

苗期土壤含水率变化对冬小麦根、冠生物量累积动态的影响

杨贵羽¹, 罗远培², 李保国¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 中国农科院气象研究所, 北京 100081)

摘要: 为合理进行冬小麦生长过程的适时水分调控, 该文对不同生育期土壤含水率对冬小麦根冠影响的试验进行分析。采用的试验包括 5 种水分处理, 即苗期充分供水, 其它生育期进行中度胁迫(FB)、重度胁迫(FC)处理和从苗期开始的中度水分胁迫(SB)、重度水分胁迫(SC)处理以及全生育期充分供水的对照处理。试验结果表明: 苗期土壤含水率对冬小麦根、冠的生物量, 生物量的累积速率产生不同影响, 使全生育期内根、冠占植株总量的比例和根冠比发生改变。当苗期水分改变时, 生育初期, 根、冠均没有明显响应, 但到播后 16 d, 播后 20 d, 根、冠生物量分别随胁迫程度的增加而减小(FB> SB, FC> SC); 在播后 28 d, SB 和 SC 的根系质量累积速率超过对应 FB 和 FC 处理, 且苗期受胁迫处理的冬小麦在生殖生长阶段所维持的根系大于苗期不受胁迫处理的根系; 冠的累积速率则在播后 28 d 和 35 d 也出现 SB> FB, SC> FC 的结果, 到播后 42 d, SB、SC 的冠质量分别超过对应的 FB、FC 的冠质量。在此过程中, 根、冠生物量占总质量的比例发生改变, 根表现为 SB> FB, SC> FC; 冠在营养生长阶段 FB> SB, FC> SC, 在生殖生长期 SB 达到最大; 相应根冠比改变。

关键词: 冬小麦; 根冠比; 土壤含水率

中图分类号: S152.7; S152.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)02-0083-05

0 引言

作物的生长过程不仅取决于自身的遗传特性, 而且还受到外界环境条件如: 土壤含水率、光照、气温以及其它营养成分的影响。作为影响作物生长发育的主要环境因素——水分, 受到了广泛关注。水分参与到植株生长的各个环节之中, 在不同生育阶段, 水分对植株的影响不同。苗期作为植株生长发育的开始阶段, 苗期水分的变化必然引起植株器官以及产量的响应。然而, 目前绝大多数研究集中于不同生育期土壤含水率的变化对植株的经济产量^[1]和水分利用率^[2]的影响, 对苗期水分变化对作物影响的研究却较少。由于植株各器官是在个体生长发育过程中循序建立的, 干旱对经济产量的影响始于干旱对各器官正常生长过程的抑制, 仅了解作物生育过程中某一个生育期的响应结果不能完全反映出作物在适应环境变化过程中的动态特性, 所以本文以冬小麦的根、冠作为研究对象, 论述从苗期开始的土壤含水率变化对根、冠以及二者作用关系的影响。

1 试验材料与方法

本文试验结果来自于 1999 年中国农业大学科学园温室内进行的冬小麦试验数据。为保持除土壤含水率之外的环境因素不影响植株生长, 对温室内温度、湿度、辐射强度以及 CO₂ 浓度进行 24 h 监控, 使试验过程中除土壤含水率外的其它环境因素维持一致水平, 同时在种植土壤中施加合理的底肥。

1.1 试验材料

本次试验采用管栽方法。选用内径为 10 cm, 长度

为 50 cm 的 PVC 管; 且用田间持水量为 21.5%, 土壤容重为 1.32 g/cm³ 的草甸褐土填充。冬小麦在冰箱内春化 60 d 后播种, 保证以 3 株/管定苗, 并开始控水处理。该试验共采用 5 种水分处理, 每个处理 3 个重复, 具体生育期土壤含水率的变化见表 1。

1.2 土壤含水率及根、冠生物量的测定方法

土壤含水率的测定: 利用称重法控制土壤含水率, 每隔 2 d 测定一次, 当土壤含水率低于设计的水分下限时补水到含水率上限, 使冬小麦总处于设计的土壤含水率范围内。根、冠生物量的测定: 将取样所得的冬小麦从茎基部剪下, 根、冠分离, 擦拭去污后, 将根、冠分别在 105℃ 下杀青 0.5~2 h, 75℃ 下恒温 1~2 d, 然后放入干燥器中冷却, 用 1/10000 的天平测量质量, 即可得根、冠质量。

表 1 试验过程的具体水分处理

试验时间	处理	土壤含水率(占田持%)				
		苗期	三叶期到成熟期	处理	苗期	三叶期到成熟期
1999年	A	75~85	75~85	A		75~85
	SB	55~65	55~65	FB	75~85	55~65
	SC	35~45	35~45	FC		35~45

注: A: 充分供水处理; SB: 苗期开始中度胁迫的处理; SC: 苗期开始重度胁迫的处理; FB: 苗期充分供水, 此后中度胁迫的处理; FC: 苗期充分供水, 此后中度胁迫的处理。

2 试验结果分析

冬小麦前期长根后期长冠的生长特性使得当苗期土壤含水率变化时, 冬小麦的根系首先产生响应。当水分亏缺时, 根系生物量减小, 生长速率降低; 此时, 冠对水分的变化并不敏感; 当进入三叶期以后, 由于前期生长基础和后期环境作用的共同影响, 冬小麦根、冠的生长行为发生明显变化, 根、冠对苗期水分的响应出现差

收稿日期: 2003-03-20 修订日期: 2003-12-20

基金项目: 国家自然科学基金发展规划项目(G1999011700); 国家自然科学基金项目(49971042)

作者简介: 杨贵羽(1973-)女, 博士生, 北京市海淀区圆明园西路2号 中国农业大学资源与环境学院土壤和水科学系, 100094

异。

2.1 根响应

苗期(三叶期之前)是冬小麦根系发育和生长的主要阶段,此生育阶段的光合产物的形成与累积是营养器官分化的基础,参与到整个生长过程中。苗期不同土壤含水率对根系生物量的影响并不相同,影响持续的时间存在差异。

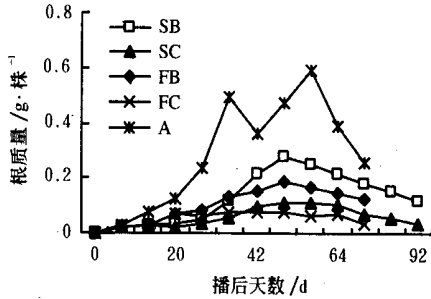


图 1 苗期不同水分作用下的根质量累积动态过程

Fig. 1 Accumulation of root dry weight in different water conditions in sowing stage

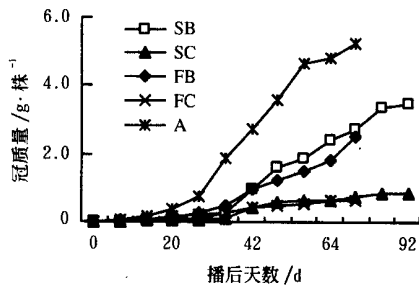


图 2 苗期不同水分作用下的冠质量累积动态过程

Fig. 2 Accumulation of shoot dry weight in different water conditions in sowing stage

在苗期,根系的生长分两个阶段,生育早期,根生长所依赖的营养物来源于胚乳,几乎不受外界环境的影响,此阶段对水分的变化不敏感,胁迫与否对根系生物量累积的影响并无明显差异,基本以遗传特性为基础,遵循一种较慢的生长趋势(见图 1 和表 2);当胚乳退化后,初生根出现,根系生长所需的水分、养分主要源于其存在的环境,水分不足对根系产生明显的抑制。由图 1 可见,当生长进入分蘖期(播后 16 d),SB, SC 的根系生长累积速率小于 FB, FC 的根系生长累积速率,且胁迫程度越大,生长累积速率越小;播后 20 d, SB, SC 的根系质量分别为 FB, FC 的 52.9%, 33.86%, SB 的根系日相对累积量仅为 0.0562 g/d, SC 的根系日相对累积量则出现负增长,而 FB, FC 的根系累积速率分别为 0.3621 g/d 和 0.3634 g/d。尽管到分蘖末期(播后 25 d)中度胁迫的根系以极小的生长速率缓慢增长,重度胁迫处理的根系则几乎维持不增长,充分供水处理的生长也变得相对缓慢,特别是 FC 处理出现下降,但由于前期良好的生长基础,FB, FC 的根系生物量仍大于 SB, SC 的根生物量。当进入拔节期(播后 28 d),苗期两种水分处理的根系生长趋势发生根本性变化:苗期受胁迫处理的植株进入快速生长期而苗期充分供水处理的植株的生长则减慢,到播后 35 d, SB, SC 的累积速率分别达

到 0.2059, 0.0833 g/d, 且 SB 的根系质量超过 FB 的根系质量;使得播后 43 d SC 处理的根系质量也超过 FC 处理的根系质量,但均远远小于 A 处理的根系质量。到成熟期,根系的衰老脱落速率随着苗期给水量增多而增大。纵观不同缺水条件下冬小麦根系质量的累积动态,其原因可能为:当冬小麦在苗期发生水分亏缺时,尽管根系生长受到一定抑制,但在其自适应能力的作用下,随着时间的演进,冠的生长相对增加,对水分的需求量增加,根系为追逐水源,增加水分的吸收量而促进生长,如初生根、次生根的分支数增加^[3],根毛的密度增大^[3],根系长度增大^[4]等,冬小麦根系结构的变化均使根系质量明显增大;而当苗期充分供水,后期胁迫时,由于苗期累积的同化物较多的分配于根系,已形成一庞大的根系,冗余的根系消耗更多的同化产物^[5,6],不仅造成用于进行分配和再分配的苗期同化物的数量减少^[7],而且导致新合成同化物中用于根、冠结构建成和维持生命的部分减少,根冠间出现激烈竞争,因而根生物累积量严重受阻,导致生长后期出现此处理根系生物量小于苗期受胁迫的对应处理。这也说明,苗期水分充足不利于生育后期缺水条件下根系的生长和维持。由图 1 和表 2 可见,生育早期适当程度的水分亏缺可促进拔节期根系生物量的累积,使成熟期的根系得以维持。尽管苗期一定程度的缺水有利于冬小麦在生育后期拥有一个相对适宜的根系,但是由于植株自调节能力有限,当水分胁迫程度增加,水分亏缺严重制约了根系的生理活性和生长机能时,植株的自适应能力减弱,甚至被破坏,从而中度、重度胁迫处理的根系生物量表现出 SB > SC, FB > FC 的结果。

表 2 苗期不同土壤含水率对冬小麦根系相对生长速率的影响

Table 2 Influence of different water on root relative growth rates of winter wheat g · d⁻¹

播后天数/d	对照处理	苗期充分供水处理		苗期非充分供水处理	
	充分供水处理 A	中度胁迫处理 FB	重度胁迫处理 FC	中度胁迫处理 SB	重度胁迫处理 SC
0	0	0	0	0	0
10	0.0019	0.0018	0.0018	0.0022	0.0018
16	0.1875	0.0986	0.1032	0.0630	0.0314
20	0.3802	0.3621	0.3634	0.0562	-0.0195
28	0.0849	0.0239	-0.0096	0.0387	0.0520
35	0.1255	0.0832	0.0223	0.2059	0.0833
43	0.1344	0.0183	0.0098	0.1065	0.1316
49	-0.0455	0.0400	-0.0125	0.0500	0.0191
55	0.0518	-0.0152	-0.0225	-0.0201	0.0016
62	0.0360	-0.0178	0.0179	-0.0195	-0.0114
69	-0.0482	-0.0232	-0.0694	-0.0201	-0.0479

苗期不同水分处理不仅影响根系的生物总量和生长相对速率,而且使最大根系质量出现的时间,持续的时间均发生改变。尽管受胁迫处理的最大根系质量(除 SC 外)均比 A 处理有所提前,但苗期水分充足而后期胁迫越重,最大根系质量出现的越早;最大根系质量的持续时间随胁迫程度的加大而延长,表现为 SC > SB,

FC > FB; 随苗期给水量增大而延长, FB > SB, FC > SC。这可能是由于以下原因: 当土壤水分严重亏缺时, 冬小麦采用维持根系质量的方式完成整个生育周期; 而当苗期供水量充足时, 植株拥有大量冗余根系的缘故。这可由图 1 根系生长累积曲线直观的体现出来。

2.2 冠的响应

苗期不仅是根系生长的关键时期, 也是植株器官的分化阶段, 此生育期土壤含水率的变化不仅影响根系的生长, 而且在很大程度上决定着冠的生长。但在生长过程的各阶段, 冠对水分的响应不同。由图 2 和表 3 可见, 由于苗期是根系生长的绝对优先阶段, 大量的同化物被运往根系, 分配到冠层的同化物量较少, 因而土壤含水率的变化并不引起冠生长的积极响应, 播后 16 d 之前各处理的冠以相同且极其缓慢的生长速率进入到新的生育阶段——分蘖期。之后, 随着生育时间的演进, 苗期水分的作用逐渐在冠的生长过程中表现出来。到播后 28 d, 苗期供水充足的冠生物量累积较快, FB, FC 处理的相对生长速率分别为 0.1495 g/d 和 0.0563 g/d, 而苗期受胁迫处理的冠生物量累积较慢, 累积速率仅约为 FB, FC 的 0.4~0.5 倍左右; 此时的冠生物量表现为 FB (0.257 g) > FC (0.202 g) > SB (0.087 g) > SC (0.0598 g), 特别是 SC 处理其生长过程线呈现一近似的水平生长趋势。这些变化说明苗期充足的水分使植株尽可能的发挥其遗传特性, 合成大量的同化物, 在根、冠间协调分配, 从而在促进一个繁茂的根系建成的同时, 也促进了冠层生物量的累积。当后期水分继续亏缺时, 较大的根系吸收相对多的水分, 使冠层受胁迫的影响较小, 冠质量继续增大。当生长进入孕穗期, 冠的生长形势与生育前期出现不同, 由前期苗期充足给水的快速生长转向苗期供水不足处理的快速生长, SB, SC 的冠生长累积速率分别为 0.4~0.5 g/d 左右, 冠质量超过 FB 和 FC 处理, 而 FB 的累积速率基本与前期相似, FC 的累积速率尽管超过生育前期, 但远小于 SB 和 SC 处理。造成此现象的原因与苗期根系的生长有密切关系, 尽管生长进入生殖生育期, 冠生长占有绝对的优势, 分配于冠层的同化物量相对增加, 冠质量累积速率表现出一定的上升趋势, 但由于苗期充分给水, 已建成一个庞大且具有冗余的根系, 维持根系生长的同化物量增多, 冠层同化物的分配量自然降低, 因而出现苗期充足供水处理的冠生物量较低的结果。在苗期水分作用的基础上, 生育后期不同的供水量进一步影响冠的生长。随胁迫程度的增加, 累积速率降低, 冠生物量减小, 到成熟期 SC 处理的冠生物量为 SB 处理冠生物量的 25.4%, FC 处理的为 FB 处理的 24.73%, 但与 A 处理相比较, 受胁迫处理的冠生物量远远不及 A 处理, 即使最大冠生物量的 SB 处理也仅为 A 处理的 66.4% 左右。

表 3 苗期不同土壤含水率对冬小麦冠层生长速率的影响

Table 3 Influence of different water on shoot relative growth rates of winter wheat $g \cdot d^{-1}$

播后 天数 /d	对照处理		苗期充分供水处理		苗期非充分供水处理	
	充分供水 处理 A	中度胁迫 处理 FB	中度胁迫 处理 FC	中度胁迫 处理 SB	重度胁迫 处理 SC	
0	0	0	0	0	0	0
10	0.0039	0.0039	0.0039	0.0017	0.0017	0.0017
16	0.0989	0.0989	0.0989	0.1005	0.1005	0.1005
20	0.2973	0.2238	0.3137	0.2563	0.1796	0.1796
28	0.1981	0.1495	0.0563	0.0612	0.0284	0.0284
35	0.1553	0.1340	0.0354	0.2984	0.1112	0.1112
43	0.1952	0.1148	0.0810	0.4191	0.4937	0.4937
49	0.0751	0.0509	0.0212	0.1255	0.0654	0.0654
55	0.0536	0.0367	0.0217	0.0111	0.0031	0.0031
62	0.0432	0.0289	0.0266	0.0077	0.0073	0.0073
69	0.0051	0.0534	-0.0013	0.0512	0.0298	0.0298

正如根系一样, 不同生育期水分的变化影响冠生物总量, 相对累积速率。当冬小麦在苗期供水充分时, 其冠的生长提前进入成熟期, 且维持一个较小的最大冠层生物量; 而苗期受胁迫处理的冠进入成熟期的时间则推后。对于较大冠质量的维持时间, 重度胁迫的各处理大于中度胁迫。

2.3 根、冠关系的响应

由前面的分析可见, 苗期土壤含水率对冬小麦的根系, 冠层均产生影响, 且存在一定的后效应^[8], 从而导致植株总质量发生变化。因而, 在不同土壤含水率条件下, 根、冠各生育期生物量占有量以及对应的根冠比也均明显不同。由图 3 和图 4 可见, 苗期充足的供水不仅使营养生长阶段的根冠比小于苗期胁迫处理, 而且整个生殖生长阶段, 冠质量占有量严重降低(较充分供水处理 A)。如: 拔节期之前, SB, SC 的根系质量占有量远远超过 FB, FC, 可见苗期环境效应进一步增进遗传特性的表达, 促进冬小麦在生育前期根系获得更大干物质分配的优先权而表现出根系质量占总重的比例大于充分供水处理, 但随胁迫程度的增加, 环境的抑制作用增强, 冬小麦的自适应能力降低, 根系质量占有量又表现出下降趋势; 而此时在相对较大的土壤含水率条件下, 较小的根系足以促进分蘖, 拔节期冠的生长, 对应的冠质量占有量较大。分蘖期, 尽管各处理的根冠比相差量由前期的 0.8 降低到 0.15, 然而 FB 处理的根生物量占有量仅为 SB 处理的 60.74%, FC 处理的根生物量占有量仅为 SC 处理的 65.41%; 当播后 43 d, 冬小麦的生长中心转移, 根系质量占有量小于 A 处理, 但仍大于苗期充分供水后期胁迫的对应各处理; 之后, 随着冠层生殖器官的分化, 生殖生长加速, 开花, 灌浆对土壤含水率的需求增加。为获得冠层生长所需要的大量水分, SC 和 FC 以促进根系生长的方式而增加吸水量, 表现出大的根生物量占有量, 且超过 A 处理; 而中度胁迫则在维持根系活性的前提下, 吸收适量的水分来满足冠的生长, 表现出生殖生长期根生物量占有量较 A 处理小的结果。

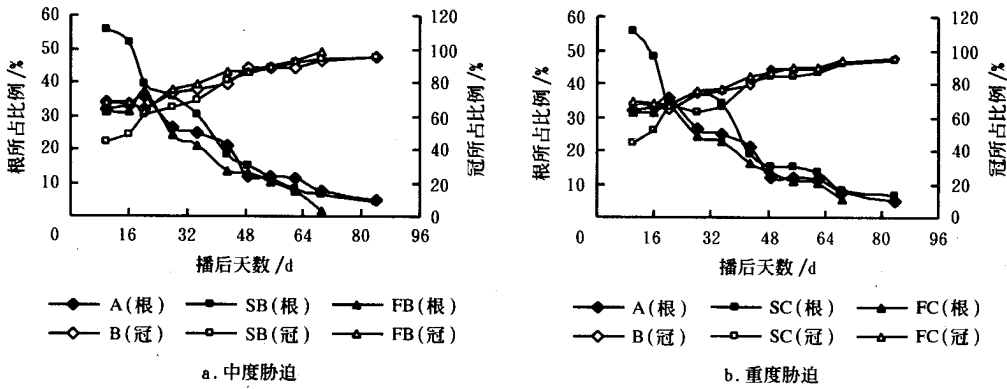


图3 苗期不同水分处理根、冠生物量占总生物量的关系

Fig 3 Proportion of root weight and shoot weight to total weight in sowing different water condition

根生物量占总生物量的比例增加或减少与冠生物量的累积密切相关。当生育前期根生物量占总生物量较大时,冠的生长较为缓慢,如苗期发生水分胁迫的各处理根生物量占总生物量的比例大于苗期水分充足的各处理,对应的冠生物量较小;生育初期的根冠比较大;当营养生长结束,冬小麦进入生殖生长阶段时,冬小麦一生受中度胁迫处理的冠质量占有量超过其它处理。由图4的根冠比可见以孕穗期为界,前期根冠比较大后期根冠比较小,有利于促进冬小麦生长的遗传特性的发挥,增加生育后期冠层生物量的累积;而前期根冠比较小,后期根冠比大不利于植株的生长,特别是对冠层生物量累积具有限制作用。因而,苗期适当的缺水对冠生物量累积具有促进作用。

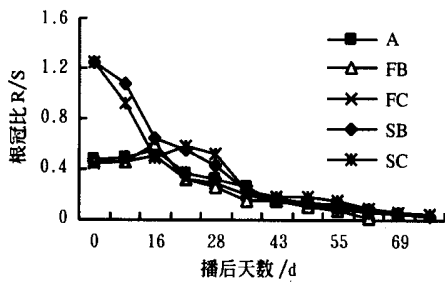


图4 苗期不同水分条件下的根冠比(R/S)变化

Fig 4 Variance of ratio of root to shoot in sowing water conditions

3 结论与讨论

由以上冬小麦根、冠及根冠关系对水分变化的响应可见:冬小麦任何生育期的生物量均源于前一个生育期的基础和各生育期水分的影响,任何生育阶段的生物累积量均由此阶段的同化物合成量和前期生物量的再分配构成^[7]。因而,根、冠对苗期水分变化的响应存在于植

株生长的全过程;保持苗期和生育后期土壤含水率为55%~65%田间持水量(FC)时,将有利于植株遗传特性的发挥,即前期长根后期长冠的特性,从而保证全生育期维持一个适宜的根冠比,使得成熟期冬小麦冠生物量占有量增大,这与60%土壤含水率是作物生长的适宜含水率的结论^[9]基本相一致。

苗期中度水分胁迫也可以减缓成熟期的冬小麦根系的衰老,根系质量较大且维持的时间延长。这有利于在生育后期水分亏缺条件下,冠层生物量的累积,经济产量的提高;进一步证实了实践中“蹲苗”的合理性。

[参考文献]

- [1] Dusek D A, Musick J T. Deficit irrigation of winter wheat: southern plains, An A S A E M eeting Presentation, Paper No. 922608 Nashville, Tennessee 1992, December 15~ 18
- [2] 徐萌,山仑.节水农业及其生理生态基础[J].应用生态学报,1991,2: 70- 76
- [3] 马元喜,小麦的根[M].北京:中国农业出版社,1999
- [4] 汤章城.植物对水分胁迫的反应和适应性 II.植物对干旱的反应和适应性[J].植物生理学通讯,1983,(4): 1- 7
- [5] 张大勇.半干旱区作物根系生长冗余的生态分析[J].西北植物学报,1995,15(5): 110- 114
- [6] Passiura J B. Roots and drought resistance[J]. Agricultural Water Management, 1983, 7: 265- 280
- [7] 郝晓玲.冬小麦各生育期¹³C光合产物的分配与再分配[J].华北农学报,1986,1(3): 41- 48
- [8] Asseng S, Richer J T, et al. Root growth and water absorption during water deficit and rewatering in wheat[J]. Plant and Soil, 1998, 201: 265- 273
- [9] 冯广龙,罗远培,等.不同水分条件下冬小麦根与冠生长及功能间的动态消长关系[J].干旱地区农业研究,1997,15(2): 73- 79

Influence of different soil water in seedling stage on root and shoot biomass accumulation of winter wheat

Yang Guiyu¹, Luo Yuanpei², Li Baoguo¹

(1. Resource and Environment College, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. China Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

Abstract: An experiment was designed to find the influence of soil water in seedling stage on root and shoot of winter wheat. The experiment consists of 5 water treatments, including mild stress treatment (SB) and severe stress (SC) since three-leaf stage, mild stress treatment (FB) and severe stress (FC) treatment since seedling stage. The results show that root and shoot of winter wheat in all treatments are not susceptible to different water in early seedling stage. After sowing 16 days, weight of root and weight of shoot decrease with reducing of soil water. As for growing rate of every day, root growth rate of SB treatment and that of SC treatment are superior to that of FB treatment and that of FC treatment after planting 20 days and 28 days; While shoot growth rate of SB treatment and SC treatment are larger than that of FB treatment and FC treatment after planting 28 days and 35 days; after 42 days, shoot weights of SB treatment and SC treatment are larger than that of FB treatment and FC treatment. During winter wheat growing period, ratio of root weight to total weight in SB treatment and SC treatment is bigger than that of FB treatment and FC treatment; however, that of shoot has same result only in reproductive stage. The maximum ratio of root to shoot of SB treatment is reached at reproductive growth stage.

Key words: winter wheat; ratio of root to shoot; soil water content

2004 中国设施园艺学术年会预备通知

由中国园艺学会设施园艺分会、中国农业工程学会设施园艺工程专业委员会共同主办, 华中农业大学承办的 2004 中国设施园艺学术年会将于 2004 年 10 月下旬在华中农业大学(湖北·武汉)举行。

本次会议将就设施园艺工程、设施园艺环境控制、设施园艺生产等方面的内容进行学术交流, 并特邀部分知名专家就我国设施园艺中长期发展计划纲要、温室行业的发展动态、设施园艺的发展趋势作专题报告。

会议论文征集范围: 1) 国内外设施园艺新进展; 2) 我国温室行业标准及最新发展动态; 3) 设施园艺环境控制与信息技术应用; 4) 设施园艺作物高效栽培与育种; 5) 设施园艺产品质量控制与安全生产; 6) 设施园艺企业经营与管理; 7) 设施园艺可持续发展对策。论文请用 Microsoft Word 格式编辑, 按《农业工程学报》所要求的论文格式撰写, 论文篇幅(包括图表在内)一般请勿超过 8000 字。论文请提交纸质打印稿 2 份, 并同时通过电子邮件或拷贝有该论文的 3.5 寸软盘提交电子版。所有论文经专家评审, 被接受的论文将在《农业工程学报·增刊》上予以发表, 并将于会前正式出版, 征文截止日期为 2004 年 6 月 30 日。所有会议论文请提交至:

张振贤教授

工作单位: 中国农业大学农学与生物技术学院

地址: 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮编: 100094

电话: (010) 62891952

E-mail: zhangzx@cau.edu.cn

欢迎来自教学、科研、管理、生产一线的科技人员及专家踊跃投稿、参加。有关会务事宜请与以下人员联络:

联系人: 别之龙

工作单位: 华中农业大学园艺林学学院

地址: 武汉市洪山区狮子山街 1 号 邮编: 430070

电话: (027) 87280003, 87280520, 13667263529

传真: (027) 87282095

E-mail: biezl@mail.hzau.edu.cn

联系人: 蒋卫杰

工作单位: 中国农业科学院蔬菜花卉研究所

地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电话: (010) 68918797

E-mail: jiang8797@sina.com

联系人: 高丽红

工作单位: 中国农业大学农学与生物技术学院

地址: 北京市海淀区圆明园西路 2 号 邮编: 100094

电话: (010) 62892825

E-mail: gaolihong111@sina.com

中国园艺学会设施园艺分会
中国农业工程学会设施园艺工程专业委员会
华中农业大学园艺林学学院