

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*

张和平 刘晓楠

(中国科学院石家庄农业现代化研究所, 石家庄 050021).

摘 要 通过田间试验, 采用大口径根钻取样研究了华北平原冬小麦根系生长的基本规律及其氮、磷肥和水分对根系生长的影响。结果表明, 冬小麦根系生长时间分布规律是冬前较快, 越冬不停, 拔节至抽穗最快, 抽穗后生长减缓并达到最大; 根长和根重的增长遵循 Logistic 模型。空间分布规律是: 冬小麦根系随土层深度的分布, 无论是根长还是根重都是由上到下逐渐减少, 遵循指数递减模型。施用氮肥和磷肥能显著促进冬小麦根系的生长。水分亏缺限制冬小麦根系的生长, 但使根系分布下移。灌溉不仅能促进小麦根系前期的生长, 而且可以延缓小麦根系后期的衰亡。

关键词 冬小麦 根系 氮 磷 水分亏缺

水资源短缺是华北平原农业生产发展的主要限制因子之一。作物根系在作物吸收土壤水分, 养分, 抗旱增产和节水灌溉中起着极为重要的作用。根系生长的研究国外较多^[5,6], 但仍落后于作物地上部研究至少 20 年^[7]。国内根系生长的研究较少^[1~3]。随着节水农业的兴起, 有必要全面认识作物根系的发育, 根群的分布, 不同生长期根系吸收水分养分的活力, 以及不同环境条件下的变化。本研究通过两年的田间试验, 对华北平原冬小麦根系生长发育及氮肥磷肥和水分亏缺对小麦根系生长的影响进行定量研究。

1 材料和方法

试验于 1989~1991 年在中国科学院南皮生态农业试验站进行。两年分别利用冬小麦水肥耦合试验^[4]和灌溉试验对冬小麦根系生长及氮、磷肥和水分亏缺对小麦根系生长的影响进行定量研究。供试小麦品种为丰抗 8 号和 84-5418。

水肥耦合试验选取影响冬小麦产量的氮肥、磷肥和灌水三个主要因素为研究对象, 采用三因子五水平通用旋转回归设计, 共设 20 个小区, 小区面积 30m², 随机排列。小区之间自地面向下到 100cm 埋置塑料布为间隔层, 以防止水分侧渗。供试土壤为轻壤质潮土, 土壤 0~20cm 的基本化学性质为: 有机质 1.07%, 全氮 0.060%, 碱解氮 48.0×10^{-6} , 速效磷

1992-07-23 收稿。

* 本研究得到中国科学院石家庄农业现代化研究所所长基金资助。

5×10^{-6} 。氮素采用尿素和磷酸二铵,其中 60% 作基肥,40% 作追肥于返青至拔节期施用;磷肥采用磷酸二铵和过磷酸钙,全部基施;所有处理均基施有机肥 2000kg;灌水形式为塑料软管灌溉,水表计量。灌溉试验采用单因素(灌水量)五水平三次重复设计,灌水次数分别为 0, 1, 2, 3, 4 次,田间顺序排列。小区面积 30m^2 ,小区间设间隔层。施肥情况为磷酸二铵 $262.5\text{kg}/\text{hm}^2$,尿素 $375\text{kg}/\text{hm}^2$ 。供试土壤的基本情况与水肥耦合试验相同。

土壤水分采用土钻法分层取样, 105°C 烘干后测定。根系取样采用大口径根钻。钻头长 15cm, 直径 7cm。每个处理取两钻,一钻取在麦行上,一钻取在麦行间,每 10cm 取一个样。取样深度随作物生育期的不同而变化。取回的根系样品先用清水浸泡数小时,倒入孔径为 1mm 的土壤筛冲洗,再清水中漂洗,用镊子清除死根,有机物碎片等杂质。根长的测定采用交叉法^[8]和直接测长法。交叉法根长按下式计算:

$$\text{根长} = 11/14 \times \text{交叉点数} \times \text{框格单位}$$

将洁净的根系在 105°C 温度下烘 20 小时,用万分之一天平称重测定根系的重量。

2 结果与分析

2.1 冬小麦根系生长的时间和空间分布规律及其数学模型

2.1.1 根系生长的时间和空间分布规律 从图 1 不同生育期冬小麦根长和根重在土壤剖面中的分布可以看出,根系生长的时间分布规律是,随着生育期的推移,根系逐渐下扎,根长和根量不断增加。其过程是,冬前以表层根增长为主,增长速度由上到下依次递减;越冬期间,虽然地上部生长停止,但地下部根系的生长并未停止,根长和根干重的日增长率分别为 $0.0329\text{km}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 和 $0.386\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,且根系向深层下扎。这说明冬小麦根系生长具有冬季“上闲下忙”的特点。返青以后,小麦根系生长迅速加快,尤其以拔节至抽穗生长最快,拔节至抽穗根长和根重分别以 $0.370\text{km}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 和 $2.50\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 的速度增长,抽穗以后根系生长逐渐减慢并达到最大。

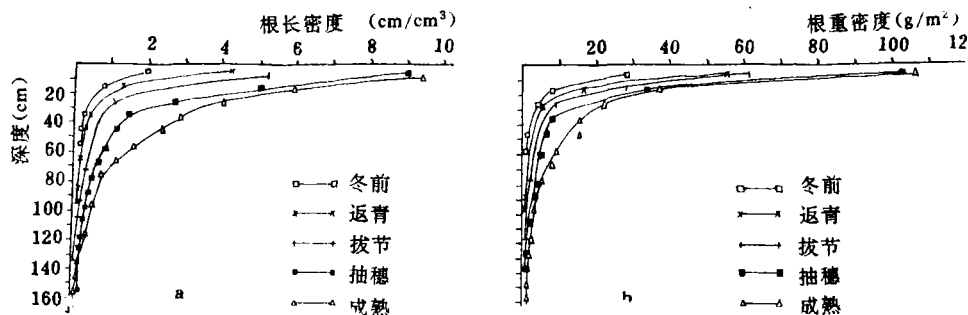


图 1 不同生育时期冬小麦根系随土层的分布 (1989~1991) a:根长; b:根重

根系生长的空间分布规律是:随着生育期的推移,根系逐渐下扎,每层土壤中的根系绝对数量都逐渐增加,以 70cm 以上土层根系增长较多,抽穗后表层根系生长基本停止,20~

80cm 土层根系仍有较大增长;但是根系相对数量(上层根系数量占总根系数量的百分数)则随着生育期的推移有逐渐下降的趋势,而下层根系则有逐渐增加的趋势。小麦根系扎根深度超过 1.7m(本试验取根最大深度为 1.7m),但无论是根长,还是根重,80%都分布在 0~50cm 土层中,100cm 以下土层的根系不到总根系数量的 6%(表 1)。

表 1 冬小麦不同生育时期根系重量和根长的剖面分布 (1989~1991)

土壤层次 (cm)	冬 前		返 青		拔 节		抽 穗		成 熟	
	Rw	Rp	Rw	Rp	Rw	Rp	Rw	Rp	Rw	Rp
0~10	28.25	61.85	56.05	62.68	61.60	46.68	102.60	52.09	106.25	46.27
10~50	16.66	35.85	27.87	31.07	31.07	39.65	68.53	34.75	88.80	38.67
50~100	1.07	2.30	5.79	6.44	15.31	12.55	17.11	8.68	26.28	11.44
100~150					2.73	2.24	7.58	3.85	6.83	2.97
150~170							1.16	0.59	1.49	0.65
0~170	6.48		89.71		131.97		196.98		229.66	
日增长率	0.845		0.386		1.921		2.500		0.427	
	RI	Rp	RI	Rp	RI	Rp	RI	Rp	RI	Rp
0~10	1.96	53.85	4.24	57.84	5.22	38.49	8.98	38.72	9.43	31.15
10~50	1.56	42.85	2.35	31.79	5.76	42.47	10.32	44.55	15.20	50.22
50~100	0.12	3.30	0.76	10.37	1.95	14.38	2.68	11.56	4.42	14.60
100~150					0.63	4.65	0.99	4.26	1.05	3.47
150~170							0.21	0.91	0.17	0.57
0~170	3.64		7.33		13.56		23.19		30.27	
日增长率	0.062		0.0329		0.283		0.370		0.221	

注:1)Rw-根重: g/m^2 ; RI-根长: km/m^2 ; Rp 为根长或根重占总根长或总根重的百分数。

2)日增长率: $\text{km}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

表 2 冬小麦根系生长时空分布模型的参数

生育 时期	根 重				根 长			
	A	B	r	n	A	B	r	n
冬前	26.9370	-0.06375	0.9753**	6	1.9838	-0.05624	0.9771**	6
返青	32.9600	-0.04969	0.9515**	10	1.9374	0.03568	0.9139**	10
拔节	26.7277	0.03151	0.9238**	14	2.7042	-0.02593	0.9043**	14
抽穗	33.0163	-0.02536	0.9322**	16	4.3776	0.02452	0.9397**	16
成熟	51.2594	0.02856	-0.9747**	17	8.4906	0.03011	0.9909**	17

注:** 示达 1%显著水平。

2.1.2 根系生长的时空分布的数学模型 从图 1 可见,不同生育期冬小麦根系随上层深度的分布,无论是以根长还是以根重表示都是由上到下逐渐减少,这种衰减可以表示为:

$$Y = Ae^{BX}$$

式中,Y 为根长密度 (cm/cm^3) 或根重密度 (g/m^2), X 为上层深度的中间值, B 为回归

系数,表示根长密度或根重密度随土层深度递减程度的大小, A 为最大根长密度或最大根重密度。从表 2 可以看出, A 值随着生育期的推移有逐渐增大, B 值则逐渐减小的趋势。

将整个上层的根系长度和根系干重累加起来可得到根系的总长度和总干重。根系总长度和总干重随时间的变化呈 Logistic 曲线变化。根据试验资料利用黄金分割法求得的根长和根重的增长模型为:

$$Y_{\text{根长}} = 35.3035 / (1 + 46.4603e^{-0.01785t})$$
$$Y_{\text{根重}} = 316.7797 / (1 + 21.0816e^{-0.01426t})$$

$$r = 0.8661^{**} \quad (n = 23)$$
$$r = 0.8734^{**} \quad (n = 23)$$

式中 t 为播种后的天数。

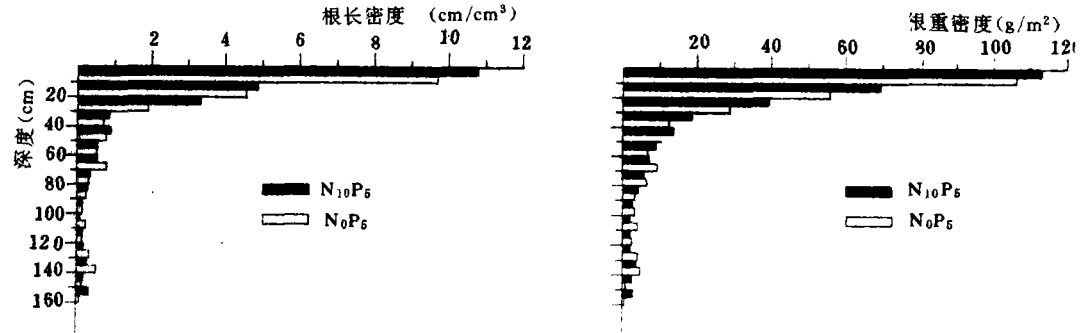


图 2 氮肥对冬小麦根系生长的影响 (1990) a:根长 b:根重

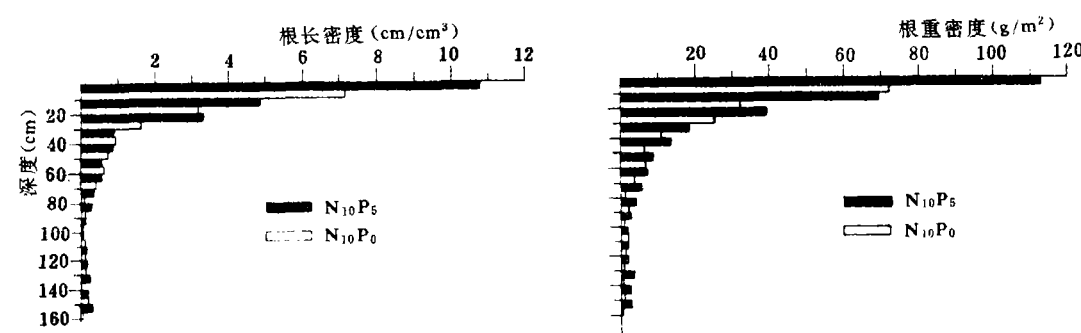


图 3 磷肥对冬小麦根系生长的影响 (1990) a:根长 b:根重

2.2 氮、磷肥对根系生长的影响

从图 2 和图 3 可以看出,氮肥对根系生长有显著影响。就总根长和总根重来说, $N_{10}P_5$ 处理比 N_0P_5 处理的总根长多 $8.60\text{km} / \text{m}^2$, 总根重多 $33.97\text{g} / \text{m}^2$, 分别增加 33.17% 和 15.88%; $N_{10}P_5$ 处理的根干重比 $N_{10}P_0$ 处理的多 $17.55\text{km} / \text{m}^2$, 根重多 $90\text{g} / \text{m}^2$, 分别增加 103.4% 和 57.01%。就根系的剖面分布来说,施氮肥上层根系比不施肥的根系多,这种趋势

一直延伸到 60cm 深。施磷肥的根系无论是根系长度还是根重几乎每层都比不施磷肥的多。可见增施磷肥不仅能增加上层根系的数量, 而且还能促使根系向深层下扎, 增加深层根系的数量, 增强作物对深层土壤水分的利用能力, 提高作物对干旱的抵抗力。此外, 与不施氮肥的处理相比, 不施磷肥的根长和根重比不施氮肥的根长和根重分别少 $8.96\text{km}/\text{m}^2$ 和 $56.03\text{g}/\text{m}^2$, 这说明磷肥对根系生长的影响大于氮肥。

增施氮磷肥促进了地上部和根系的生长。叶面积的增加提高了作物冠层的覆盖度, 降低了土壤蒸发; 根量的增加提高了根系的吸水能力, 因而提高了冬小麦的水分利用率。据 1990 年测定 N_{10}P_5 处理小麦全生育期耗水 442.9mm , 比 N_{10}P_0 处理多利用水分 109.4mm , 比 N_0P_5 处理多利用土壤水 10.1mm ; N_{10}P_5 处理水分利用率为 $0.653\text{kg}/\text{mm}$, 比 N_{10}P_0 处理提高 $0.033\text{kg}/\text{mm} \cdot \text{亩}$, 比 N_{10}P_0 处理提高 $0.29\text{kg}/\text{mm} \cdot \text{亩}$ 。

2.3 根系生长与水分的关系

水分亏缺不仅影响小麦根系的长度和重量, 而且影响根系的垂直分布量 (图 4)。两年抽穗期调查平均结果, 灌溉处理 $0\sim 30\text{cm}$ 土层的根长和根重分别为 $158.65\text{g}/\text{m}^2$ 和 $15.55\text{km}/\text{m}^2$, 旱作处理为 $129.56\text{g}/\text{m}^2$ 和 $12.42\text{km}/\text{m}^2$, 灌溉处理大于旱作处理; $30\sim 120\text{cm}$ 土层内根长和根重灌溉处理为 $5.466\text{km}/\text{m}^2$ 和 $30.32\text{g}/\text{m}^2$, 旱作处理为 $6.674\text{km}/\text{m}^2$ 和 $52.12\text{g}/\text{m}^2$, 旱作处理大于灌溉处理; 120cm 以下两者相差很小。这种趋势早在拔节期就已出现。这表明水分亏缺促使小麦根系向中下层土壤生长, 使相当多的根系分布在中下层土壤中以吸取更多的土壤水分抵御干旱, 这是小麦根系对水分亏缺的一种抗逆性表现。

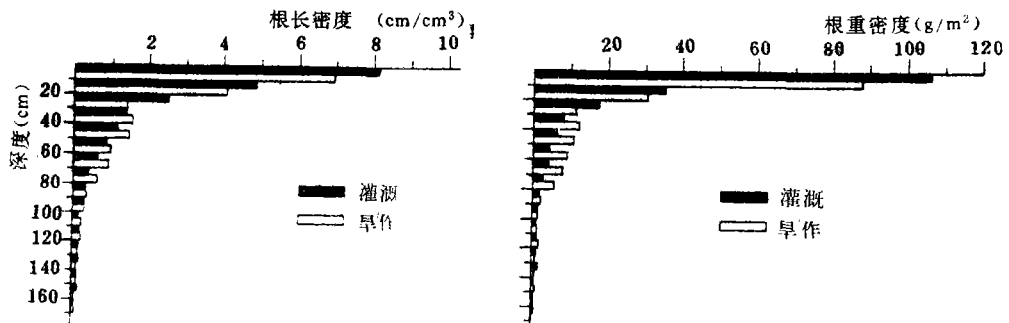


图 4 水分对冬小麦根系生长的影响 (1990-1991)

就不同生育期小麦根系发育状况看 (表 3), 拔节以前水分亏缺显著限制了小麦根系生长, 无论是总根长和总根重都较灌溉处理显著减少, 这说明拔节以前土壤水分亏缺严重影响根系生长。拔节以后, 旱作处理根系生长迅速, 其增长速度超过灌溉处理, 但根长和根重仍然小于灌溉处理。抽穗后由于有效土壤水分已大部分耗竭, $0\sim 100\text{cm}$ 上层的含水量仅为田间持水量的 $40\sim 55\%$, $0\sim 10\text{cm}$ 土壤水分接近凋萎湿度, 作物表现出水分亏缺, 表层根系发育停止, 并逐渐衰老死亡。而灌溉处理前期根系发育良好, 为小麦高产打下了壮根壮苗基础, 抽穗后土壤水分适宜, $0\sim 100\text{cm}$ 上层的含水量为田间持水量的 80% , 加上灌溉水的补

充,根系生长良好,能充分吸收利用土壤水分。

表 3 不同生育期根系生长与水分供应的关系

处理	根系 参数	根 系 生 长 状 况				产 量 (kg / 亩)	耗水量 (mm)	水分利用效率 (kg / mm · 亩)
		返青	拔节	抽穗	成熟			
旱作	根长(km / m ²)	4.28	7.31	21.41	22.35	211.2	307	0.69
	根重(g / m ²)	72.38	82.60	184.40	207.60	211.2	307	0.69
灌溉	根长(km / m ²)	7.33	13.56	23.19	30.27	305.0	392	0.78
	根重(g / m ²)	89.71	131.97	196.98	229.66	305.0	392	0.78

3 结 论

冬小麦根系生长时间分布规律是冬前较快,越冬不停,拔节至抽穗最快,抽穗后生长减缓并达到最大。根长和根重的增长遵循 Logistic 模型。空间分布规律是:冬小麦根系随土层深度的分布,无论是根长还是根重都是由上到下逐渐减少,遵循指数递减模型生长。

施用氮肥和磷肥能显著促进冬小麦根系的生长。尤其是施用磷肥不仅能增加上层根系的数量,而且还能促使根系下扎,增强小麦对深层土壤水分的利用能力,提高小麦对干旱的抵抗力。

水分亏缺严重限制冬小麦根系的生长,但使小麦根系分布下移。灌溉不仅能促进小麦根系前期的生长,而且可以延缓小麦根系后期的衰亡。

参 考 文 献

- 1 苗果园等.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 刘殿英,黄炳茹,董庆裕.土壤水分对冬小麦根系的影响.山东农业大学学报,1991,22(2): 103~110
- 4 张和平,刘晓楠.黑龙江地区冬小麦生产中水肥关系及其优化施肥模型研究.干旱地区农业研究,1992, 10(1): 32~38
- 5 Kmoch HG. et al. Root development of winter wheat as influenced by soil moisture and nitrogen fertilization. Agronomy Journal, 1957 (49): 20~25
- 6 Barraclough PB and Leigh RA. The Growth and activity of winter roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of high-yield crops. J Agri Sci Comb, vol. 103, 1984, 59~74
- 7 Klepper B. et al. Farm management and the function of field crop root systems. Agric. Water Manage. 1983 (7) 115~141
- 8 Bohn W. Method of studying root system. Spring-Verlay Berlin, Heidelberg, New York, printed in German. 1979

Root System Development of Winter Wheat and the Effect of Nitrogen, Phosphorus and Soil Moisture on Its Growth in North Plain of China

Zhang Heping Liu Xiaonan

(Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, Academia Sinica, Shijiazhuang)

Abstract Roots play an important role in water and nutrient uptake by crop. The investigation of root system development of winter wheat and the effect of nitrogen, phosphorus and soil moisture on its growth in the North Plain of China was made in 1990 and 1991. Roots were sampled by coring and the changes of root weight and length were determined in five development stages. The root weight growth rates were 0.845, 0.386, 1.921, 2.500 and 0.427g / m² · day and root length growth rates were 0.062, 0.0329, 0.310, 0.221km / m² · day in seedling, overwintering, jointing, heading and seed filling stages, respectively. The total root length and total root weight with time could be described by logistic growth function, and the exponential model was suggested for describing root system distribution with soil depth. N and P fertilizer application could promote the growth of winter wheat root system. Water stress reduced the root dry weight and root length, but root length and weight was greater in 0.3–1.20m depth under water stress than that of irrigated wheat. Irrigation could significantly increase roots in the stages of vegetative development and extend the root lifespan in the stages of reproductive development.

Key words: Winter wheat; Root system; Nitrogen; Phosphorus; Water stress