

灌水方式对轻度盐化土壤玉米生长 及土壤水分的影响

史丽艳¹, 牛文全^{1,2}, 张 俊²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以盆栽玉米为研究对象研究了直接浇灌、滴灌、微润灌等 3 种灌水方式下玉米的生长、叶绿素含量和光合速率、蒸腾速率等生理生态指标及土壤水分垂直分布的特征, 结果表明: 灌水方式对玉米生理生态指标有较大影响, 苗期滴灌玉米生长较快, 拔节前期, 微润灌条件下玉米生长最为迅速, 滴灌次之, 直接浇灌生长最慢; 滴灌条件下叶绿素含量最高, 拔节期需水旺季时微润灌叶绿素含量最低。三种灌水方式对玉米光合速率的影响为: 微润灌 > 滴灌 > 直接浇灌。土壤水分特征表明: 微润灌稳定后土壤水分主要分布在 10~30 cm 土层, 滴灌主要分布在 10~40 cm 土层; 苗期、拔节期灌水后取样测定的土壤含水率表明, 作物根系层内微润灌与滴灌均大于直接浇灌时的土壤含水率。

关键词: 玉米; 灌水方式; 生理生态指标; 土壤水分

中图分类号: S275.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0152-05

Effects of different irrigation methods on growth of maize and distribution of soil moisture

SHI Li-yan¹, NIU Wen-quan^{1,2}, ZHANG Jun²

(1. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the growth and physiological parameters such as chlorophyll contents, photosynthetic rate and transpiration rate in maize, as well as the vertical distribution characteristics of soil moisture under different irrigation modes including direct irrigation, drip irrigation and micro embellish irrigation. The results showed that the physiological and ecological indicators of maize were greatly influenced by the irrigation methods. During seedling stage, the plants grew the fastest under drip irrigation; while during the early jointing stage, the plants grew the fastest under micro embellish irrigation, and the slowest under direct irrigation. The content of chlorophyll under drip irrigation was the highest, and it was the lowest under micro embellish irrigation during jointing stage when was the critical period of water requirement for maize. The photosynthetic rate of maize was affected more under micro embellish irrigation than drip irrigation and direct irrigation. The soil moisture was mainly distributed in 10–30cm soil layer under micro embellish irrigation, and in 10–40cm soil layer under drip irrigation when it became stable. According to the measurement results after the irrigations during seedling and jointing stage, the soil moisture content at root system layer under micro embellish irrigation and drip irrigation was wholly larger than that under direct irrigation.

Keywords: maize; irrigation method; physiological and ecological indicator; soil moisture

轻度盐碱化土壤是我国土地资源的重要组成部分。合理的灌水方式不仅可以保证轻度盐碱化土壤中作物的健康生长, 而且可以有效抑制土壤中盐分富集, 因此, 近年来盐碱化土壤中选择适宜的灌水方

式和灌水技术的研究得到广泛的关注和重视。

吕桂军等^[1]通过盆栽试验对不同灌水处理盐渍土壤中玉米生长发育及水热盐变化进行了研究, 认为交替灌溉比常规灌溉与固定灌溉更适合盐渍土壤

收稿日期: 2012-10-19

基金项目: 国家高技术发展计划(2011AA100705); 高等学校学科创新引智计划(B12007)

作者简介: 史丽艳(1987—), 女, 山东聊城人, 硕士生, 主要从事灌溉理论与节水技术研究。E-mail: sdshily@ sina. cn。

通讯作者: 牛文全(1972—), 男, 甘肃甘谷人, 副研究员, 博士, 主要从事灌溉理论与节水技术研究。E-mail: nwq@ vip. sina. com。

中玉米的生长发育;胡田田等^[2,3]研究了局部灌水方式对玉米不同根区氮素吸收与利用以及土-根系统水分传导的影响,表明交替灌水方式可以提高氮肥的利用率,能够更好地利用各部分根系资源,满足作物需水;王兴鹏等^[4,5]研究了不同灌溉方式下枣树根区土壤洗盐效果及对土壤水分与产量的影响,表明洗盐效果大小依次为注灌、坑灌、滴灌,并且注灌具有明显的节水增产效应;王燕等^[6]、陈新明、蔡焕杰等^[7]对无压根区地下灌溉技术进行了试验研究,结果表明该灌溉技术既不降低作物产量,且与滴灌相比可节水 25% 以上。灌水方式的不同直接影响土壤中的水分含量及分布情况,从而影响作物的生长发育、有关生理活动过程,及作物的最终产量和品质。本试验以盆栽玉米为试材,采用直接浇灌(类似于生产实际中的畦灌)、滴灌和微润灌 3 种灌水方式,对人工配置的轻度盐化土壤的玉米生长情况进行研究,试图为轻度盐碱化土壤选择合理的农业灌溉技术和灌水方式提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验在陕西杨凌中国旱区节水农业研究院内的移动式遮雨棚中进行,该地属半干旱偏湿润区,年均日照 2163.8 h,无霜期 210 d。试验土壤取自耕作表层 30 cm 内,按照土壤颗粒组成划分属粘壤土。土壤干容重为 1.27 g·cm⁻³,土壤有机质含量 8.92 g·kg⁻¹,全磷 1.21 g·kg⁻¹,全氮 0.96 g·kg⁻¹,田间持水

率为 24%。按照 NaCl:Na₂SO₄ = 1:1 为研究轻度盐化土壤而配置的试验土壤质量含盐量为 0.25%。供试玉米为郑单 958。

1.2 试验方法与设计

试验采用桶栽形式,试验桶规格:桶壁厚 2 mm,上部直径 52 cm,底部直径 37 cm,高度 56 cm。每桶装土 115 kg,拌入 1.5 kg 活化鸡粪以增加底肥,控制初始含水率为 5%。

试验设 5 个处理,两个重复。灌水方式采用直接浇灌、滴灌、微润灌 3 种,直接浇灌与滴灌各设 2 个灌水水平,微润灌设一个灌水水平。直接浇灌与滴灌同时灌水,灌水周期为 4~8 d(各生育期需水量不同,灌水周期不固定)。直接浇灌灌水定额为 30~60 mm,用量杯量取设定的水量,浇入试验桶中。滴灌分别布置 4、10 L·h⁻¹ 两种不同流量滴头,布设间距为 25 cm,灌水定额为 20~40 mm。微润灌设一个处理,微润带埋深为 15 cm,采用自制稳压水箱供水,水头为 2.0 m,整个生育期连续灌水,每天记录水箱水位,微润带稳定入渗量约为 1.35 L·m⁻¹·d⁻¹ (相当于平均供水大约 3.5 mm·d⁻¹)。

按照对角线原则点播玉米,每桶种植 4 穴,每穴 3 粒。玉米 3~4 叶期定苗,每穴留一株,每桶共计留 4 株。所有处理在玉米种植前保持水分条件相同。

试验连接供水设置时,所有塑料桶直线排列,滴灌装置中安装有压力表、水表及开关阀门等,微润灌每隔一定时间将马氏瓶加到定水量(30 L)。不同灌水方法各生育期灌水总量见表 1。

表 1 不同灌水方式各生育期内的灌水量/mm
Table 1 The irrigation amount during different growth periods in different treatments

处理 Treatment	苗期 Seedling stage 04-21—05-23	拔节期 Jointing stage 05-24—06-27	抽雄期 Tasseling stage 06-28—07-10	总灌水量 Total irrigation amount 04-12—07-10
直接浇灌 Direct irrigation	95	150	85	330
滴灌 Drip irrigation	70	125	60	255
微润灌 Micro embellish irrigation	60	120	50	230

1.3 测定内容与分析方法

在玉米 4~5 片叶子时期进行处理,每 10 d 测定一次玉米生理生态指标,玉米株高及近地面茎粗用钢尺测量,每次测量所有植株。叶面积测定采用长、宽比例法^[8](采用常规叶面积系数 0.75),选择长势处于中等水平的植株,由根部到植株顶部测量所有完全展开的绿色叶片面积,每片叶子测定三次,取平均值。

每个生育期用 SPAD-502 便携式叶绿素仪测量一次叶绿素含量,每片叶子测定其基部、中部、尖

部的叶绿素含量,取其平均值。选择晴天采用 Li-6400 便携式光合仪测定光合速率、蒸腾速率。土壤含水率测定采用烘干法,灌水 3~4 d 后取样,直接浇灌处理大致在桶中心位置垂直取样,滴灌在两个滴头的中间,微润灌是在离微润带水平距离 5 cm 左右,所有灌水方式取土层深度为 0~5、5~10、10~20、20~30、30~40 cm。试验数据用 Microsoft Excel 软件中图表分析不同处理植株的长势,用 DPS 统计软件的 Duncan 新复极差法对各处理间的差异性进行分析。

2 结果及分析

2.1 不同灌水方式对玉米株高、茎粗的影响

图 1 为不同灌水方式下玉米株高、茎粗等生理指标的变化曲线。从图 1 可以看出,不同灌水方式对玉米生长的影响差异较大。由于微润灌灌水量较小,初期玉米生长比较缓慢,但是该灌水方式下,玉米生长约半月后,株高、茎粗增长最为迅速。5 月 26 日时,3 种灌水方式中,微润灌玉米株高最低,当玉米生长到 6 月 13 日时,微润灌玉米的株高和茎粗均大于其他 2 种灌水处理,三种灌水方式的株高日最大

大增长量分别为:直接浇灌 $2.55\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,微润灌 $3.71\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,滴灌 $2.84\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$;茎粗为:直接浇灌 $0.302\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,微润灌 $0.501\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,滴灌 $0.358\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。说明微润灌玉米苗期的适度水分胁迫促进了玉米的生长机能,保证玉米植株较粗壮。但拔节期(6 月 13 日—6 月 27 日)微润灌玉米株高增长速率比滴灌与直接浇灌小,分析原因,可能是该阶段玉米耗水量较大,由于微润灌在该时期供水偏少导致植株出现干旱胁迫,生长速率有所降低。但由于微润灌属连续灌水方式,作物根系层含水量基本稳定,比较有利于植株健康生长。

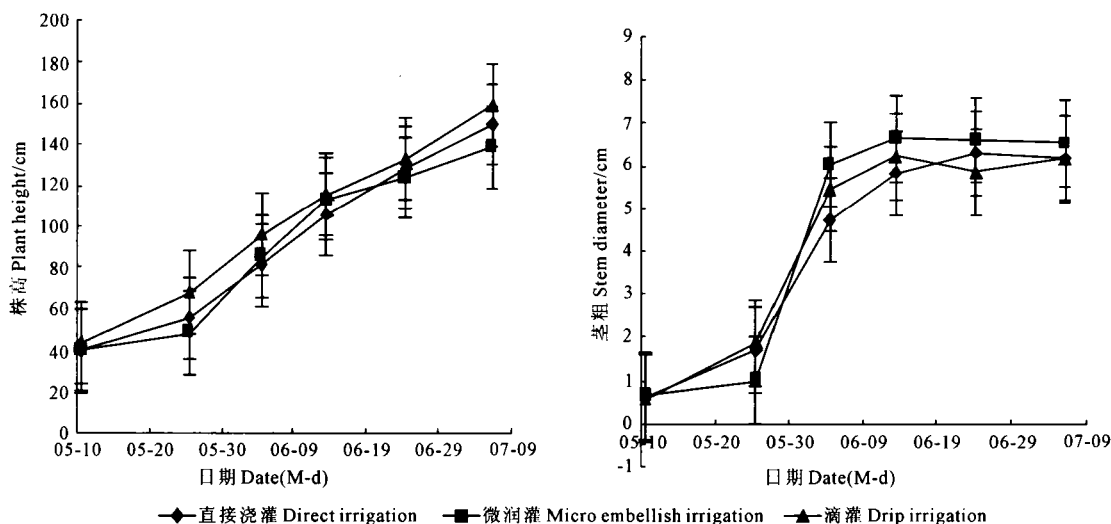


图 1 不同灌水方式对玉米株高、茎粗的影响

Fig.1 Influence of different irrigation methods on plant height and stem diameter of maize

2.2 不同灌水方式对玉米叶面积及叶绿素含量的影响

图 2 为不同灌水方式下玉米叶面积的变化曲线。从图 2 可以看出,灌水方式对玉米叶面积的影响差异也较大。三种灌水方式叶面积日最大增长量均发生在 6 月 4 日—6 月 13 日之间,分别为:直接浇灌 $147.81\text{ cm}^2\cdot\text{d}^{-1}$,微润灌溉 $156.31\text{ cm}^2\cdot\text{d}^{-1}$,滴灌 $153.19\text{ cm}^2\cdot\text{d}^{-1}$ 。微润灌玉米虽然由于供水量小,早期叶面积较小,但由于微润灌属连续灌水方式,作物根系层含水量基本比较稳定,促进玉米叶片生长较宽大,有效光合作用的叶面积最大。

表 2 为灌水方式对玉米叶绿素含量的影响。由表 2 可知,灌水方式对苗期和拔节期玉米叶片叶绿素含量影响差异显著。苗期滴灌玉米叶绿素含量最大,微润灌次之,直接浇灌最小。拔节期微润灌玉米叶绿素含量最小。抽雄期与成熟期灌水方式对叶绿素含量的影响差异不显著,抽雄期三种灌水方式处理的叶绿素含量都达到最大值。由于微润灌为连续

灌水方式,作物根系层土壤含水率较低而稳定,而直接浇灌、滴灌在灌水停止时根层土壤含水率明显大于微润灌处理,而在下次灌水前,土壤水分持续下降,这也可能是微润灌玉米叶片叶绿素含量较低的主要原因。

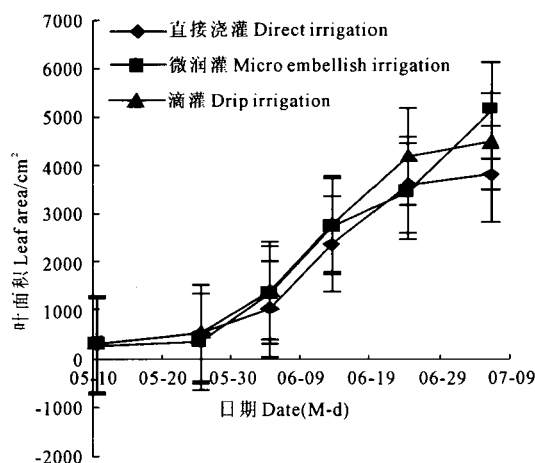


图 2 不同灌水方式对玉米叶面积的影响

Fig.2 Influence of different irrigation methods on leaf area of maize

表 2 不同灌水方式对玉米叶绿素含量(SPAD)的影响

Table 2 Influence of different irrigation methods on chlorophyll content (SPAD) of maize

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Tasseling stage	灌浆期 Grouting stage
直接浇灌 Direct irrigation	29.66c	42.85a	44.10a	43.83a
滴灌 Drip irrigation	41.56a	42.97a	45.65a	44.32a
微润灌 Micro embellish irrigation	36.18b	36.50c	43.65a	43.58a

2.3 不同灌水方式对玉米光合及蒸腾速率的影响

图 3 为拔节初期直接浇灌与滴灌灌水 1 d 后(微润灌为连续灌溉),3 种灌水处理玉米光合速率(P_n)与蒸腾速率(Tr)的日变化。

由图 3 可知:3 种灌水方式处理的玉米光合速

率和蒸腾速率在一天中的变化趋势基本一致,随着光照强度的增强,光合速率和蒸腾速率均呈增大趋势,到达中午 12:00 时,所有处理的光合速率和蒸腾速率均达到峰值。但在 12 时前,微润灌光合速率明显大于其他 2 种灌水方式的处理,达到峰值时,微润灌最大光合速率较直接浇灌高 58%,滴灌较直接浇灌高 25%。微润灌与滴灌玉米的蒸腾速率显著大于直接浇灌处理,相应的光合速率与蒸腾速率的比值,在一天中大部分时刻都是最大(8:00、16:00 除外)。说明,微润灌光合效率最大,有效蒸腾速率也最大,而直接浇灌处理最差,因此,微润灌玉米生长最迅速,该时期玉米的株高、叶面积等各形态指标增长也最快。12 时后,随着光照强度的下降,微润灌玉米光合速率(P_n)与蒸腾速率(Tr)下降速度略大于其他 2 种灌水处理,下午 18:00 时,3 种灌水处理的玉米光合速率(P_n)与蒸腾速率(Tr)均达到日最小值。

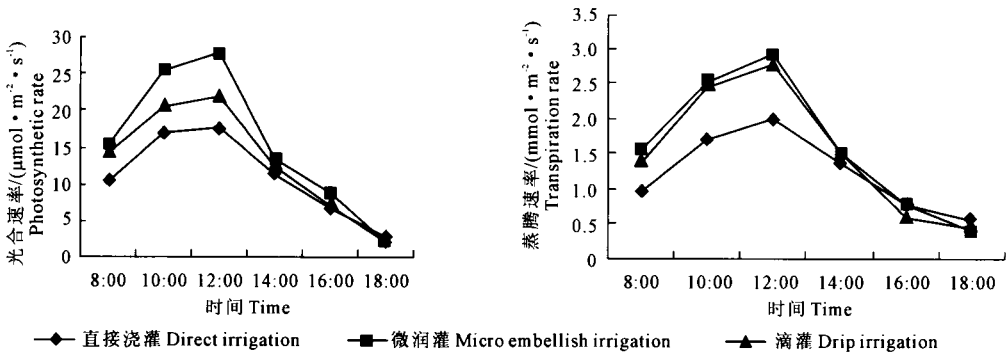


图 3 灌水 1 天后光合速率与蒸腾速率日变化(6 月 5 日)

Fig.3 The diurnal variation of photosynthetic rate and transpiration rate in the 1st day after irrigation (June 5)

2.4 不同灌水方式对土壤水分与灌溉水量的影响

图 4 为灌水方式对土壤含水率的影响,分别为玉米苗期灌水 3 d 后(图 4a)及拔节初期灌水 4 d 后(图 4b)取样测定。从图中可以看出,由于苗期作物根系较浅,耗水量较少,苗期土壤含水率较高,其中直接浇灌地表蒸发较大,苗期土壤含水率小于其他两种灌水处理。滴灌灌水大于微润灌,因此微润灌土壤含水率略低于滴灌处理,最高含水率在地下 20 cm 附近,土壤含水率剖面变化趋势先增大后减小,类似半圆形曲线。滴灌与直接浇灌土壤含水率变化趋势也是先增大后减小,但曲线并不呈规则性变化。在拔节期,玉米耗水量增大,地下 30 cm 内,滴灌与直接浇灌处理土壤含水率较小,而入渗时间延长在重力作用下,随着土层深度的增加,这 2 种灌

水方式的土壤含水率也在增加。与苗期类似,微润灌最高含水率为 23%,也在地下 20 cm 附近,基本与玉米主根系^[9]分布深度一致,能够更好地满足玉米生长需要,并可有效防止深层渗漏,达到精准灌溉和节水目的。因此,虽然微润灌灌水最小(直接浇灌 330 mm,滴灌 255 mm,微润灌 230 mm),但微润灌为连续灌水方式,主要水分分布在玉米主根系层,地表无效蒸发最小,其水分利用效率最高,是一种理想的灌水方式。

图 4c 为土壤 0~40 cm 土层的平均含水率变化图,5 月 10 日为滴灌与直接浇灌灌水前取样测定,之后则为灌水 3~4 d 后测定,从图中更直观地看出微润灌条件下土壤水分长期保持较稳定的状态,而滴灌与直接浇灌随时间的波动较大。

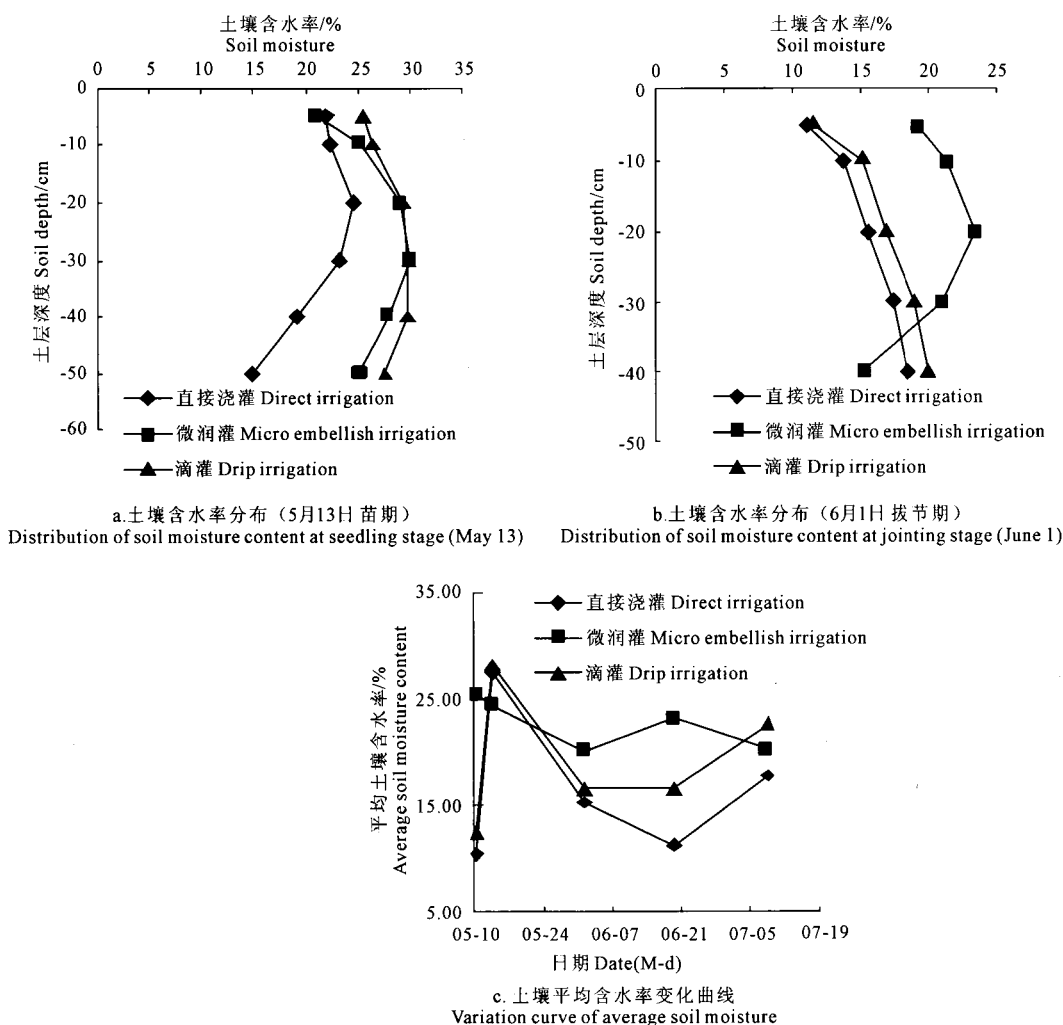


图 4 不同灌水方式下土壤水分分布

Fig.4 Distribution of soil moisture under different irrigation methods

3 结论与讨论

试验表明,玉米的生长状况与灌水方式关系密切。对于轻度盐化土壤,滴灌与微润灌玉米生长状况均比直接浇灌要好,且都比直接浇灌节水;微润灌玉米植株更为粗壮,叶片也较宽大,光合速率最大,拔节期微润灌生长最为迅速。土壤水分条件表明:滴灌与微润灌土壤含水率均大于直接浇灌,可能是因为直接浇灌地表蒸发较大导致土壤水分下降较快,而微润灌土壤水分长期保持较稳定的状态,作物主根系层内含水率一直较高,对作物生长较为有利;与滴灌相比微润灌更节水,水分利用效率也更高。

微润灌溉采用半透膜灌溉系统^[10-12],24 h 不间断的持续供水,灌溉量理论上是随植物的耗水量波动而自动调整,使土壤含水率长期保持适于作物生长的状态。但试验中发现微润带每天的人渗量相差不是很大,在玉米需水较多时微润带日入渗量的变化也不是太明显,作物受到水分胁迫,原因可能是

塑料桶中土壤的通透性受到影响,从而影响了土壤的水汽组合。另外,在灌溉系统中微润带的埋设及布置要根据作物需水量情况选择,微润带供水压力、间距或埋深最优配置有待进一步的试验研究。

参考文献:

[1] 吕桂军,康绍忠.不同灌水处理对盐渍土壤中玉米生长发育及水盐热变化的影响[J].农业工程科学,2006,22(2):408-412.
[2] 胡田田,康绍忠,张富仓.局部灌水方式对玉米不同跟区氮素吸收与利用的影响[J].中国农业科学,2005,38(11):2290-2295.
[3] 胡田田,康绍忠.局部灌水方式对玉米不同跟区土-根系统水分传导的影响[J].农业工程学报,2007,23(2):11-16.
[4] 王兴鹏,严晓燕,李 宁,等.不同灌水方式下枣树根区土壤洗盐效果试验[J].灌溉排水学报,2011,30(1):130-133.
[5] 王兴鹏,姚宝林,王 龙,等.红枣不同灌水方式对土壤水分与产量影响研究[J].节水灌溉,2011,(12):23-25.
[6] 王 燕,蔡焕杰,陈新明,等.不同灌水方式下番茄节水高产机理研究[J].中国生态农业学报,2009,17(2):261-265.

(下转第 175 页)

作用的原初反应,使 PSⅡ 的电子传递活性变小,PSⅡ 反应中心的开放程度减小,潜在热耗散的能力将增强,从而减轻了因 PSⅡ 吸收过多的光能而对光合机构造成破坏。

参 考 文 献:

[1] 张明生,谢波,谈锋,等.甘薯可溶性蛋白、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗旱性关系的研究[J].中国农业科学,2003,36(1):13-16.

[2] Genty B, Briantaisjim, Bakernr. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll II fluorescence[J]. Biochem Biophys Acta,1989,900:87-92.

[3] Schreiber U, Bilger W, Neubauer G. Ecophysiology of Photosynthesis [C]//Schulze E D, Caldwell, M M. Springer-verlag, Berlin,1994.

[4] Holmgren M. Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings: trade-off in tolerance or facilitation[J]. Oikos, 2000,90: 67-78.

[5] Maxwell K, Johnson G H. Chlorophyll fluorescence a practical guide [J]. Journal of Experimental Botany, 2000,51:659-668.

[6] 牛立元,茹振钢,赵花周.小麦叶片叶绿素含量变化规律的研究[J].麦类作物,1999,19(2):36-38.

[7] 梁振兴,李雁鸣.冬小麦生育期间叶片叶绿素含量的消长动态[J].北京农业大学学报,1992,18(增刊):16-20.

[8] 王瑞英,于振文,姜东.冬小麦旗叶衰老过程中光合色素变化及调控[J].莱阳农学院学报,1997,14(3):172-175.

[9] 项俊,陈兆波,王沛,等.CaCl₂对干旱胁迫下甘蓝型油菜抗旱性相关的生理生化指标变化影响[J].华中农业大学学报,2007,26(5):607-611.

[10] 李生秀.植物营养与肥料学科的现状与展望[J].植物营养与肥料学报,1999,5(3):193-205.

[11] 鲁剑巍,陈防,张竹青,等.磷肥用量对油菜产量、养分吸收及经济效益的影响[J].中国油料作物学报,2005,27(1):73-

76.

[12] 张仁和,马国胜,柴海,等.干旱胁迫对玉米苗期叶绿素荧光参数的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):170-176.

[13] 李绍长,胡昌浩,龚江,等.低磷胁迫对磷不同利用效率玉米叶绿素荧光参数的影响[J].作物学报,2004,30(4):365-370.

[14] 孙海峰,战勇,魏凌基,等.开花期干旱对大豆叶绿素荧光参数的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):61-64.

[15] 武维华.植物生理学[M].北京:科学出版社,2003:123-126.

[16] 张守仁.叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J].植物学通报,1999,16(4):444-448.

[17] Demmig Adams B. Carotenoids and photoprotection in plants: A role for the xanthophylls zeaxanthin[J]. Biochimica et Biophysic Acta, 1990,1920:1-24.

[18] Van kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll II nomenclature in plant stress physiology[J]. Photosynth Res,1990,25:147-150.

[19] Zhang Y Q, Mao X S, Sun H Y, et al. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence of winter wheat[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2002,10(4):13-15.

[20] 赵天宏,沈秀瑛,杨德光,等.水分胁迫及复水对玉米叶片叶绿素含量和光合作用的影响[J].杂粮作物,2003,23(1):33-35.

[21] 张秋英.冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):95-98.

[22] 赵会杰,邹琦,于振文.叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用[J].河南农业大学学报,2000,34(3): 248-251.

[23] 许大全,张玉全.植物光合作用的光抑制[J].植物生理学通讯,1990,28(4):237-243.

[24] 卢从明,张其德,匡廷云.水分胁迫对小麦光系统Ⅱ的影响[J].植物学报,1993,36:93-98.

[25] 王可盼,许春辉.荧光分光光度计在荧光诱导动力学测定中的应用[J].植物学通报,1997,10(3):53-57.

[26] 罗俊,张木清,吕建林,等.水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素 a 荧光动力学的影响[J].福建农业大学学报,2006,(1):24-30.

(上接第 156 页)

[7] 陈新明,蔡焕杰,王占兵,等.无压根区地下灌溉技术试验研究[J].农业工程学报,2004,20(1):76-79.

[8] 郁进元,何岩,赵忠福,等.长宽法测定作物叶面积的校正系数研究[J].江苏农业科学,2007,(2):37-39.

[9] 刘晶森,安顺清,廖荣伟,等.玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J].中国农业生态学报,2009,17(3):517-521.

[10] 杨文君,田磊,杜太生,等.半透膜节水灌溉技术的研究进展[J].水资源与水工程学报,2008,(6):60-63.

[11] 褚丽姝,葛岩,潘兴辉,等.苹果树微润灌溉技术试验研究[J].节水灌溉,2012,(2):30-31.

[12] 张波.管式半透膜渗透规律实验研究[J].海洋工程,1989,7(4):94-97.