

土壤水分和氮磷营养对冬小麦根苗生长的效应^{*}

梁银丽 陈培元

(中国科学院水利部西北水土保持研究所
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨陵, 712100)

提 要 在模拟田间原状土容重的条件下土培, 研究了土壤水分和氮磷营养对小麦根苗生长及水分利用的效应。结果表明: 在 SRWC 为 40%~70% 范围内, 土壤水分亏缺严重, $R\Psi_w$ 和 ET 显著降低, 根苗生长严重受阻, RL 变短, RDW 降低, LA 和 PDW 减少; 随着土壤水分趋于良好, $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 明显增加, RDW 和 PDW 在 SRWC 为 55%~62% 之间时最大, 而 SRWC 在 55% 上下时 RL 达最长; 土壤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。磷营养可显著提高 $R\Psi_w$ 、RL、RDW、ET、LA、PDW 和 WUE, 在严重干旱条件下磷对 $R\Psi_w$ 、RL、WUE 的调节效果更好。氮素营养对小麦根苗生长的效果与磷相比有明显差别。土壤严重干旱, 氮营养引起 $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 的明显下降, 为负效应; 轻度干旱氮对 $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 无明显作用; 在土壤水分良好条件下, 氮对 $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 具有显著的正向调节效果。随着 SRWC 的提高, 增施氮磷肥可引起 RDW 和 PDW 的显著增加。磷除作为营养物质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更为重要。在旱地农业生产中, 不可忽视对磷营养的使用。

关键词 根苗; 土壤水分; 氮磷营养; 小麦

作物根系的生长发育状况直接关系到地上部分的建成与产量形成。80 年代以来, 人们逐渐将研究工作从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, 2, 4, 5, 9, 11]。马元喜(1987)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(1980)研究了西北黄土区小麦根系的生长特点。Atkinson(1989)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。

在我国北方干旱半干旱气候的黄土高原地区, 作物生长所需水分和产量形成在很大程度上取决于作物对土壤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苗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; 促进根苗生长和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。

^{*} 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1994-08-19, 终审完毕日期: 1995-04-28

1 材料与方 法

两项试验均于 1991~1993 年在西北水保所进行。模拟田间原状土容重。采用 2 因素 2 次饱和 D 优化设计。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(P_2O_5)。氮、磷水平上限各为 180 kg/ha, 下限为 0, 零水平 90 kg/ha, SRWC 上限为 70%, 下限 40%, 零水平 55%。试验设计如表 1。

表 1 试验因素和水平编码及用量
Table 1 Coding and quantity of factors and levels

处理编号 Treat. No.	编码水平 Coding level		试验 1 用量 Exp. 1 quantity		试验 2 用量 Exp. 2 quantity	
	X_1 (N or P_2O_5)	X_2 (SRWC)	N(kg/ha)	SRWC(%)	P_2O_5 (kg/ha)	SRWC(%)
1	-1	-1	0.0	40	0.0	40
2	1	-1	180.0	40	180.0	40
3	-1	1	0.0	70	0.0	70
4	-0.1315	-0.1315	78.2	53	78.2	53
5	1	0.3944	180.0	63	180.0	63
6	0.3944	1	125.6	70	125.6	70

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(20×6×50 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(预备试验结果证明与田间自然状态无显著差异, 并不影响试验结果), 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^[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

2.1 土壤水分和氮、磷营养对小麦根系干物重(RDW)和根长度(RL)的影响

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, 可极显著地促进根系生长, 增加根系干重, 在 SRWC 为 55%~60%时 RDW 最大, 以后随着 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, 但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。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 2)。在不施磷肥条件下, SRWC 维持在 55%可获得低水平的最大根量; 在磷用量达 90 kg/ha 时, SRWC 在 58%时根量最大; 当磷用量达 180 kg/ha 的情况下, SRWC 在 61%可获得高水平上的最大根量。所以, 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2 SRWC与N、P₂O₅水平对小麦根干重(RDW)的影响(单位:毫克)
Table 2 Effects of SRWC and N, P₂O₅ level on root dryweight of wheat seedling (unit: mg)

P ₂ O ₅ Level	相对含水量 SRWC(%)					N Level	相对含水量 SRWC(%)				
	40	53	55	63	70		40	53	55	63	70
0 (kg/ha)	9	228	233	206	85	0 (kg/ha)	131	206	202	188	179
90 (kg/ha)	57	232	245	246	157	90 (kg/ha)	149	226	220	201	185
180 (kg/ha)	105	380	401	428	373	180 (kg/ha)	145	263	260	253	251

氮营养对小麦根系的生长也具有明显的调节作用,但其效果不及磷营养显著。SRWC在40%~45%时不施用氮肥;SRWC为55%~70%时施氮180 kg/ha,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(表2)。

小麦根长度(RL)对土壤水分的反应较为敏感。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;随着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:P₂O₅0 kg/ha SRWC 60%;P₂O₅90 kg/ha SRWC 58%;P₂O₅180 kg/ha SRWC 56%,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/ha;SRWC为55%时施氮30 kg/ha;SRWC 70%情况下施氮15 kg/ha;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(RΨ_w)的调节作用

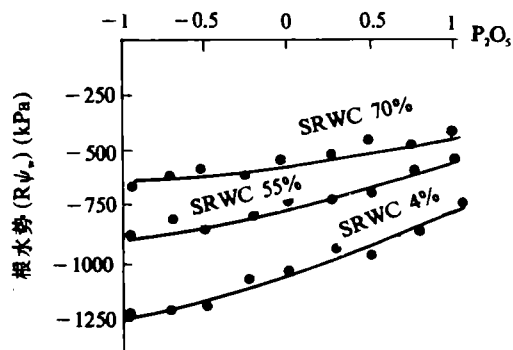
图1表明,土壤水分含量的高低直接影响着根系内部的水分状况。土壤干旱严重,根系内部的水势显著降低;土壤含水量提高,根水势显著提高。统计分析结果表明,土壤相对含水量(SRWC)与根水势(RΨ_w)之间的相关性极显著($r^2=0.929-0.998^{**}$)。

磷营养对小麦RΨ_w的作用也极为显著(图1)。SRWC在40%~70%范围内,磷对根系水分状况的改善,对RΨ_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RΨ_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RΨ_w的效应相对较大;随着磷营养水平的提高,土壤水分对RΨ_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(RΨ_w)之间的相关性均达极显著水平($r^2=0.986-0.997^{**}$)。

氮营养对小麦RΨ_w的作用也极为显著,但其效应要比磷营养复杂(图2)。在土壤严重缺水条件下增施氮肥,极显著地降低了RΨ_w;在SRWC为55%时,氮可引起RΨ_w的缓慢下降;而在SRWC为70%条件下,氮营养对根水势(RΨ_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RΨ_w,表现为负效应;土壤中度干旱时,施氮对RΨ_w的改变无明显效果;土壤供水良好时,施氮显著提高RΨ_w,为明显的正效应。

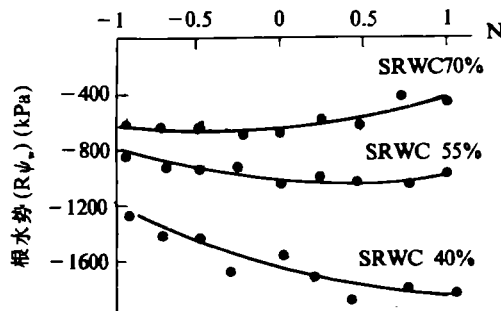
2.3 对蒸发蒸腾(ET)的效应

不同土壤水分条件下的蒸发蒸腾(ET)量如表3所示。从中可以看出,随着SRWC的提高,ET量不断增加。



SRWC 40% $Y = -1058 + 231x_1 + 13x_1^2$ $r = 0.996^{**}$
 SRWC 56% $Y = -750 + 160x_1 + 13x_1^2$ $r = 0.997^{**}$
 SRWC 70% $Y = -578 + 89x_1 + 13x_1^2$ $r = 0.986^{**}$

图1 SRWC 和 P₂O₅ 对根水势(RΨ_w)的影响
 Fig. 1 Effects of SRWC and P nutrition on RΨ_w of wheat seedling



SRWC 40% $Y = -1650 - 300x_1 + 100x_1^2$ $r = 0.957^{**}$
 SRWC 55% $Y = -1000 - 100x_1 + 100x_1^2$ $r = 0.996^{**}$
 SRWC 70% $Y = -650 + 100x_1 + 100x_1^2$ $r = 0.996^{**}$

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

磷对 ET 有明显的调节作用。在 SRWC 为 40% 时，施磷 90 kg/ha 以内表现为增效作用，超过 90 kg/ha 作用下降；SRWC 达 55% 以后，施磷 147 kg/ha 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3 水分亏缺与 N、P₂O₅ 水平对小麦蒸发蒸腾(ET)的影响
 Table 3 Effects of SRWC and N, P₂O₅ level on evapo-transpiration of wheat seedling (unit: ml)

相对含水量 SRWC	P ₂ O ₅ level (kg/ha)					N level (kg/ha)				
	0	78.2	90	125	180	0	78.2	90	125	180
40%	411	878	900	879	651	711	600	581	506	401
55%	1368	2141	2210	2348	2314	738	732	728	707	668
70%	1289	2369	2484	2780	2941	735	833	845	878	905

2.4 土壤水分和氮、磷营养对小麦叶面积(LA)、植株干物重(PDW)和水分利用率(WUE)的影响

在 SRWC 为 40%~70% 范围内，随着水分条件的改善，LA 均急剧增加。磷营养对 LA 的作用呈抛物线型。随着其用量的增加，小麦 LA 明显增大，当用量达一定程度时再增施磷肥，LA 就会显著降低。不同土壤水分条件下 LA 达最大值时磷的用量差异较大。严重水分胁迫(SRWC 40%)时施磷 96 kg/ha；SRWC 55% 时施磷 126 kg/ha；SRWC 70% 时施磷 158 kg/ha，LA 均可达相应水分条件下的最大值。说明随着土壤水分含量的提高，适当增施磷肥对 LA 的增长有促进作用。氮营养对小麦 LA 的效应表现为：在严重水分胁迫条件下，小麦 LA

表4 SRWC与N、P₂O₅水平对小麦PDW的效应
Table 4 Effects of SRWC and N, P₂O₅ level on plant dryweight of wheat seedling (unit: mg)

相对含水量 SRWC	P ₂ O ₅ level (kg/ha)					N level (kg/ha)				
	0	78.2	90	125	180	0	78.2	90	125	180
40%	66	244	256	269	224	85	104	106	109	104
55%	275	528	552	604	607	112	153	158	172	165
70%	78	407	442	533	584	109	172	180	205	229

随施氮水平的提高而下降；轻度缺水(SRWC为55%)，施氮量的提高有助于LA的增长；在供水良好条件下(SRWC为70%)，随着氮素水平的提高，LA明显提高，而在氮肥水平达126 kg/ha以后，叶面积的增长较为缓慢。当SRWC达46.5%时，施用氮肥对LA的增减无效，高于此值时，施氮对LA有增效作用，SRWC低于46.5%表现为负向效应，即在本试验条件下，对小麦叶面积而言，氮肥施用的土壤水分有效性界限为46.5%。磷营养对植株干物重(PDW)的影响呈抛物线形。SRWC在一定范围内，随着磷用量的增加，PDW呈增加趋势；当SRWC超过一定限度时，PDW便趋于降低。就提高PDW而言，水分条件与磷的适宜用量为：P₂O₅ 0 kg/ha，SRWC 56%；P₂O₅ 90 kg/ha，SRWC 59%；P₂O₅ 180 kg/ha，SRWC 62%。表明水分条件差时少施磷肥；水分条件好时多施磷肥，对增加PDW效果较好(表4)。氮营养对PDW的作用明显受土壤水分条件的制约，严重干旱时氮营养对PDW的调节效果不显著；土壤含水量提高，氮营养的作用加强；当SRWC在70%时氮的调节作用更大。在不同土壤水分条件下，PDW达到较大值时氮营养的适宜用量分别为：SRWC 40%，N 0 kg/ha；SRWC 55%，N 125 kg/ha；SRWC 70%，N 180 kg/ha，说明水分亏缺严重时不施氮肥；随着土壤水分条件改善增施氮肥，可显著增加小麦PDW(表4)。

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。总的表现为：SRWC提高，WUE降低；氮、磷用量提高，WUE提高。磷营养与土壤水分不同组合，效应表现不一。在无磷且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/ha，SRWC 63%；N 90 kg/ha，SRWC 55%；N 180 kg/ha，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施氮肥，对小麦WUE的提高较有利(表5)。

表5 SRWC与N、P₂O₅水平对小麦WUE的效应
Table 5 Effects of SRWC and N, P₂O₅ level on Water use efficiency (WUE) of wheat seedling (unit: mg)

P ₂ O ₅ level (kg/ha)	SRWC (%)					N level (kg/ha)	SRWC (%)				
	40	53	55	63	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

作物的根和苗的生长密切联系。土壤水分亏缺，影响了根系对水分的吸收，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, 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, 相关系数 $r=0.8997^{**}$, $n=15$, 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。因此, 健壮根系对苗的生长十分重要。

本研究表明, 土壤水分亏缺严重, $R\Psi_w$ 和 ET 显著降低, 根苗生长严重受阻, RL 变短, RDW 降低, LA 和 PDW 减少; 随着土壤水分趋于良好, $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 明显增加, RDW 和 PDW 在 SRWC 为 55%~62% 之间时最大, 而 SRWC 在 55% 上下时 RL 达最长; SRWC 提高, WUE 下降。增施磷肥可显著提高 $R\Psi_w$, RL, RDW, ET, LA, PDW 和 WUE, 在干旱较为严重条件下施磷对 $R\Psi_w$, RL, WUE 的调节效果更好。氮素营养对小麦根苗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 $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 的明显下降, 为负效应; 轻度干旱氮对 $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 无明显作用; 在土壤水分良好条件下, 氮对 $R\Psi_w$ 、ET 和 LA 具有显著的正向调节效果。随着 SRWC 的提高, 增施氮肥可引起 RDW 和 PDW 的显著增加; RL 对氮的反应不敏感。

上述结果表明, 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。所以, 在旱地农业生产中, 绝不可以忽视对磷的施用。

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 与 WUE 之间的关系极为紧密 ($r=0.7186$, $n=15$), 苗系的生长与 WUE 的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。

参 考 文 献

- 1 马元喜, 1987, 作物学报, 13(1), 37~44。
- 2 陈彩虹, 1989, 耕作与栽培, 1, 54~56。
- 3 张力君、曹成自, 1991, 植物生理学通讯, 27(5), 379~380。
- 4 苗果园, 1989, 作物学报, 15(2), 104~115。
- 5 陈培元, 1980, 陕西农业科学, (6), 1~6。
- 6 汤章城, 1983, 植物生理学通讯, (4), 1~7。
- 7 凌启鸿, 1984, 中国农业科学, (5), 3~10。
- 8 山仑, 1988, 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 8, 1~9。
- 9 梁银丽、陈培元, 1994, 西北植物学报, 14(5), 56~60。
- 10 Retty Klepper, R. K. Belford, and R. W. Rickman, 1984, *Agronomy Journal*, 76(1), 117~122.
- 11 Narayan, D. and R. D. Misra, 1989, *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 59(9), 595~598.
- 12 Meyer, W. S. and C. S. Tan. 1990, *Aust. J. Agric. Res.* 41, 253~265.
- 13 Richards, A. R. and J. B. Passioura, 1981, *Crop Science*, 21(2), 249~255.

Effects of Soil Water, Nitrogen and Phosphorus Supplied on Root and Seedling Growth of Wheat

Liang Yinli Chen Peiyuan

(State Key Laboratory of Soil Erosion & Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Conservancy, Yangling Shaanxi 712100)

Abstract 2 pot experiments each with 6 treatments and 8 replications were conducted in order to study the effects of soil moisture, nitrogen and phosphorus supplied on root and seedling growth of wheat. A wheat cultivar Xiaoyan 6 was used. Results showed that under soil relative water content (SRWC) 40%~70%, as SRWC decreasing, root and seedling growth of wheat are inhibited, root water potential ($R\Psi_w$), leaf area (LA), evapo-transpiration (ET), root length (RL), root dry weight (RDW) and plant dry weight (PDW) are obviously declining. SRWC increases, $R\Psi_w$ LA and ET increase obviously, but RL, RDW and PDW is a curve response, the maximum can be reached when SRWC is 55%~62% for RDW and PDW, and 55% for RL, respectively. Nitrogen and phosphorus supplied have very fine adjustment effect on root and seedling growth of wheat. Phosphorus can remarkably raise $R\Psi_w$, RL, RDW, ET, LA, PDW and WUE, especially under the condition of serious water stress. The effect of nitrogen is different from that of phosphorus. Under serious water stress with nitrogen supplied, $R\Psi_w$, ET and LA decrease, showing negative action; but no obvious action under light drought, and positive action under soil water enough. It is of benefit to RDW and PDW to enhance application of nitrogen and phosphorus as SRWC increasing. Phosphorus supplied can strengthen drought-resistance of wheat seedling, therefore, it must be taken into account in upland field.

Key words Root and seedling; Soil water; Nitrogen and phosphorus nutrition; Wheat