

节水条件下大田冬小麦的根冠关系^①

杨培岭

刘洪禄

任树梅

(中国农业大学水利与土木工程学院) (北京市水利局) (中国农业大学水利与土木工程学院)

摘要 重点研究了京郊通县地区不同灌水条件下冬小麦根冠的发育规律,根冠间的动态消长关系及对后期产量形成的影响程度及敏感性。结果表明:水分胁迫会引起根、冠功能降低,导致根、冠生长与干物质积累量下降。然而不同水分条件下根、冠的生长特征,根、冠自调节、自适应的功能表现却不同;前期受水分胁迫抑制,后期恢复供水时,“补偿生长”作用较突出;根长密度最大速率的剖面分布将随着生育阶段的生长由表层向底层转移。

关键词 根—冠关系;水分胁迫;冬小麦

中图分类号 S512.100.071

Root and Shoot Relations of Winter Wheat Under Different Irrigation Conditions

Yang Peiling

Liu Honglu

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU) (Beijing Water Resource Bureau)

Ren Shumei

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU)

Abstract The root-shoot development and dynamic relations of winter wheat were studied. The effects on dry matter accumulation, accumulating rate of root and shoot as well as its yields and sensitivity to water were discussed. The results indicated that because of water stress, the function and growth of root and shoot is lower, the seed yield is decreased. The self-adjustment and self-adaptability of root and shoot were also changed under different conditions of soil moisture. The compensative growth of root and shoot was more evident due to rewatering at flowering stage after water stress. The maximum increment of root density in the profile is changed from up layer to down with the days after planting.

Key words root and shoot relations; water stress; winter wheat

作物根、冠是2个形态及功能各异的器官体系,二者既互相依存又互相竞争,构成了作物的整体功能平衡系统。作物生长发育的实质是根冠生长关系的外在表现,而农田环境尤其是水分环境的变化,直接体现根冠的功能与形态对环境的响应。不同水分条件下根冠的生长特征,根冠自调节、自适应功能的具体表现,直接关系到人们对作物水分关系的正确认识和对农田水

收稿日期:1997-07-16

①北京市科委“八五”科技攻关项目

②杨培岭,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)146信箱,100083

分调控措施的合理制定与实施。不少学者曾致力于揭示环境与作物根冠关系的内在联系,特别是水分胁迫条件下作物地下部与地上部的综合反应特征及规律^[1]。然而,由于问题的复杂性,迄今人们对根冠关系及其对水分环境的响应特征等问题的认识仍相当模糊,有关根系发育规模及对水分环境的响应问题,一直有争议^[2-5]。在水资源日趋紧缺的今天,探求非充分供水条件下根冠的发育特征与消长关系,无疑对节水农业的相关理论和实践的研究都有积极意义。

1 材料与方法

试区设于通县宋庄水管站百亩园内,土壤质地为壤土。冬小麦品种为京东8号,播量 $210 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,播种日期为1994年9月24日,全生育期降水93 mm。

从实验目的出发,整个试验观测从返青后开始,各处理随机采样20株,测出相应冠部生长参数。根长密度用根钻法测量,用交叉法计算根系长度。用烘干法测定根冠干物质质量。试验方案见表1。

2 结果与分析

作物根冠发育过程不仅受到水分环境的影响,还与作物生长的时间演进过程相关。为清晰了解冬小麦根冠生长与水分环境的关系及其随时间变化的特征,这里分别对冬小麦的返青—拔节期、拔节—扬花期和扬花—成熟期的试验结果进行分析。

2.1 返青—拔节期冬小麦的根—冠关系

试区灌拔节水之前,各处理间尚未实施水分处理,根冠的生长状况也基本趋于一致,干物质的累积与根长密度的剖面分布均较相近(见表2)。4月16日灌拔节水后,各处理的作物根冠生长发生明显变化。拔节期是作物干物质累积快速增长阶段,土壤供水充分,能有力促进根冠发育。凡灌水处理A、B小区,作物根冠干物质的累积远高于非灌水处理C区,当然C区作物

表2 不同水分处理冬小麦根长密度的剖面分布

根系 *深度/cm	04-10			05-05			05-25			06-15		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5	2.97	2.65	2.57	4.00	4.19	2.55	4.24	3.87	3.53	3.83	3.11	3.45
15	1.96	1.83	1.93	3.10	2.71	2.19	3.70	3.37	3.35	3.41	2.90	2.71
25	1.07	1.46	1.27	2.59	1.52	2.00	3.11	2.57	2.71	2.79	2.00	2.49
35	0.71	1.22	0.75	1.38	1.15	1.04	2.59	2.33	2.41	2.58	1.73	2.27
45	0.70	0.75	0.71	1.26	1.10	0.76	2.47	2.21	2.13	2.35	1.80	1.89
55	0.57	0.77	0.62	0.81	0.90	0.61	1.98	1.96	1.77	2.00	1.39	1.69
65	0.55	0.56	0.33	0.80	0.62	0.54	1.73	1.84	1.10	1.76	1.23	1.45
75	0.30	0.25	0.28	0.54	0.41	0.41	0.99	1.23	0.79	1.03	0.97	0.87
85	0.19	0.21	0.14	0.27	0.21	0.38	0.74	0.69	0.61	0.83	0.88	0.70
95	0.11	0.12	0.10	0.20	0.12	0.24	0.62	0.62	0.50	0.44	0.69	0.41

表1 试验方案

处 理	灌溉日期	播后累积 时间/d	灌水量/ mm
全灌 A	1995-04-16	204	102
	1995-05-10	228	108
拔节灌 B	1995-04-16	204	102
扬花灌 C	1995-05-10	228	108

说明:为保证越冬和苗全,所有处理均灌苗水40 mm,越冬水40 mm和返青水60 mm。

根冠的生长也呈迅速增长趋势,但其累积总量不到 A,B 处理的 60%。灌水处理区作物根系的发育虽高于非灌水处理区,但增长程度在剖面的分布并不一致。根长密度的增长主要集中在 0~30 cm 土层内(表 2 和图 1),表层适宜的温度、湿度和良好的通气性形成根系生长的最佳环境。当表层水分不足时,根系的主要生长区位置下移,C 区作物根系的生长最大增长速率位于 20~30 cm 范围内就证明了这一点。C 区冬小麦整体生长明显受到抑制。显然土壤水分的不足限制了根系功能,减少了冠层输送所需营养物质的数量,进而阻碍了地上冠层光合功能的发挥,使总光合产物的形成量下降,根系能量物质的分配数量相应减少,更削弱了根系功能结构的组建,这又进一步影响冠层功能与结构,如此循环造成根冠干物质累积量整体下降。

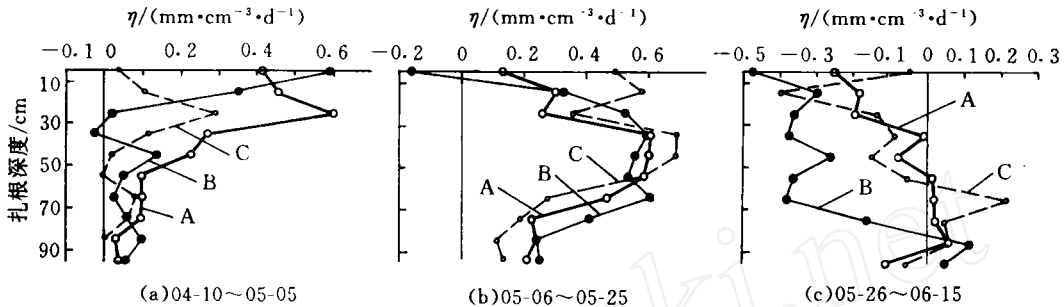


图 1 根长密度增长速率 η 的剖面分布

土壤水分状况的优劣能显著影响干物质在根冠间的分配^[6],尤其在不利的水分环境下可引起光合产物在根冠间分配比例失调,造成根冠发育不良。就冬小麦的生长而言,水分胁迫的结果首先表现在对冠层生长的抑制,其干物质累积量远较充分供水区低,而对根系发育的抑制作用不如冠部突出,冠部干物质累积量仅为灌溉处理的 60%,根部干物质累积量则可达灌溉区的 80%。这表明在水分胁迫条件下,株体会相对促进根系的发育,或者说胁迫能增加光合产物向根部分配的比例(图 2)。

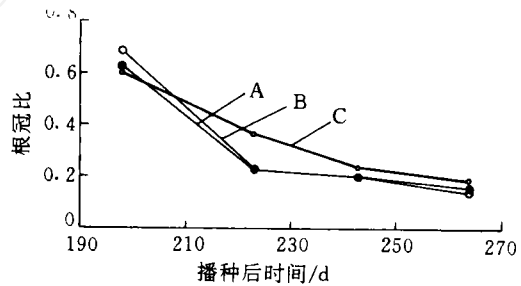


图 2 冬小麦根冠比的时间分布

2.2 拔节—扬花期的根冠发育

扬花期是根冠快速发育的时期。此阶段无论灌溉与否,根冠干物质的积累量都大大高于前期。5月10日 A,C 区灌扬花水后,A 区作物干物质的累积总量高于未灌水的 B 区,灌水后的 C 区作物干物质累积绝对量虽然仍低于 A,B 处理,但其增长幅度则为三者之冠。图 3 显示了该阶段冬小麦对水分环境的反应及生长特征。在充分供水条件下,根系的干物质累积从返青到扬花几乎以相同的增长速率发展。B 区作物由于受到水分胁迫的影响根冠生长受到一定抑制,不论冠层还是根系干物质累积速率都比 A 区低,然而降低的幅度并不显著。显然,前期适宜的水分环境使根冠形成了相当规模的结构与功能,即便根系水分胁迫使根系吸收功能降低,进而使冠层功能衰退,导致光合产物的形成量低于前期,但其绝对量仍能保持一个相当高的水平。这对于了解冬小麦对水分环境的反应及实施以水为中心的根冠调控具有重要意义。

由于受到前期水分胁迫的作用,C 区灌水后,作物根冠干物质的累积过程明显有别于前

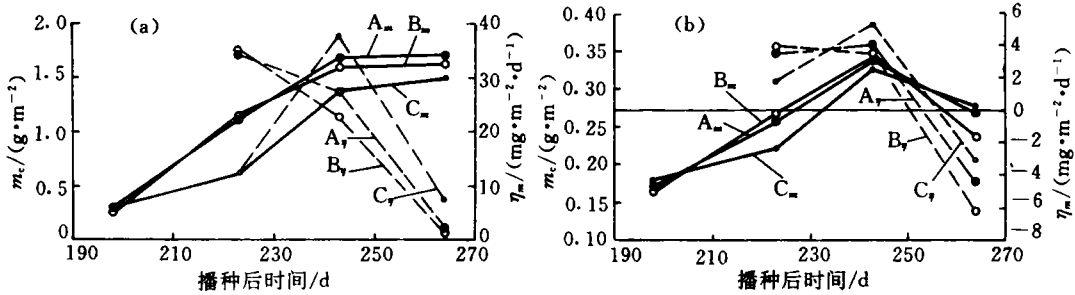


图3 冬小麦冠层(a)及根系(b)的干物质累积量 m_c 及其增长速率 η_m

期,增长速率在全生育期达到最大,冠层和根系分别提高了3.5和2.5倍,这与A,B区作物根冠生长速率的时段分布有着根本区别。适宜的水分条件,增强了根系的吸水功能,提高了冠层的光合能力,促进了根冠发育,根冠的发育又进一步强化了自身的功能,形成增长式良性循环。显然灌溉对根冠的补偿生长十分重要^[5]。还应当注意到,即使这种补偿生长作用十分明显,也由于前期水分胁迫抑制了整体的结构与功能的发展,使其光合产物形成总量仍达不到A,B处理。

从整体上看,各处理的根生长的剖面分布均达到了全生育期的最大值,以20 cm以下土壤根长的迅速增加为主要特点(表2);但由于灌溉条件不同,各处理间又显现出不同的变化趋势。扬花灌对A区作物表层根系的发育作用不大,其增长速率仅为 $0.012 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,而30 cm以下各层根系密度增长速率都较前期有大幅度提高,30~70 cm间根系的增长速率最大。表层根系根龄长,栓化、老化程度高,限制了根系的分生与伸长能力,即使水分环境适宜,其增值也有限,而下层根系根龄短,活性强,分枝与伸长能力强,加之适宜的水分条件,促进了根系的迅速发育,同时也表明根系遗传特性对根系发育的剖面分布起着重要作用。

B处理表层水分亏缺不仅抑制根系生长,也加速了根系老化,导致表层根系密度下降;但由于前期深层根系密度低、吸收水分少而保持着相对适宜的土壤水分含量,根系活性使20 cm以下土层仍成为根系迅速生长区域,在60 cm以下土层根系的发育甚至超过了A区(参见图1(b)),使B区根系仍能维持相当的结构规模和功能来满足地上株体发育之需。这对充分利用深层土壤水分具有积极的意义。

前期干旱胁迫再补充水分后对作物产生的“补偿生长”作用使C区作物表层根系仍有明显的增加,0~10 cm根长密度由前期的 $2.55 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 上升至 $3.53 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$,这一特点显然有别于A区。C处理作物根系发育的另一个特点是快速生长部分主要集中在50 cm以上的土层,其增长速率甚至高于A,B处理,60 cm以下土层根系的增长速率又明显低于A,B处理。这一方面说明受到胁迫抑制的根系一旦得到充分供水会产生激励生长,另一方面在适宜的水分环境下,根系优先于通气良好的上部土层发育的特点。这一结果与Huck的观点^[7]一致。

2.3 扬花—成熟期的根—冠关系

至扬花期冬小麦的营养生长基本停止,大部分碳水化合物向穗部转移。根系生长表现为干物质累积总量减少,特别是表层的减少更为明显。由于穗部产量主要形成于此期,所以冠部总体干物质的积累仍呈上升趋势,只不过时段累积量与前期相比大大降低,而且前期水分处理不同,各区冠部干物质的总量累积过程也不一致。A处理作物在整个生长阶段处于较充分的供

水环境,干物质累积总量一直为三者之冠。其穗部产量也最高达 $0.716 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,籽粒与秸秆在冠总生物产量中具有最优的分配比例。B 处理作物由于受到后期水分胁迫的影响,冠干物质的累积速率受到抑制,为三处理中最低,但借助初期形成的冠体规模,光合产物的数量仍然较大,使冠部干物质积累还高于 C 处理,穗部性状与产量也优于后者。C 处理作物继续显示出补偿生长的特征,虽然其冠部干物质生长速率远低于前期,但与同期各处理相比最大,籽粒产量与 B 处理接近却优于 B 处理的秆籽比,尤其对促进籽粒灌浆,提高千粒质量作用明显。

至成熟期 C 处理作物根系干物质累积量反而超过 A, B 处理(参见图 3(b)),虽然在数量上各处理都较前期明显下降,但 C 处理作物的补偿生长使其根系活力增强,衰老速率降低,形成了后期根系发育的一个重要特征。另一方面,作物生长后期受到水分胁迫会加速根系的老化程度和死亡速率,使干物质累积显著下降, B 处理作物的反应就是突出的例证。

同根系干物质累积特征一致,根系密度整体上较前期明显减小,且越近表层根密度的衰减程度越强。虽然根的死亡速率与根龄和根老化程度密切相关,但由于灌水处理的不同, A, B, C 三者之间又表现出趋势各异的剖面分布,其中 B 处理的衰减程度最强, $0 \sim 80 \text{ cm}$ 土层内根系密度的衰减速率远远大于 A, C 处理, C 处理作物的根长密度始终低于 A 处理,由 $0 \sim 60 \text{ cm}$ 土层根系衰减速率(负增长)却与 A 处理保持相似的变化趋势(参见图 1(c)),似乎可以认为作物的遗传特性所决定的根龄和老化因素占据了主导地位。然而 60 cm 以下土层 A, C 处理作物的根系密度虽然都较前期呈增长趋势,但 C 处理的增长速率明显高于 A 处理,表明其根系具有更强的活力。尽管“补偿生长”作用的机制迄今仍十分模糊,但作物前期经受一段水分胁迫又得以恢复后所表现出生长加速、活力增强的外在表现提醒我们应予以高度重视。

作物的生长规律首先是由其遗传特性决定的,根冠依一确定比例发育。环境条件的突变会打破原有比例关系,但作物的自调节与自适应能力在今后的生长中会促使根冠循原有的比例关系发展^[4],本试验结果更进一步证实了这一观点。拔节期 C 处理由于受作物水分胁迫,形成了有别于 A, B 处理的根冠比例,在生育期内,其根冠发育一直向 A 处理的根、冠比例趋近,尽管最终未能达到 A 处理的根、冠比例(图 3),但暗示着作物受到严重胁迫后其自调节能力与恢复程度是有限的。另一方面水分胁迫首先通过对根系生长的抑制来体现,扬花期作物根系发育已达生育期最大值,后期水分胁迫对根系的发育影响不大,因而对根冠比影响甚微,这一点还需要进一步研究证实。不过有一点十分清楚,水分胁迫虽然首先作用于根系,但最终结果表现为冠部受到的抑制大于根部,因而往往造成较高的根冠比例。

2.4 作物产量与水分利用效率

水分影响作物产量是公认的事实,但对于不同水分环境下作物产量的表现却存在众说不一的实验结果和主观认识^[2]。A 处理的作物由于供水充分其冠部总生物量与籽粒产量均居三处理之首。拔节期与扬花期是冬小麦生长对水分最敏感的两阶段,任一时段的水分亏缺都将对干物质累积与产量造成不良影响。拔节水有力地促进了冬小麦营养体的发育,为后期冠部功能奠定了基础;扬花水显著提高了冬小麦营养体的有效转化和生殖生长速率,对籽粒形成有重要意义。本试验结果(见表 3)亦反映了这一规律。B 处理具有较高的生物产量和籽粒产量,而 C 处理较低的秆籽比表明扬花水更有利于籽粒的形成。从产量结果看,本试验的结论是拔节水更为重要。C 处理的水分利用率虽略低于 B 处理,但其系数 E_V (籽粒产量与总耗水量之比)和 E_T (总生物量与总耗水量之比)均可达 B 处理的 96% 与 93%,特别是千粒质量很大,表明扬花水

对提高冬小麦穗部产量和品质尤为关键。

表3 不同处理的冬小麦产量性状和水分利用率

处理	籽粒质量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	千粒质量/ g	总生物量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	籽粒比	总耗水量/ mm	水分利用率/ $(\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$	
						E_Y	E_T
A	0.716	52.1	1.704	1.38	443	1.616	3.847
B	0.642	50.3	1.611	1.51	335	1.916	4.809
C	0.615	53.0	1.476	1.40	341	1.804	4.328

3 结 论

1) 适宜的水分环境有助于冬小麦根冠功能的发挥,根冠发育越好,其功能越强,冠层生长越快,光合产物量越大。

2) 拔节水对冬小麦一生干物质的积累和冠部发育规模具有不可替代的补偿作用,但对后期生殖生长和营养物质向穗部的转化作用甚微。扬花水恰是对拔节水不足的明显补偿,对籽粒分配比例和籽粒的品质有重要影响。

3) 从整体上看,冬小麦光合产物的分配随生育阶段的生长逐渐向冠部发展,表现为根冠比由高向低的变化规律,胁迫虽能改变根冠比的量值,但不能扭转冬小麦一生根冠比的发展趋势。胁迫的最终反应体现在对冠部生长的抑制高于根部。

4) 根系密度的发育随生育阶段的不同在剖面上呈不均一的分布特征,随时间表现为由表层、中层至下层为主导的根系发育规律。在出苗—拔节期,根系的发育主要集中在表层0~30 cm土层内。随根龄增长及根系栓化程度的提高,根系的分生能力与活性随深度下移至30~70 cm土层内。扬花期根系发育及干物质积累都达到全生育期最大值。扬花期后光合产物的分配转向穗部,根系发育能力减弱,衰老速率超过增长速率,表现为除底部根系略有增加外,整个剖面根长密度下降。虽然扬花水对根系活性有增长延长作用,但总体上对根系发育的影响远小于拔节水。了解了根系发育特征有助于不同目的灌溉措施的有效实施。

参 考 文 献

- 1 Szaniawski R K. Adaptation and functional balance between shoot and root activity of sunflower plants grown at different root temperatures. *Ann Bot*, 1983, 51: 453~459
- 2 马瑞昆, 赛家利, 贾秀玲, 等. 供水深度与冬小麦根系发育的关系. *干旱地区农业研究*, 1991, 32(3): 1~9
- 3 Brouwer R. Functional equilibrium: Sense or nonsense? *Neth J Agri Sci*, 1983, 31: 335~348
- 4 Brouwer R, Dewit C T. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In: Whittington W J, ed. *Root Growth*. London: Butterworth, 1969. 224~244
- 5 Carmi A, Hesketh J D. Interrelationships between shoot growth and photosynthesis as affected by root growth restriction. *Photosynthetica*, 1983, 17(2): 240~245
- 6 Egli D B, Guffy R D, Cheniae A. Carbohydrate levels in soybean leaves during reproductive growth. *Crop Sci*, 1980, 20: 468~473
- 7 Huck M G, Ishihara K, Curt M, et al. Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. *Plant Physi*, 1983, 73: 442~427