

水分胁迫效应对冬小麦生长发育的影响研究

陈晓远¹,高志红¹,罗远培²,刘晓英²

(1. 韶关学院 英东生物工程学院,广东 韶关 512005;2. 中国农业科学院农业气象研究所,北京 100081)

摘要:利用温室盆栽试验,研究水分胁迫效应对冬小麦生长发育的影响。结果表明:苗期水分胁迫,拔节期与开花期复水能激发冬小麦根、茎、叶、冠生物量显著增长,三叶至分蘖期控水的处理绿叶面积日增量最大;前期一直干旱灌浆期复水能明显减缓植株的衰老速率。冬小麦前期经受中度或重度水分胁迫,拔节期复水后增产效果最大,前期经受中度水分胁迫,开花期复水后水分利用效率最高。确定土壤含水量占田间持水量 55% 为冬小麦分蘖期水分胁迫效应增产节水的水分临界指标。

关键词:冬小麦;水分胁迫效应;生长发育

中图分类号:S512.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2004)03-0043-04

Research on Water Stress Effects on Growth and Development of Winter Wheat

CHEN Xiao-yuan¹,GAO Zhi-hong¹,LUO Yuan-pei²,LIU Xiao-ying²

(1. Yingdong College of Bioengineering,Shaoguan University, Shaoguan 512005,China;

2. Agrometeorology Institute,Chinese Academy of Agricultural Sciences,Beijing 100081,China)

Abstract:The greenhouse experiments on effects of treatments of different soil moisture and duration on growth, development and yield of winter wheat were conducted by controlled irrigation. The response of growth, development and yield of winter wheat to water stress were studied. The results indicated that, for treatments with soil relative moisture being 55% and 40%, the daily increment of the root, stem, leaf, and shoot dry weight increased remarkably after 7 days of rewatering during the jointing stage and the flowering stage compared to that of the same period of ck. The treatment with a soil relative moisture of 40% during the 3-leaf stage to the tillering stage had the maximum daily green leaf areas increment. Rewatering during the filling stage could retarded the senescent rate of the plant. For treatments with soil relative moisture being 55% or 40% at its previous growth stage had the maximum yields-increasing effects after rewatered during the jointing stage, and the treatments with soil relative moisture being 55% at its previous growth stage had the maximum water use efficiency after rewatered during the jointing stage. In the light of high yield and high benefit of winter wheat, the soil relative moisture of 55% is the critical index of water stress to economic irrigation and high yield during the tillering stage of winter wheat.

Key words:Winter wheat;Water stress effect;Growth and development

干旱造成的水分亏缺,是农作物经常性和周期性经历的一种逆境胁迫现象。在冬小麦进化历程中,为适应环境求得生存发展已形成了有效的适应反应机制,使其能应付不同程度的水分亏缺^[1]。据报道^[2,3],较轻度的水分亏缺影响叶片扩张生长,但

对光合作用速率不产生明显影响。在某些发育期,减少土壤水分,诱导轻度至中度水分胁迫,可避免植物徒长,改变植物体内水分和养分的分配,使同化物从营养器官向生殖器官转移,有利于经济产量的形成^[1,4,5]。水分胁迫的作用还表现为“记忆”和“补

收稿日期:2003-10-20

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G1999011709);国家自然科学基金项目(49971042)资助

作者简介:陈晓远(1968-),男,内蒙古丰镇人,教授,博士后,主要从事作物和水关系方面的研究。

偿”作用,适度水分亏缺条件下,水分胁迫解除后的补偿机制具有重要的利用价值^[6,7]。本研究通过冬小麦不同生育期持续干旱及复水的温室盆栽试验,研究植株生长发育和产量形成对水分胁迫效应的反应机制,探讨有限水资源的高效投入时期对提高作物产量和水分利用效率的影响。

1 材料和方法

本文所使用的数据是1998~2000年在中国农业大学科学园温室测得的。供试土壤为草甸褐土,最大毛管持水量21.05%。供试品种为北农6号,采用盆栽方法。管材为硬质灰色聚乙烯,内径10 cm,长度50 cm。管子内衬塑料薄膜,以便取样和防止水分渗出。每管施磷酸二氢铵3 g,将肥料和土壤混匀后按容重 1.325 g/cm^3 装管,管子底部铺一层细砂,以防止根系盘绕管底,小麦生长期不再追施其他肥料。精选种子,于冰箱内 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下春化50 d。播种前2 d,将管中土壤含水量增加到田间持水量,以保证苗齐苗壮,长到三叶一心(DAP10,DAP指播种后天数)时定苗,按大田常规播种密度 450 万株/hm^2 的标准折算,每管定株4棵,此时分别以土壤含水量占田间持水量的80%(充分供水)、55%(中度缺水)、40%(重度缺水)3个水平开始控制土壤水分,分蘖期(DAP28)、拔节期(DAP35)、开花期(DAP55)及灌浆期(DAP63)进行复水(分别由55%和40%复水到80%),并以全生育期一直保持恒定水分的处理作为对照。试验期间用感量为0.1 g的德国产PE-24型电子台秤,采用隔日称重法严格控制各处理水量恒定。试验按占田间持水量的百分数共设置11个水分处理,其中A(80%田持)为充分供水对照;B(55%田持)为中度缺水对照;C(40%田持)为重度缺水对照;B-A1,B-A2,B-A3,B-A4和C-A1,C-A2,C-A3,C-A4分别为在分蘖期、拔节期、开花期、灌浆期从B水分和C水分复水至A水分的复水处理(复水时间均为8 d)。每个处理重复3次,按照取样要求,设30个盆栽,共330个盆栽。

处理后第2 d开始取样和测定,每7 d取样1次。每个处理每次取3个重复(3个管子,12株小麦)。取样方法为,先将长有小麦的土柱从管子中取出,放入水池中浸泡,直至土柱变得松散,然后用水冲洗根系,最后从水中取出完整的植株。将根和冠从茎基部分开,以备进一步测量植株干重(烘干法)和叶面积(量取样本植株每片完全展开时完整的绿

色叶片的长度和最大宽度,然后采用叶面积拟合公式进行计算)。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长发育对水分胁迫的反应

利用水分控制期结束、复水前后冬小麦生长发育状况变化的试验观测资料,探讨作物生长发育对水分胁迫效应的反应机制。

2.1.1 复水后根系生长发育状况的变化 图1给出了复水后7 d冬小麦根重日增量处理与相应对照间的对比,可以看出不同复水处理的同期根干重日增量与对照相比均显著增加。其中分蘖期复水处理与拔节期复水处理为正增长,开花期复水处理与灌浆期复水处理为负增长。表明水分胁迫结束后,分蘖期复水和拔节期复水能诱发刺激冬小麦根系增长,开花期复水和灌浆期复水可以缓解根系的衰亡。特别是中度水分胁迫后开花期复水其根重的日下降率比对照减少4倍多。

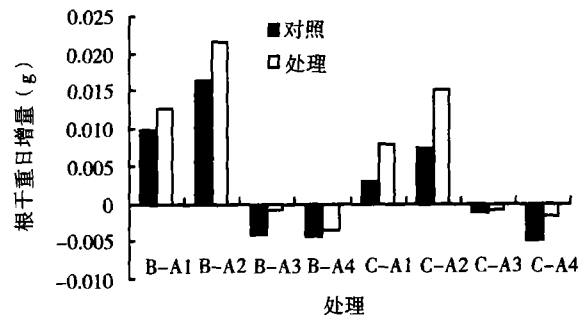


图1 复水后7 d冬小麦根干重日增量处理与对照的对比

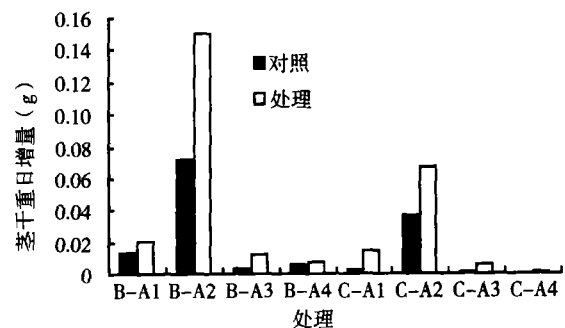


图2 复水后7 d冬小麦茎干重日增量处理与对照的对比

2.1.2 复水后茎生长发育状况的变化 复水后7 d冬小麦茎干重日增量处理与对照的对比表明(图2),复水处理的茎干重日增量与同期对照相比均有显著增加;其中在重度水分胁迫处理中,C-A4处理的茎干重日增量增长最明显,其次是C-A1处理,它们分别是同期对照的7.75倍和6.08倍;在中度水分胁迫处理中,B-A3处理的茎干重日增量增长最明

显,其次是 B-A2 处理,它们分别是同期对照的 3.11 倍和 2.01 倍。这表明重度水分胁迫后灌浆期复水对茎干重的累积率促进最大,其次是分蘖期复水;中度水分胁迫后开花期复水对茎干重的累积率促进最大,其次是拔节期复水。

2.1.3 复水后叶生长发育状况的变化 复水后 7 d 冬小麦绿叶面积日增量处理与对照(图 3)的对比表明,各处理绿叶面积日增量与同期对照相比,均显著增加。前期中度水分胁迫后开花期复水处理的绿叶面积日增量是同期对照的 5.89 倍;前期重度水分胁迫后拔节期复水处理的绿叶面积日增量是同期对照的 8.27 倍;前期中度水分胁迫后灌浆期复水处理及前期重度水分胁迫后开花期和灌浆期复水处理的绿叶面积日增量在同期对照绿叶面积日增量负增长的情况下,仍然呈显著正增长。

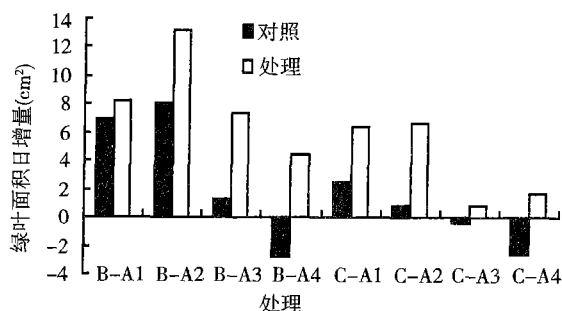


图 3 复水后 7 d 冬小麦绿叶面积日增量处理与对照的对比

由图 4 看出,复水后 14~17 d,各处理绿叶面积日增量与同期对照相比,仍显著增加。中度水分胁迫后复水处理的绿叶面积日增量大小顺序为 B-A4 > B-A3 > B-A2 > B-A1;重度水分胁迫后复水处理的绿叶面积日增量大小为 C-A1 最大,达到同期对照的 15.35, C-A3 和 C-A4 次之, C-A2 最小。由此可见,在中度水分胁迫条件下,水分胁迫时间越长,复水后(7~17 d)越有利于其绿叶面积的增加。在重度水分胁迫条件下,随胁迫时间的延长,复水后其绿叶面积的增加量降低,但不会出现负增长,三叶一分蘖期控水的处理绿叶面积日增量最大。另一方面,水分胁迫也会使叶面积峰值的出现时间推后,胁迫程度越重,胁迫持续时间越长,推后的时间也越长。

图 5 给出了复水后 7 d 冬小麦绿叶干重日增量处理与对照的对比,可以看出各复水处理的绿叶干重日增量与同期对照相比也都显著增加,或在对照呈显著负增长时,仍呈明显的正增长,表现出与绿叶面积日增量相同的规律。这表明冬小麦存在某种记忆功能^[6],中轻度水分胁迫结束后复水能诱发其记

忆功能的恢复,刺激冬小麦叶面积的快速增长,使绿叶干重增加,重度水分胁迫结束后复水,可以明显减缓叶片的衰老速度。

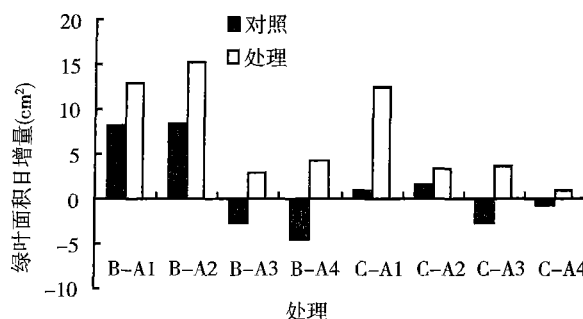


图 4 复水后 14~17 d 冬小麦绿叶面积日增量处理与对照的对比

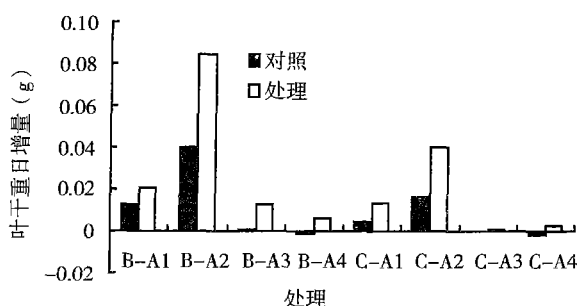


图 5 复水后 7 d 冬小麦绿叶干重日增量处理与对照的对比

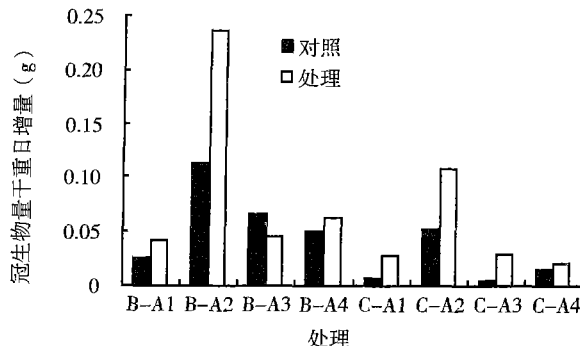


图 6 复水后 7 d 冬小麦冠生物量干重日增量处理与对照的对比

2.1.4 复水后冠生物量的变化 复水后 7d 冬小麦冠生物量干重日增量处理与对照的对比(图 6)表明,各处理的冠生物量干重日增量均比同期对照显著增加,中度水分胁迫后拔节期复水处理的冠干重日增量是同期对照的 2 倍;重度水分胁迫后开花期复水处理的冠干重日增量是同期对照的 6.61 倍。水分胁迫能提高冬小麦生育后期冠生物量干重增重最大期的日增重量,最大比对照增加了 161%。三叶一分蘖期中度水分胁迫,拔节期复水的处理无论是根、茎、叶生物量干重,还是冠生物量干重在所有水分胁迫处理中均为最高,其冠生物量干重和叶面积甚至还超过了一直保持充分供水的对照,表现出

明显的激发效应^[8]。

2.2 水分胁迫对冬小麦产量和水分利用效率的影响

表 1 显示,水分胁迫后不同生育期复水的处理,其生物产量和经济产量都超出相应对照。其中,B-A1,B-A2,B-A3,B-A4 分别比 B 增产 10.35%,25.72%,14.03%,4.40%,增产幅度最大的处理是 B-A2; C-A1,C-A2,C-A3,C-A4 分别比 C 增产 103.38%,107.60%,90.12%,69.27%,增产幅度最大的处理是 C-A2。因此,从增产的角度来看,无论是中度胁迫,还是重度胁迫,拔节期复水的效果均为最好,而重度胁迫后复水的增产幅度更大。但是,从收获指数(HI)和水分利用效率(WUE)的数据看,B-A2 和 C-A2 却都不是最大。B-A2 的 HI 为 23.15%,是所有处理中最小的,WUE 为 1.04,比最大处理 B-A3 低 18.75%,可见拔节期复水的增产效应是以消耗较多的水量为代价的(B-A2 的耗水量是

所有复水处理中最大的,只比 A 少 7.28%),而且容易造成营养生长过度(B-A2 的生物产量甚至比 A 提高了 4.21%),降低经济系数。B-A3 的产量只比 B-A2 降低 9.3%,而 HI 及 WUE 则比 B-A2 高 32.57% 和 23.08%,耗水量(WC)和耗水系数(WCC)也比 B-A2 低 26.47% 和 18.75,故中度水分胁迫后开花期复水,在产量损失较小的情况下,能够节约大量用水。

重度水分胁迫处理的 HI 和 WUE 都大于中度胁迫处理(C-A3 除外),WC 和 WCC 均小于中度胁迫处理(C-A3 除外),说明干旱有利于光合产物向子粒的调运,这与前人的研究结果是一致的^[9]。在重度胁迫处理中,C-A4 的 HI 最大,其次是 C-A3,说明营养生长期遭受严重干旱的作物,生殖生长期复水后,由水分胁迫效应产生的激发作用几乎全部用于生殖器官的生长,以尽可能完成它的生命周期和保存后代。

表 1 水分胁迫对冬小麦产量和水分利用效率的影响

处理	产量 (kg/hm ²)	生物量 (kg/hm ²)	收获指数 (%)	耗水量 (mm ³ /hm ²)	耗水系数 (mm ³ /kg)	水分利用效率 (kg/m ³)
B-A1	5 342.27	16 421.08	32.53	4 534.7	0.85	1.18
C-A1	3 130.02	9 014.05	34.73	1 693.0	0.54	1.85
B-A2	6 086.30	26 286.13	23.15	5 855.6	0.96	1.04
C-A2	3 195.02	9 106.05	35.09	2 356.5	0.74	1.36
B-A3	5 520.28	17 985.90	30.69	4 305.5	0.78	1.28
C-A3	2 926.15	6 601.33	44.32	2 674.4	0.91	1.09
B-A4	5 054.03	16 494.08	30.64	5 608.7	1.11	0.90
C-A4	2 605.01	4 901.02	53.15	2 134.3	0.82	1.22
A	6 520.33	25 223.26	25.85	6 315.1	0.97	1.03
B	4 841.24	12 715.64	38.07	3 856.9	0.80	1.26
C	1 539.08	3 365.17	45.72	1 155.4	0.75	1.33

3 结论与讨论

水分胁迫后复水,冬小麦生长表现出明显的激发效应。复水后 7 d,各处理的根干重、茎干重、叶干重、绿叶面积、冠干重与同期对照相比,日增量均显著增加。即在不致死作物的胁迫程度内,随着胁迫的逐渐解除,作物也将逐渐恢复其生长,减少或消除胁迫所带来的不利影响。

叶面积扩展对水分胁迫十分敏感。无论是发生在哪一个生育期的水分亏缺,只要持续一定时间,都会对叶片扩展产生抑制。三叶至分蘖期控水的处理绿叶面积日增量最大。

三叶至分蘖期中度水分胁迫拔节期复水的处理,其根、茎、叶、冠干重在所有水分胁迫处理中均为最高,冠干重和叶面积还超过了一直保持充分供水的对照。冬小麦前期经受中度或重度水分胁迫拔节期复水后增产效果最大,前期经受中度水分胁迫开花期复水后水分利用效率最高。

参考文献:

- [1] 霍治国,白月明,温 明,等. 水分胁迫效应对冬小麦生长发育影响的试验研究[J]. 生态学报,2001,21(9): 1527-1535.
- [2] 盛宏达,奚 雷,王韶唐. 小麦子粒发育初期土壤水分亏缺对植株各部位光合作用的影响[J]. 植物生理学报,1986,12(2):109-115.
- [3] Boyer J S. Leaf enlargement and metabolic rate in corn, Soybean, and Sunflower at various leaf potentials[J]. Plant physiol,1970,46:233-235.
- [4] 陈晓远,罗远培. 开花期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J]. 作物学报,2001,27(4):512-516.
- [5] 王朝辉,李生秀. 不同生育期缺水和补充灌水对冬小麦氮磷钾吸收及分配影响[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(3):265-270.
- [6] 杨晓光,于沪宁. 夏玉米水分胁迫与反冲机制及其应用[J]. 生态农业研究,1999,7(3):27-31.
- [7] 郭贤仕. 谷子旱后的补偿效应研究. 应用生态学报,1999,10(5):563-566.
- [8] 刘晓英,罗远培,石元春. 水分胁迫后复水对冬小麦叶面积的激发作用. 中国农业科学,2001,34(4):422-428.
- [9] 胡 芬,赵聚宝,姜雁北,等. 有限供水下冬小麦生态生理效应的田间试验. 中国农业气象,1994,15(6):29-31.