很好的相互依赖性, 所以建立强大的根系就为苗系的健壮生长和 WUE 的提高奠定了良好的基础。

需要特别说明的是, 虽然本试验是在模拟条件下进行的根系研究, 但其结果与在大田

条件下进行的生理研究以及产量效应研究结果基本一致,故结果的合理性与实践中的可行性是无疑的。当然,本文是在相同条件下进行的两个独立试验基础上研究总结出的结果,有关不同水分条件下氮磷营养的互作效应将有待进一步进行研究。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 陈彩虹. 栽培因子与作物根系. 耕作与栽培, 1989, (1): 54~56
- 3 张力君、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
- 4 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
- 5 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
- 6 陈培元. 冬小麦根系的研究. 陕西农业科学, 1980, (6): 1~6
- 7 Atkinsin B K. Effect of phosphorus supply to soil on root growth of difference plants. *Soil science*, 1989, 148(4), 293~302
- 8 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