

冬小麦对不同土壤水分的生理和形态响应

吴海卿, 段爱旺, 杨传福

(中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 采用深桶栽培结合测坑法, 从冬小麦返青至蜡熟期保持不同的土壤水分, 分生育期对小麦的形态、生理和根系进行了测定。结果表明: 调控土壤水分可明显改变冬小麦根、冠生长量比率。适宜的土壤水分胁迫(田持的 50% ~ 60%) 可促进冬小麦根系发育, 高土壤水分更有利于地上部生长。土壤水分长期低于田间持水量的 60% 时, 较显著地制约叶片的增大, 从而减小截获光能的总叶面积, 最终降低生物学产量和经济产量。土壤水分由“田持”的 46% 升高到 55%, 光合速率增幅不大, 由 55% 提高到 64%, 光合速率出现跃迁式增高, 土壤水分超过 64% 后, 光合速率几乎为等值。说明光合作用对土壤水分存在一个“阈值”反应, 此值为土壤田间持水量的 65% 左右。冬小麦的蒸腾速率随土壤水分递增而一直递增; 综合考虑蒸腾速率与光合速率及水分利用效率之间关系, 可以得出高土壤水分条件下冬小麦存在奢侈蒸腾耗水现象。

关键词: 土壤水分; 冬小麦; 光合速率; 蒸腾速率; 阈值反应; 根冠比

中图分类号: S512.107 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2000) 01- 0092- 05

水分是干旱和半干旱地区作物生长发育的主要限制因素。为有效实施节水农业, 必须从作物对水分不同亏缺程度的生物学反应着手, 认真探索作物形态及生理状况与土壤水分的关系。已有的大田或坑栽研究资料^[1, 2], 多为作物某一生育阶段土壤水分亏缺的试验结果不可避免地加进了此阶段前土壤水分状况对作物的叠加影响; 用盆栽法研究的, 也因栽培盆不够大, 跟生产实际有一定距离^[3~ 8]。目前, 既考虑土壤水分对作物生理过程影响(如光合、蒸腾和耗水), 又兼顾对作物不同组织器官生长发育影响的研究尚不多见。为此, 我们采用深桶栽培结合测坑法, 对冬小麦与土壤水分关系做了综合性研究探讨。

1 材料和方法

试验设在河南新乡市中国农科院农田灌溉研究所作物需水试验场大型防雨棚下, 供试土壤为壤质土, 土壤田间持水量为 24. 8% (重量百分比)。测坑面积 2. 2 m × 3 m, 深 2 m, 有底; 栽培桶内径 30 cm, 桶高 70 cm, 装风干土 60 kg/ 桶。从冬小麦返青至蜡熟期保持不同的土壤水分, 分别为: A(土壤田间持水量的 40% ~ 50%)、B(50% ~ 60%)、C(60% ~ 70%)、D(70% ~ 80%)、E(80% ~ 90%) 5 个处理, 深桶栽 8 次重复, 测坑栽 3 次重复。同等施肥水平(N 180 kg/ hm², P₂O₅ 150 kg/ hm²), 供试小麦品种为中育 3 号。深桶栽培采用感量为 20 g 的电子吊称每隔 3~ 4 d 称重补水, 补水方式为桶中心位埋设塑料管(周边打孔) 供水与地面灌溉相结合。

收稿日期: 1998- 11- 17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目部分内容(59379406)。

作者简介: 吴海卿, 男, 1963 年生, 助理研究员, 农学学士, 主要从事节水农业研究与示范工作。

测坑栽培采用中子法测水定量供水。

在小麦各生育期进行生长发育动态调查, 在小麦孕穗期和灌浆期多次用美国产 LI-6200 型便携式光合作用系统同步测定光合速率、蒸腾速率和气孔传导度。灌浆中期取两个重复测定根系分布、根量和地上部干物质量, 其余进行收获考种。

2 结果与分析

2.1 土壤湿度对冬小麦气孔导度、蒸腾速率、光合速率的影响

以 1996 年 5 月 8 日测试结果(图 1~4)为例说明, 测试时各土壤水分处理的水分实测值分别为田间持水量的 46%, 55%, 64%, 75% 和 84%。

2.1.1 冬小麦气孔导度与土壤水分的关系 由图 2 可见, 土壤水分状况对冬小麦气孔导度的影响是显著的。低土壤水分处理(土壤田间持水量的 46% 和 55%, 下同), 气孔导度最大值出现在 9 时前后。随时间推移气孔导度急剧下降, 最小值分别出现在 15 时和 13 时, 仅分别为最大值的 1/7 和 1/4。表明由于土壤水分较低, 土壤供水速度低于植株失水速度, 植株水分亏缺, 叶细胞膨压降低, 气孔开度变小或部分关闭, 这势必影响植株光合与蒸腾作用。中、高土壤水分处理(“田持”的 64%, 75% 和 84%, 下同), 气孔导度变化幅度较小, 在 0.12~0.17 cm/s 之间。除“田持”的 84% 外, 不同水分处理气孔导度均以 9 时前后为最大, 彼此之间差异也较小。

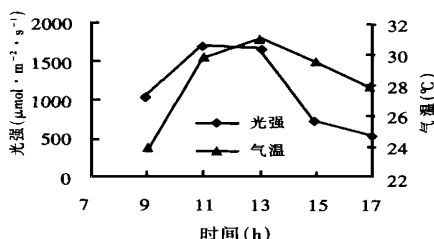


图 1 光强、气温日变化

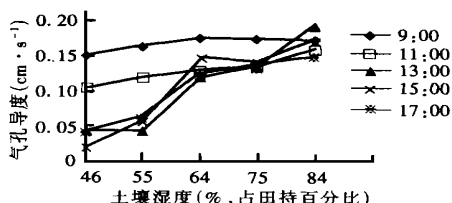


图 2 气孔传导与土壤湿度关系

2.1.2 土壤水分对冬小麦光合作用的影响 土壤水分状况对冬小麦光合作用有显著的影响(图 3)。土壤水分由“田持”的 46% 升高到 55% 时, 光合速率增幅不大, 由 55% 提高到 64% 时, 光合速率出现跃迁式增高, 土壤水分超过 64% 后, 光合速率几乎为等值。说明光合作用对土壤水分存在一个“阈值”反应。此值为土壤田间持水量的 65% 左右, 这可能是发展节水高效农业的基础原理之一。

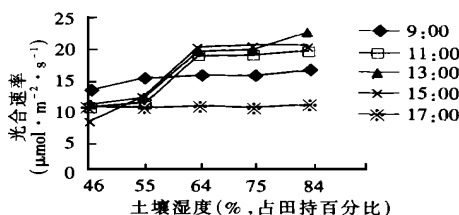


图 3 光合速率与土壤湿度关系

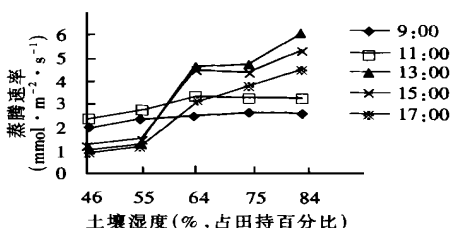


图 4 蒸腾速率与土壤湿度关系

由图3可见,低土壤水分处理,光合速率最大值出现在早晨9时前后,其后略有降低,以至全天均维持于低水平。中、高土壤水分处理,光合速率从9时开始逐渐升高,11~15时持续保持高水平,这段时间的光合速率比低土壤水分处理的高出近一倍,15时以后,随光强减弱,光合速率才随之降低。9时之前和17时之后,不同土壤水分处理的光合速率差异不大,但是导致这一结果的原因是不同的。9时之前,是由于经过一夜的根系恢复性吸水,不同的水分处理其植株含水量彼此间差异不大所决定的;17时以后光合作用主要受光照强度制约(见图1)。

2.1.3 土壤水分对冬小麦蒸腾作用影响 土壤水分对冬小麦蒸腾作用的影响极为显著(图4),11时之前由于气温不高、光照不强,各土壤水分处理蒸腾速率差异不大。对于低水分处理,9~11时则是它们全天蒸腾速率最大的时段,之后蒸腾速率迅速下降,并维持于低蒸腾水平;而中、高水分处理,从11时至13时蒸腾速率大幅度增加,其后略有下降。11时以后中、高水分处理的蒸腾速率是低水分处理的3~4倍。

2.1.4 土壤水分对叶片蒸腾效率的影响 土壤水分对叶片蒸腾效率的影响是复杂的。图5显示,9时之前,各土壤水分处理叶片蒸腾效率几乎无差异;9~11时叶片蒸腾效率随土壤水分增高而有所增加。11时以后,由于大气蒸发力增强,中、高水分处理蒸腾速率大幅增加,其增幅远大于光合作用速率的增幅,而低水分处理因土壤供水不济蒸腾速率反而有所下降。因此,11时以后,随土壤水分增加叶片蒸腾效率则递减。所以,仅用叶片蒸腾速率来衡量土壤水分对作物水分利用效率的贡献是片面的,甚至得出相反的结论。

2.2 土壤水分对冬小麦旗叶和倒二叶叶面积的影响

小麦抽穗后的上部叶片(旗叶和倒二叶)对于穗部发育和经济产量的形成有着重要作用。试验表明土壤水分显著影响功能叶叶面积(表1)。低土壤水分处理(A和B),冬小麦旗叶和倒二叶叶长、叶宽、单叶叶面积均显著减小。说

表1 不同土壤水分处理对冬小麦叶面积影响(20片叶平均值)

处理	旗 叶			倒 二 叶			测坑叶面积指数
	长 (cm)	宽 (cm)	面积 (cm ²)	长 (cm)	宽 (cm)	面积 (cm ²)	
A	11.32 ^c	1.38 ^c	13.02 ^c	16.00 ^c	1.17 ^b	15.51 ^c	2.87 ^b
B	16.60 ^b	1.42 ^b	19.71 ^b	17.05 ^c	1.20 ^b	16.98 ^b	3.09 ^b
C	17.31 ^b	1.66 ^a	23.95 ^a	18.60 ^b	1.31 ^a	20.30 ^{ab}	3.91 ^a
D	18.35 ^a	1.71 ^a	26.18 ^a	20.05 ^a	1.37 ^a	22.89 ^a	3.99 ^a
E	19.00 ^a	1.78 ^a	28.20 ^a	21.35 ^a	1.42 ^a	25.26 ^a	4.31 ^a

注:数据右上角的字母为Duncan新复极差测验在5%显著水平。

明土壤水分亏缺严重影响叶细胞膨胀,从而降低光能截获面积,最终影响光合产物总积累量 and 经济产量。测定测坑叶面积指数,结果相同。

2.3 土壤水分对冬小麦干物质积累和分配的影响

以灌浆初期测定结果为例,随土壤水分增加,冬小麦地上部干物质质量递增,根系量则以B处理(土壤水分田间持水量的50%~60%)最大(表2)。根冠比随土壤水分递增而递减,低水

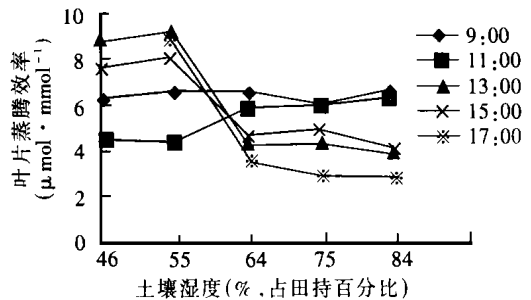


图5 不同土壤湿度下叶片蒸腾效率

分处理(A、B)是高水分处理(D、E)的二倍多。说明冬小麦为了适应土壤水分亏缺,在较干旱的条件下自我调节光合产物分配比例,加强根系发育,以便能吸收到较多的土壤水分维持其生存。这为生产实践适时适量调控供水蹲苗,提高作物抗逆能力提供了理论依据。

表 2 不同土壤水分处理冬小麦地上、地下部干物质分配				表 3 土壤水分对冬小麦产量和水分利用效率的影响				
处理	地上部干物重 (g/桶)	根系量 (g/桶)	根/地上部 (%)	处理	子粒重 (g/桶)	总耗水量 (kg/桶)	桶栽 WUE (kg/m ³)	测坑 WUE (kg/m ³)
A	79.3	23.9	30.14	A	35.6	25.39	1.40	1.21
B	113.2	31.7	28.04	B	52.6	31.05	1.69	1.44
C	132.0	30.8	23.35	C	66.8	36.74	1.82	1.68
D	165.0	22.3	13.50	D	73.9	41.36	1.79	1.55
E	171.3	20.7	12.06	E	83.2	50.05	1.66	1.43

2.4 土壤水分对冬小麦水分利用效率(WUE)影响

随土壤水分由低至高,总耗水量递增,经济产量也同时递增,但是耗水边际产量则递减。无论是桶栽或是测坑栽培,冬小麦水分利用效率均以土壤水分田间持水量 60%~70% 为最高(表 3),分别为 1.82 和 1.68 kg/m³。深桶栽培根系发育基本不受影响,由于其通风透光条件优于测坑栽培,因此,WUE 高于测坑;但是它们的变化趋势是一致的。测坑最高水分处理,出现部分病害和倒伏。

3 结论

土壤水分显著影响冬小麦气孔导度、光合速率和蒸腾速率,冬小麦光合作用对土壤水分存在一个阈值反应,此值为土壤田间持水量的 65% 左右,超过此值土壤水分对光合作用贡献为等效。

土壤水分长期低于土壤田间持水量 60% 时,首先影响冬小麦叶片增大,减小光能截获面积,最终降低生物学产量和经济产量。

土壤水分状况显著影响冬小麦光合产物分配模式,低土壤水分有利于增大光合产物向根系分配份额,高土壤水分更有利于地上部发育。这为返青至拔节初期适当水分胁迫,增加根系生长量,提高抗逆能力,提供了理论依据。

土壤水分由低至高,冬小麦总耗水量递增,产量也递增,但是水分边际产量效应递减,水分利用效率以土壤水分田间持水量 60%~70% 处理最高。在冬小麦生产上除返青至拔节初期适当水分胁迫(“田持”的 50%~60%)外,建议土壤水分调控适宜区域为田间持水量的 60%~80%。要做到这一点,减少灌次数适当增加灌水定额(无深层渗漏)是可取的。

参考文献:

[1] 中国科学院台站网络《农作物耗水量研究》课题组. 作物与水分关系研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 66-72

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

- [2] 程宪国,汪德水,姚晓华. 半湿润易旱区不同水分条件下冬小麦耗水特征分析[J]. 土壤肥料, 1994, (4): 6-9.
- [3] 张维强,沈秀英. 水分胁迫和复水对玉米叶片光合速率的影响[J]. 华北农学报, 1994, 9(3): 44-47.
- [4] 柴守玺,王德轩. 水分亏缺条件下冬小麦几个抗旱性状的应用价值[J]. 华北农学报, 1993, 8(1): 1-6.
- [5] 高根兴,温正国,凌炳镛. 水分胁迫对一季晚稻生长发育及产量的影响[J]. 农田水利与水电, 1993, (9): 12-14.
- [6] 张明炷,石秀兰. 不同土水势对油菜的影响及适宜灌水势值研究[J]. 农田水利与水电, 1992, (5): 8-11.
- [7] 程林梅,阎继耀,张原根,等. 小麦远缘杂种材料对水分胁迫的生理反应[J]. 山西农业科学, 1993, 21(1): 25-29.
- [8] 上官周平,陈培元. 小麦对土壤干旱的生长生理响应及其抗旱性[J]. 陕西农业科学, 1991, (1): 8-9.

Physiological and Morphological Responses of Winter Wheat to Soil Moisture

WU Hai qing, DUAN Ai wang, YANG Chuan fu

(Farmland Irrigation Research Institute, Xinxiang Henan 453003)

Abstract: With deep pots and non-weighting lysimeters, different soil moisture stresses are developed and maintained during turn green to maturing stage in winter wheat. The plant physiological and morphological status and development of root under different soil moistures are measured at all growth stages. It has been shown that the rational regulation of soil moisture can change obviously the ratio of root to shoot, suitable soil moisture stress (50%-60% of field capacity) promotes the development of root system and high soil moisture favors the growth of stem and leaf. The experiment results also show that leaf growth rate reduces when soil moisture content is lower than 60% of field capacity, which leads to total leaf area and solar radiation energy intercepted to decrease, and finally reduces the biological and economical yields in winter wheat. When soil moisture rises to 55% of field capacity from 46% of field capacity, photosynthetic rate increases slightly. However as soil moisture rises to 64% of field capacity from 55% of field capacity, photosynthetic rate increases greatly. If soil moisture is more than 64% field capacity of field capacity, photosynthetic rate almost remains stable. This indicates that photosynthetic rate has the threshold response to soil moisture and the threshold value is about 65% of field capacity. The transpiration rate for winter wheat increases with soil moisture. By considering the relationship among transpiration rate, photosynthetic rate and water use efficiency comprehensively, winter wheat has luxury transpiration to consume much more water under high soil moisture conditions.

Key words: Soil moisture; Photosynthetic rate; Transpiration rate; Threshold response; Root/shoot ratio