限量灌溉对冬小麦水分利用的影响①

许振柱[1,2], 于振文[1]

(1. 山东农业大学农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室, 山东 泰安　271018;
2. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点研究实验室, 北京　100093)

摘　要: 利用防雨池栽方式研究了不同灌水处理的土壤水分变化规律及其土壤干旱对冬小麦水分利用的影响。实验结果表明, 冬小麦对土壤供水具有较高的利用能力。耗水强度最大的时期是拔节至开花期, 平均日耗水量达到 5. 71 mm; 耗水强度最小的是越冬至返青期, 日耗水量不足 0. 25 mm。灌水后使耗水强度加大, 总灌水量为 420 mm 的处理(E)的耗水强度是只在播前灌 60 mm 底墒水处理(A)的 4. 65 倍, 而前者全生育期耗水量是处理 A 的 1. 92 倍。生育后期过多灌水或土壤严重缺水均显著影响冬小麦对土壤水分的利用效率。过多灌水显著地降低了灌溉的边际效益, 造成了水资源的浪费。

关键词: 限量灌溉; 耗水量; 水分利用率; 冬小麦

中图分类号: S274. 1; S512. 1+1　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-7601(2003)01-0006-05

麦田灌溉是农业用水的主要方面, 随着水资源的日益紧缺, 一方面改旱地为水浇地的难度加大, 另一方面水浇地麦田也面临水资源供需缺口加大, 灌溉成本增加的难题, 水资源不足已在很多地区成为限制小麦生产的主要因素[1~3]。如何在不减产甚至增产的条件下减少灌溉定额, 以提高灌溉效益, 实现优质高产高效已成为我国小麦生产过程中的关键环节。本文以防雨池栽的方式, 研究不同灌溉定额处理的土壤水分变化规律, 阐明不同土壤水分状况对冬小麦水分利用的影响, 以期为旱地麦田管理和麦田节水灌溉提供理论依据和技术指导。

1　材料和方法

1. 1　供试材料和方法

本研究于 1999~2000 年在山东农业大学农场进行。试验选用 2 个品种: 抗旱性较弱的小麦品种济南 17 号(籽粒容重 770. 3 g/L, 蛋白质含量 15. 16%)和抗旱性较强的小麦品种鲁麦 21 号(籽粒容重 778. 1 g/L, 蛋白质含量 12. 61%)。

播前 0~25 cm 土层的养分状况是: 有机质 13. 12 g/kg, 全氮 0. 80 mg/kg, 水解氮 77. 29 mg/kg, 速效磷 34. 23±1. 08(mg/kg), 速效钾 75. 92±2. 60(mg/kg)。播前池栽的土壤容重及水分常数见表 1。

采用防雨池栽的方式。防雨栽培池面积为 2. 5 m×2. 5 m, 深 1. 6 m, 砖墙, 两侧抹水泥作防护层, 不封底; 设滑动式遮雨棚。常年地下水位在 13. 0 m 以下。裂区排列, 灌水处理为主区, 副区为品种, 重复 3 次。实验采用水表控制灌水量, 设 5 个灌水处理(表 2)。每池种 8 行, 平均行距为 31. 25 cm, 密度为 1. 35×10^6 株/hm^2。播前每公顷基施纯 N 105 kg, P_2O_5 172. 5 kg, K_2O 108. 0 kg, 在拔节期每公顷追施纯 N 105 kg。其余管理措施同大田栽培。

1. 2　测定项目与方法

土壤样品 110℃下烘干至恒重, 测定土壤含水量(体积含水量, %)。小麦样品 105℃下杀青, 75℃下烘干称重; 收获时进行实收计产和室内考种。

2　结果与分析

2. 1　防雨池栽土壤水分变化动态和耗水特点

2. 1. 1　变化动态　对土壤不同时期不同层次的测定结果表明, 随生育进程的推进, 各层次的土壤含水量(体积比)逐渐降低。对于处理 A, 由于只浇了底墒水, 随着生育时期的推进, 各层次土壤含水量逐渐下降, 至孕穗期 0~40 cm 的含水量已低于萎蔫点, 至成熟期, 0~140 cm 平均含水量只有 8. 65%, 表明了冬小麦对整体土壤水具有较强的利用能力。处理 B 的各层次的水分于孕穗至拔节期的含量升高, 有

① 收稿日期: 2002-08-01
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39970425); 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-1-07); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043407); 科技部"无公害优质小麦生产关键技术集成与产业化示范"项目(2002BA 516A 12)
作者简介: 许振柱(1965-), 男, 山东宁阳人, 副教授, 博士, 从事旱地农业生态方面的研究。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

效地缓解了此关键期的土壤水分亏缺, 改善了土壤水分状况(图 1)。处理C、D、E 直至成熟期各层次土壤含水量皆在萎蔫点以上, 处理 E 在成熟期 0～140 cm 体积含水量仍达到 15.41% (图 1、图 2), 处理B、C 和D 有效地保证了小麦关键时期对土壤水分的需求, 既及时缓解了水分胁迫, 又没有造成水分的浪费, 为提高水分利用率打下了基础。

表 1　播前土壤容重及水分常数

Table 1　Soil volume weights and soil moisture status before sowing

土层深度 Soil layer (mm)	容　重 Volume weight (g/cm^3)	田间持水量 Water holding capacity (%)	凋萎湿度 Wilting moisture (%)	播前土壤含水量 Moisture content (%)	有效水 Available water (mm)
0～20	1.48	31.14	7.20	24.60	34.80
20～40	1.49	32.96	7.51	25.73	36.44
40～60	1.53	35.86	8.24	26.85	37.22
平均 Mean	1.50	32.30	7.65	25.73	36.15

表 2　防雨池栽试验处理灌水量(mm)

Table 2　Irrigation norm treatments in precipitation-proof trough

处　理 Treatment	灌水时期 Irrigation stage						
	底墒水 Before sowing	冬　水 Winter	拔节水 Jointing	孕穗水 Booting	开花水 Flowering	灌浆水 Filling	麦黄水 Ripening
A	60	0	0	0	0	0	0
B	60	0	60	60	0	0	0
C	60	60	60	60	0	0	0
D	60	60	60	60	60	0	0
E	60	60	60	60	60	60	60

2.1.2　耗水特点　研究结果表明, 耗水强度最大的时期是拔节至开花期间, 各处理平均日耗水量达到 5.71 mm; 耗水强度最小的是越冬至返青期间, 日耗水量不足 0.25 mm, 主要是因为越冬至返青期间温度低, 光照少, 蒸发量小, 蒸腾量也少, 麦苗生长缓慢; 而拔节至开花期, 气温升高, 日照长度增加, 小麦植株生长加快, 其生长速率亦进入高峰阶段, 促进蒸腾, 使耗水强度提高幅度较大。说明此期灌溉是决定小麦产量的关键时期, 灌水后有使耗水强度加大的趋势, 尤其是处理 E, 开花至成熟期间日耗水强度仍达 4.6 mm, 是处理A 的 4.65 倍, 全生育期耗水量是处理A 的 1.92 倍(表 3), 但产量并未大幅度地增加, 这是造成其水分利用率不高的内在原因之一。

2.2　水分利用率(WUE)

WUE 最低的是处理 E, 其次是处理A (表 4), 说明了后期过多灌溉和土壤严重缺水都显著影响了冬小麦对土壤水分的利用效率。处理B、C、D 较高, 三者之间差异不显著。两品种的蛋白质产量水分利用率(PWUE)一直表现为处理B、C、D 的较高, 处理 E 则显著下降; 济南 17 处理A 最低; 而鲁麦 21 处理 E 最低, 处理A 的则较高。灌水的边际效益分析表明, 对于济南 17 来说, 以处理B 的效益最高, 而对于鲁麦 21, 处理C 的效益最高, 说明品种间对灌水的效果有差异。处理 E 的边际效益为负数, 说明过多灌水造成了浪费。

3　讨　论

本实验研究的结果表明, 处理A 只灌了底墒水, 此后再也没有得到水的补给, 全生育期耗水量达 261.93 mm, 减去播前所灌的底墒水 60 mm 剩 201.93 mm, 显然这是播前土壤的供水。旱地小麦能够利用较深层次的土壤水分[4], 历年降水的田间入渗深度为 70～280 cm[5], 结合本试验的结果, 进一步说明了挖掘土壤水库水资源的重要性。但另一方面, 我们应该考虑到土壤供水的可持续性利用, 土壤储水的透支会造成干旱化趋势的加剧, 影响作物的可持续生产。

处理B 和C 浇了底墒水和拔节水及孕穗水, 根系的生长状况与水分利用率紧密相连[6]。而底墒水的作用在于保证小麦出苗齐全, 形成壮苗, 促进根系下扎, 充分利用土壤较深层次的水分, 拔节至开花期是麦田用水量急增的时期, 此期亦是小麦营养生长和生殖生长并进的时期, 对水分的需求很大[4,7]。因此, 在小麦全生育期只灌三水(底水、拔节水和孕穗水)条件下已形成高产高效低定额灌溉的生理基础[3]。这三水对于保穗、增加粒数、提高粒重具有重

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

要意义[8]。因此我们得出: 处理B、C 和D 具有较高的水分利用率。但过多灌水(处理E)由于使耗水量急剧升高, 易造成冬小麦生育后期的根系缺氧而早衰, 产量亦得不到提高, 使产量水分利用率和蛋白质产量水分利用率及效益显著降低。

如何做到小麦高产优质节水灌溉? 有人认为减少灌水次数和灌溉定额, 可以达到节水不减产甚至增产的目的[2, 3, 7, 9, 10]。通过本试验, 我们认为不能单纯地减少灌溉次数和灌溉定额, 而应结合生长发育状况和麦田土壤水分条件综合考虑。如采用干湿交替法可有效提高水分利用率[11], 但这里有个"度"的问题。在防雨池栽条件下, 由于严格控制降水的渗入, 在全生育期不浇水或浇水量较少的情况下, 冬小麦对土壤水分的适应性在苗期得以发挥, 但在中后期则是由于极度缺水打破了适应性的界限, 向着损伤方面转化, 结果影响了光合性能、干物质积累、氮代谢水平等, 最终不利于产量的形成和品质的提高[2, 4, 12]。伴随着生育的进程, 土壤失水严重, 进一步限制了生长发育, 如不进行限量灌溉, 虽利用土壤的储水较多, 但由于形成的生物量较少, 不利于水分利用率的提高。

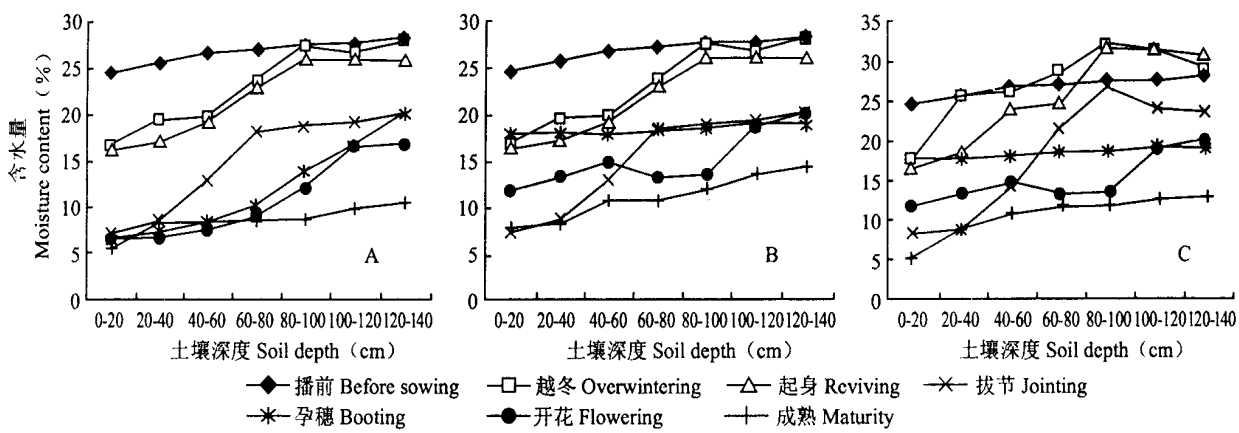

图1 处理A、B、C 土壤水分含量垂直变化

Fig. 1 Vertical changes of soil moisture content of treatment A, B and C at different stages

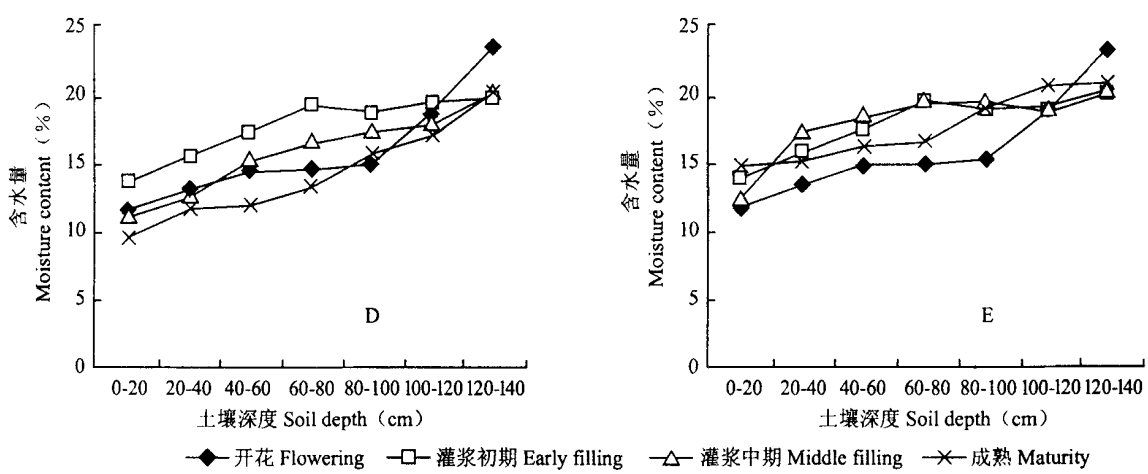

图2 处理D、E 不同时期土壤水分含量垂直变化

Fig. 2 Vertical changes of soil moisture content of treatment D and E at different stages

底墒水是保证小麦充分利用土壤深层水的基础, 考虑到此地区冬季降水偏少, 春季旱情严重的概率较大, 提倡(不一定必须)灌越冬水以弥补自然降水的不足。我国小麦生产中每年秋季的11月中下旬进行麦田的冬灌, 对于保护冬小麦的安全越冬, 特别是防止翌年的经常性的早春干旱具有重要的作用; 灌拔节水对于满足此时期冬小麦的快速生长非常重要, 而且此期也是易旱的季节, 在一般情况下都应灌溉; 此后再灌生育期中较为关键的孕穗水或扬花水。但每次灌水的具体时间需考虑到降水情况, 当降水量接近这时期的需水量时才能考虑到免浇。在大田自然条件下, 根据降水情况而掌握灌水时期至关重

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要。此地区小麦全生育期常年(50 a 平均)降水为 195.2 mm, 如每次灌溉 60 mm, 则灌三水达 180 mm, 加上降水量, 共 375.2 mm, 再加上播前的土壤储水, 就能满足小麦生长的需要。在生产实践中每次浇水都可根据具体情况, 如自然降水、土壤含水量、麦苗生长状况等, 稍早或稍迟进行调节。

表 3　不同土壤水分处理麦田耗水量、阶段耗水量、模系数及日耗水量

Table 3　Total consumption, stage consumption percentage and daily consumption of water under different soil moisture conditions

生育时期(月-日, 天数) Growth stage (M-d, days)		处理 Treatment				
		A	B	C	D	E
播种-越冬 Sowing-overwintering (10-06～11-20, 45)	CA (mm)	57.09	57.09	57.09	57.09	57.09
	CP (%)	21.80	16.65	13.81	13.40	11.37
	CD (mm)	1.27	1.27	1.32	1.32	1.32
越冬-起身 Overwintering-reviving (12-09～03-11, 13)	CA (mm)	16.59	16.59	27.00	27.00	27.00
	CP (%)	6.33	4.84	6.53	6.34	5.38
	CD (mm)	0.15	0.15	0.24	0.24	0.24
起身-拔节 Reviving-jointing (03-11～04-08, 28)	CA (mm)	88.41	88.41	101.01	101.01	101.01
	CP (%)	33.45	25.79	24.43	23.71	20.12
	CD (mm)	3.16	3.16	3.61	3.61	3.61
拔节-开花 Jointing-flowering (04-08～05-04, 24)	CA (mm)	67.11	122.94	164.91	164.91	164.91
	CP (%)	25.62	25.87	39.88	39.88	39.88
	CD (mm)	2.80	5.12	6.87	6.87	6.87
开花-成熟 Flowering-maturity (05-03～06-05, 33)	CA (mm)	32.73	57.78	63.15	75.66	151.80
	CP (%)	12.50	16.86	15.27	17.76	30.23
	CD (mm)	0.99	1.75	1.91	2.29	4.60
全生育期 Total growth (10-06～06-05, 243)	CA (mm)	261.93	342.81	413.53	425.95	502.09
	CD (mm)	1.08	1.41	1.70	1.75	2.07

注: CA、CP 和 CD 分别代表耗水量、耗水模系数和日耗水量。

Note: CA、CP and CD stand for consumption amount, consumption percentage and daily consumption respectively.

表 4　不同土壤水分处理的产量水分利用率、耗水系数和边际效益[1)]

Table 4　Water use efficiency, consumption coefficient and marginal profit under different moisture treatments

品种 Cultivars	项目 Items	处理 Treatment				
		A	B	C	D	E
济南 17 Jinan 17	WUE[2)]	1.275c[3)]	1.590a	1.470b	1.590a	1.245c
	PWUE	0.168c	0.223a	0.216a	0.223a	0.205b
	K	780.05a	631.37c	683.48b	626.78c	802.26a
	MP	-	6.33	3.79	4.14	-1.64
鲁麦 21 Lumai 21	WUE	1.560b	1.635a	1.590ab	1.68a	1.350c
	PWUE	0.205a	0.208a	0.201a	0.207a	0.164b
	K	640.44b	618.44b	619.70b	392.63c	743.81a
	MP	-	4.44	6.91	3.14	-1.21

注: 1) 边际效益系指增加 1 次或 2 次灌水后, 单位水投入的效益(水价按 0.30 元/m^3 计, 小麦籽粒按 1.10 元/kg 计);

2) WUE、PWUE、K 和 MP 分别表示产量水分利用率[kg/(hm^2·mm)], 蛋白质产量水分利用率[kg/(hm^2·mm)], 耗水系数(kg/kg)和边际效益(元/m^3)。

3) 表中数字后相同的大小字母分别表示在 0.01 或 0.05 水平上不显著, 否则相反。

Note: 1) Marginal profit indicates the profit per unit cost as increasing irrigation (The price of water and grain is 0.30 yuan/m^3 and 1.10 yuan/kg respectively);

2) WUE, PWUE, K and MP stand for water use efficiency [kg/(hm^2·mm)], protein water use efficiency [kg/(hm^2·mm)], consumption coefficient (kg/kg) and marginal profit (yuan/m^3), respectively.

3) Figures with the same capital or small letters are not different at the 0.01 or 0.05 level, or else, contrary, respectively.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参 考 文 献:

[1] 贾秀领, 蹇家利, 马瑞昆, 等. 高产冬小麦水分利用效率组分特征分析[J]. 作物学报, 1999, 25(3): 309- 314.

[2] 许振柱, 于振文, 李 晖, 等. 限量灌水对冬小麦光合性能和水分利用的影响[J]. 华北农学报, 1997, 12(2): 65- 70.

[3] 于振文, 岳寿松, 沈成国, 等. 高产低定额灌溉对冬小麦旗叶衰老的影响[J]. 作物学报, 1995, 21(4): 503- 508.

[4] 许振柱, 于振文, 董庆裕, 等. 不同栽培条件下旱地麦田土壤水分变化规律[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(3): 20- 24.

[5] 李玉山. 旱地高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, (3): 353- 356.

[6] Mooney Ham Lanadell J, Chapin III F S, Ehleringer F A, et al. Ecosystem physiology responses to global change [A]. Walker B, Steffen W, Canadell J, et al. The terrestial biolsphere and global change impolication for natural and managed ecosystem [C]. Cambrige: Cambrige University Press. 1999. 141- 188.

[7] 亓新华, 于振文, 刘 芳, 等. 中高产麦田水分变化规律及节水灌溉方案的研究[J]. 山东农业大学学报, 1993, 24(1): 55- 62.

[8] 余松烈. 小麦高产途径的商榷——兼论穗、粒、重的矛盾[J]. 科学通报, 1975, 20(4): 156- 161.

[9] 王美云, 李少昆, 赵 明. 关于玉米光合作用与叶片水分利用效率关系的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(3): 245- 252.

[10] Srivali B, Renu K C. Drought-induced enhancement of protease activity during monocarpic senescence in wheat [J]. Current Science, 1998, 75(11): 1174-1176.

[11] 梁宗锁, 康绍忠, 邵明安, 等. 土壤干湿交替对玉米耗水特性及水分利用的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 398- 394.

[12] 许振柱, 于振文, 亓新华, 等. 土壤干旱对冬小麦旗叶乙烯释放、多胺积累和细胞质膜的影响[J]. 植物生理学报, 1995, 21(3): 295- 301.

Effects of limited irrigation on water use of winter wheat

XU Zhen-zhu[1,2], YU Zhen-wen[1]

(1. *Key Laboratory of Wheat Physiology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong*, 271018, *China*; 2. *Key Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, CAS, Beijing* 100093, *China*)

Abstract: The studies were carried out in rainfall-proof trough during 1999～2000 to investigate the dynamic changes of soil moisture and effects of soil moisture on water use of winter wheat. The results showed that the use capacity of winter wheat was high for soil supplying water. Water consumption rate was the highest during jointing to flowering, around 5.71 mm/d; but it was the smallest during over-wintering to turning-green, about 0.25 mm/d. Water consumption rate became higher when irrigated. Water consumption rate of treatment E (total irrigation norm was 420mm) was 4.65 times of that of treatment A, and consumption norm in whole growth period was 1.92 times. Water use efficiency of winter wheat was influenced considerably by over-irrigation or severe deficit of soil moisture, and over-irrigation decreased obviously marginal profit of irrigation and resulted in the waste of water resource.

Key word: limited irrigation; water consumption; water use efficiency; winter wheat

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net