

两种水氮管理系统对冬小麦根系的影响

范仲学¹, 王 璞¹, 梁振兴¹, W Claupain², M Boening-Zilkens²

(1 中国农业大学, 北京 100094; 2 Hohenheim University of Germany)

摘要: 试验于 1999~ 2000 年在中德合作项目北京试验基地进行。优化水氮系统全生育期喷灌 7 次共 318 mm, 追肥 2 次共 60 kg/hm² (纯氮); 传统水氮系统全生育期畦灌 4 次共 329 mm, 基追肥各 1 次共 300 kg/hm²。试验结果表明, 优化水氮系统较传统水氮系统小麦根系大, 开花期综合根系年龄(IRSA)小, 根系在 30~ 60 cm 土层中分布较多; 氮肥利用效率提高了 4 倍, 但二者的产量和水分利用效率差异不大。

关键词: 水氮管理系统; 冬小麦; 根系

中图分类号: S512.110 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2000) 增刊- 0055- 05

根系吸收小麦生长发育所需要的水分、矿物质和其他一些必需物质, 是茎叶生长和产量形成的基础。要科学地理解作物生产, 就必须全面的认识作物根系的生长发育、根系分布、不同生育时期根系吸收水分和养分的活性以及不同环境下根系的变化^[1]。影响小麦根系的因素很多, 前人从基因型^[2,3]、土壤类型^[4]、耕作措施^[5~ 7], 特别从水、氮农艺措施方面进行了卓有成效的研究, 取得了许多有价值的阶段性成果。

研究表明, 土壤水分占最大持水量的 70% 左右最有利于小麦根系生长, 40% 的土壤相对含水量是小麦生育后期干旱的极限指标^[8,9]; 当土壤干旱时, 灌溉不仅能促进小麦根系前期的生长, 影响根系的垂直分布, 而且可以延缓其后期的衰亡, 提高粒重^[10,11]。另外, 不同灌水深度对小麦根系的分布影响较大, 但对其入土深度影响较小^[12]。

适量底施氮肥促进小麦总根量的增加, 但深层根量相对减少^[13], 施氮量过多, 容易导致根功能的下降^[14]。不同时期追施氮肥不仅影响次生根数、根干重, 还影响根系的分布^[10~ 11, 15], 追施氮肥并灌水的时期对根系活力的影响具有近期效应和一定的效应期。综上所述, 前人多从单因素出发探讨其对小麦根系的影响, 少数从水氮二因素并用出发, 但探讨的是某一施用时期的效应, 至今未见从水氮完整的管理系统出发对小麦根系研究的报道。小麦生产是一个系统工程, 水氮互作也是公认的事实, 探讨大田生产条件下, 两种水氮管理系统对小麦根系的综合影响更具有实际意义。

1 材料和方法

试验于 1999~ 2000 年在中国农业大学中德合作项目北京试验基地进行。供试小麦品种为京冬 8 号, 1999 年 10 月 13 日播种, 行距 15 cm, 基本苗 4.2×10^6 株/hm², 2000 年 6

收稿日期: 2000- 08- 20

基金项目: 中德合作项目 A2 子项目部分内容

作者简介: 范仲学(1968-), 男, 农学博士, 主要从事作物高产生理及应用研究工作。

月 18 日收获。土壤为潮土，有机质为 20.5 g/ kg，全氮、全磷和全钾分别为 1.14，1.06 和 18.09 g/ kg，速效磷、钾分别为 53.67 和 162 mg/ kg，0~ 30 cm，30~ 60 cm 和 60~ 90 cm 土壤的 N_{min} 分别为 35，32 和 33 kg/ hm^2 。试验设传统(C)和优化(O)两个水氮管理系统，前者按照农民习惯采用畦灌，后者以小麦需水为原则采用喷灌，详细情况如表 1。小区面积 15 × 20 m^2 ，其周围 15 m 为水隔离区，随机排列，4 次重复。

表 1 传统及优化水氮系统的具体运筹参数

传 统 水 氮 系 统		优 化 水 氮 系 统	
日 期	施肥或灌溉量	日 期	施肥或灌溉量
1999- 10- 09	100 kg/ hm^2 (N)	2000- 03- 16	14 kg/ hm^2 (N)
2000- 04- 15	200 kg/ hm^2 (N)	2000- 04- 26	46 kg/ hm^2 (N)
1999- 11- 23	50mm	1999- 11- 23	50mm
2000- 03- 21	95mm	2000- 03- 25	73mm
2000- 04- 20	99mm	2000- 04- 12	57mm
2000- 05- 11	86mm	2000- 04- 27	10mm
		2000- 05- 04	42mm
		2000- 05- 15	47mm
		2000- 05- 28	40mm

全生育期用 TDR 检测土壤水分变化动态(每 4 d 观测 1 次)。用直径 8 cm，长 15 cm 的荷兰进口根钻在小麦行中间取根系。每小区随机取 5 钻，每处理共 20 钻，取样深度随生育期而变化，最深取至 120 cm。取回的根系样品清水浸泡 12 h 后，用网孔直径 0.5 mm 的土壤筛人工冲洗，并用镊子将活根挑出。根长的测定采用 Tennant^[16]介绍的方法。根系在 80 ℃下烘干，用万分之一电子天平称重。综合根系年龄(IRSA)按 Gao^[17]介绍的方法计算。

2 结果与分析

2.1 不同水氮系统小麦根系生长及水氮利用效率比较

小麦根系与地上部一样，随生育期向前推进而不断生长。从表 2 可以看出，从返青到开花根系长度增长了大约 9 倍，根系干重则增长了约 5 倍，说明根系长度的增长比根系干重的增长快，换言之，后长出的根比先长的根细。优化水氮系统小麦根系比传统水氮系统的根系大，这一方面表现在根系长度上，另一方面也表现在根系干重上，而且，返青、拔节和开花 3 个生育期趋势一致。综合根系年龄是近年来发展形成的一个反映根系生理功能的新指标，优化水氮系统小麦开花期的综合根系年龄比传统水氮系统同期的同一指标小，其吸收水分和养分的能力比后者强。

表 2 不同水氮系统小麦根系生长及水氮利用效率

水氮系统	根系参数	返青期	拔节期	开花期	产量 (kg/ hm^2)	水利用效率 (kg/ (mm · hm^2))	氮肥利用效率 (kg/ (kg · hm^2))
传统	根长(km/ m^2)	0.62	3.48	6.60	5 838	17.74	19.46
	根重(g/ m^2)	7.58	39.63	46.56			
	IRSA(d)	77.00	30.28	45.36			
优化	根长(km/ m^2)	0.88	3.67	8.70	5 766	18.13	96.10
	根重(g/ m^2)	11.05	43.79	61.80			
	IRSA(d)	77.00	36.30	43.17			

优化水氮系统小麦产量和水分利用效率与传统水氮系统相比，均无明显差异，只是大幅度提高了氮肥利用效率，前者是后者的 5 倍(表 2)。

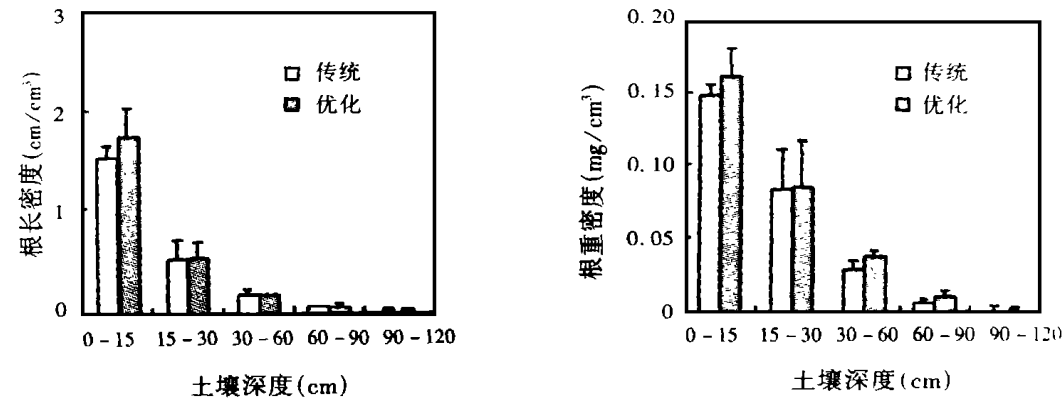


图 1 不同水氮系统小麦拔节期根系在土壤中的分布

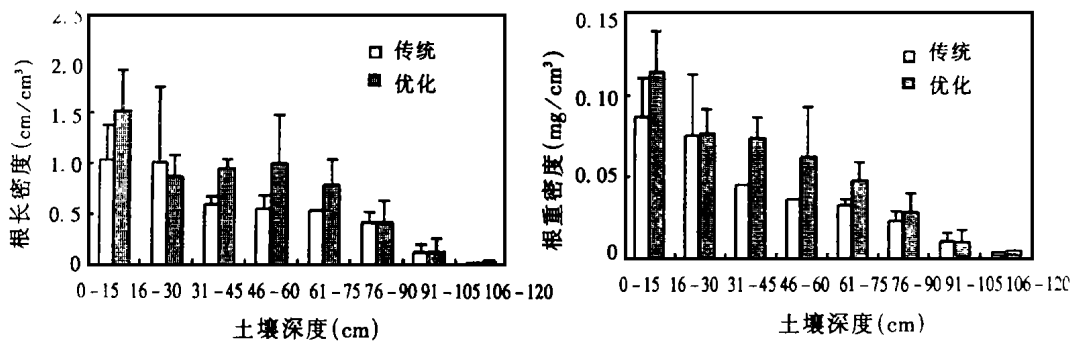


图 2 不同水氮系统小麦开花期根系在土壤中的分布

表 3 不同水氮系统小麦根系分布模型及参数

项目	水氮系统	拔节期			开花期		
		A	B	R ²	A	B	R ²
根长密度	传统	1.945 8	- 0.054 2	0.997 1	1.935 1	- 0.026 9	0.780 8
	优化	2.143 3	- 0.055 7	0.994 4	2.622 4	- 0.027 9	0.787 3
根重密度	传统	0.260 8	- 0.054 1	0.995 7	0.148 9	- 0.029 2	0.873 9
	优化	0.309 2	- 0.053 9	0.973 6	0.209 4	- 0.030 6	0.858 6
数学模型				$Y = A e^{BX}$			

2.2 不同水氮系统小麦根系垂直分布比较

从图 1 和图 2 可见，拔节期或开花期小麦根系随土壤深度的分布，无论是以长度还是以重量表示都是由表层到深层逐渐减少，遵循指数递减模型(表 3)。其中， Y 为根长密度(cm/cm^3)或根重密度(mg/cm^3)， X 为土层深度的中间值， A 为最大根长密度或最大根重密度， B 为回归系数，表示根长密度或根重密度随土层深度递减的快慢。前后两个生育期比较， B 值减小了大约 50%，说明根系在表层土壤中的分布相对减少，而在下层土壤中的分布相对增多，但两水氮系统小麦根系分布随生育期的这种变化又有一定的差异，若以根系长

度计算, 优化水氮系统小麦根系在 30 cm 耕层中的分布由拔节期的 93% 下降到开花期的 41%, 而传统水氮系统则由 92% 降到 47%。优化水氮系统小麦下层土壤中根长的增加幅度大于传统水氮系统, 主要表现在 30~ 60 cm 土层, 前者增加了 28 个百分点, 后者只增加了 19 个百分点; 60 cm 以下土层中根系由 1% 增至 25% ~ 27%, 两水氮系统无明显差异(图 1; 图 2)。

3 结论与讨论

本试验表明: 两种水氮系统小麦根系在根量(根长和根重)和后期根系功能方面存在差异。在本试验条件下, 优化水氮系统促进了小麦根系的生长并有利于保持后期根系的生理功能。根系的垂直分布遵循指数递减规律^[10], 优化水氮系统小麦开花期根系在 0~ 30 cm 耕层中的分布较传统水氮系统减少了 13%, 30~ 60 cm 土层中根量相对增加, 而 60 cm 以下较深层土壤中根系分布差异不大。以往的单因素试验结果表明“少次适量多灌”较“小水勤灌”有利于根系深扎^[18]; 施用氮肥(对照不施)促进总根量增加, 并影响根系垂直分布, 即表层根量增加, 深层根量减少^[10, 13]。实际上, 小麦根系生长受水分条件和营养水平等的互作影响, 本试验结果就是一个典型的例子。

氮肥对根系的影响取决于土壤的肥沃程度。在土壤氮素养分不足时, 适量使用氮肥可使小麦根系发育健壮, 提高产量。目前, 在小麦生产过程(华北平原农民习惯灌溉条件下)中, 施入的氮肥(300 kg/hm²)明显偏多, 这既不利于小麦根系的生长, 也没有达到提高产量的目的, 而且氮肥的投入产出比大幅度下降, 氮肥利用效率不高(表 2), 此外还导致小麦收获后土壤中 N_{min} (331 kg/hm²)的积累(优化水氮系统土壤 N_{min} 为 81 kg/hm²)对农业生产环境和农业持续发展构成威胁。

从小麦生产需水和华北地区降水(本试验小麦生长季共降水 71.4 mm)偏少的客观情况来看, 目前农民的灌溉习惯并没有太多浪费(0~ 120 cm 土层水分含量动态结果未列出)。遗憾的是我们的水资源人均占有量太少, 若强调灌溉水的高效利用而减少灌溉量, 势必影响小麦的产量, 对于今天华北地区的小麦生产而言, 正处于这样一个尴尬的现状。

致谢: 感谢中德合作项目 B2 和 B1 子项目提供有关氮素和土壤水的数据; 对于试验过程中各个子项目给予的支持和帮助亦表示感谢。

参考文献:

- [1] Weaver J E. Root development of field crop[M]. New York, London: New York and London McGraw - Hill Book Company, 1926
- [2] 陈培远, 詹谷宇, 谢伯泰. 冬小麦根系的研究[J]. 陕西农业科学, 1980, (6): 1- 6
- [3] 王志芬, 陈学留, 余美炎, 等. 不同穗型的两个冬小麦品种根系活力、光合特性及物质分配变化的比较研究[J]. 作物学报, 1997, 23(5): 607- 614
- [4] 马元喜. 不同土壤对小麦根系生长动态的研究[J]. 作物学报, 1987, 13(1): 37- 44
- [5] 黄细喜, 刘世平. 不同耕法对土壤紧实度和小麦根系生长的影响[J]. 上海农业学报, 1989, 5(1): 61- 66
- [6] Craig J. Pearson, Ian G. Mann, Zhang Zian-hua. Changes in root growth within successive wheat crops in a

- cropping cycle using minimum and conventional tillage[J]. *Field Crops Research*, 1991, 28: 117– 133.
- [7] Chan K Y, Mead J A. Tillage- induced differences in the growth and distribution of wheat roots[J]. *Aust J Agric Res*, 1992, 43: 19– 28.
- [8] 刘殿英, 黄炳茹, 董庆裕, 等. 土壤水分对冬小麦根系的影响[J]. *山东农业大学学报*, 1991, 22(2): 103– 110.
- [9] 王晨阳, 马元喜. 不同土壤水分条件下小麦根系生态生理效应的研究[J]. *华北农学报*, 1992, 7(4): 1– 8.
- [10] 张和平, 刘晓楠. 华北平原冬小麦根系生长规律及其与氮肥磷肥和水分的关系[J]. *华北农学报*, 1993, 8(4): 76– 82.
- [11] 刘殿英, 黄丙茹, 董庆裕, 等. 栽培措施对冬小麦根系及其活力和植株性状的影响[J]. *中国农业科学*, 1993, 26(5): 51– 56.
- [12] 马瑞昆, 蹇家利, 贾秀领, 等. 供水深度与冬小麦根系发育的关系[J]. *干旱地区农业研究*, 1991, (3): 1– 9.
- [13] 李焕章, 苗果园. 小麦“根- 土”系统的研究[J]. 山西农业大学小麦生态研究室资料. 1986.
- [14] 严六零, 彭永欣, 郭文善, 等. 小麦栽培与生理: 小麦根系在土壤中分布规律[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.
- [15] 赵爱芬, 黄学文. 春小麦根系生长动态研究[J]. *华北农学报*, 1993, 8(1): 88– 93.
- [16] Tennant D. A test of a modified intersect method of estimating root length[J]. *J Ecol*, 1975, 63: 995– 1001.
- [17] Gao S Y, William L P, Richard T K. Integrated root system age in relation to plant nutrient uptake activity [J]. *Agron J*, 1998, 90: 505– 510.
- [18] 马元喜, 等. 小麦的根[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 141.

Effects of Two Water and Nitrogen Management Systems on Root System of Winter Wheat

FAN Zhong-xue¹, WANG Pu¹, LIANG Zhen-xing¹

Wilhelm Claupen², Marion Boening-Zilkens²

(1 China Agriculture University, Beijing 100094, China; 2 Hohenheim University of Germany)

Abstract: At the Beijing experimental base of the Sino- German cooperative project, optimized and conventional irrigation-fertilization systems were carried out in 1999– 2000. Total 318 mm water with seven times and 60 kg/ha nitrogen with two times. were applied in the optimized system. Total 329 mm water with four irrigation times and 300 kg/ha nitrogen with base and top-dressing fertilization comprised the conventional system. The results were as follow. The root size of the optimized system was larger and integrated root system age (IRSA) at flowering stage was younger than that of the conventional system, and the ratio of root in the 30– 60 cm soil layer was also increased. There were no significant difference in both grain yield and water use efficiency between the two systems, although the optimized system increased nitrogen use efficiency 4 times comparing with conventional one.

Key words: Water-nitrogen system; Winter wheat; Root system