

不同灌溉方式对柳枝稷生长及 光合特性的影响

珊 丹¹, 陈 杨², 荣 浩¹, 田秀民¹

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020;
2. 大唐国际高铝煤炭资源开发利用研发中心, 内蒙古 鄂尔多斯 010010)

摘要:柳枝稷作为一种优良的纤维素类草本能源植物,被认为是一种理想的可再生替代能源之一,同时又具有优良的牧草特性及水土保持功能。研究2种滴灌方式对柳枝稷生长及光合特性的影响,可为其在我国西部地区大面积种植提供依据。研究表明,地上滴灌、地下滴灌10~20cm土层土壤含水量平均值为18.84%、12.41%,灌水量相同时,采用地上滴灌10~20cm土壤含水量要高于地下滴灌。地上滴灌处理下柳枝稷生长发育要显著高于地下滴灌处理。在生育期内,地上滴灌处理下的柳枝稷叶片净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率均高于地下滴灌处理,在柳枝稷生长期,开花期的植物耗水量最大。

关键词:滴灌; 土壤含水量; 净光合速率; 水分利用效率

中图分类号:S157.2 文献标识码:A 文章编号:1007-7839(2019)06-0041-05

Effects of different irrigation methods on the growth and photosynthetic characteristics of switch grass

SHAN Dan¹, CHEN Yang², RONG Hao¹, TIAN Xiumin¹

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources of China, Hohhot 010020, Inner Mongolia; 2. Datang International High Alumina Coal R&D Center, Ordos 010010, Inner Mongolia)

Abstract: Switch grass, as an excellent cellulosic herbaceous energy plant, is considered as one of the ideal renewable alternative energy sources, as well as excellent forage characteristics and soil and water conservation functions. The effects of two kinds of drip irrigation methods on the growth and photosynthetic characteristics of switch grass were studied, which could provide a basis for large-scale planting in western China. The results showed that the average soil water content of the ground layer drip irrigation and subsurface drip irrigation was 18.84% and 12.41%. The soil water content of 10 to 20cm on the ground is higher than that of underground drip irrigation in the same amount of water. The growth of switch grass under drip irrigation on the ground was significantly higher than that of underground drip irrigation. During the breeding period, the net photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency of the switch grass under drip irrigation on the ground were higher than those of underground drip irrigation. In the long period of willow grass, the flowering plants consume the largest amount of water.

Key words: drip irrigation; soil water content; net photosynthetic rate; water use efficiency

收稿日期:2019-03-06

基金项目:大唐国际高铝煤炭研发中心科技项目;中国水利水电科学研究院基本科研业务费专项(MK2017J04)

作者简介:珊丹(1978—),女,博士,高级工程师,主要研究方向为草地生态与水土保持。

我国西部地区降雨量少、蒸发量大、水资源短缺,选择抗逆性强、生产性能好的能源植物作为干旱半干旱地区植被恢复重建的植物品种,对区域生态恢复以及生态文明建设都有重要意义。柳枝稷(*Panicum virgatum* L.)禾本科(*Gramineae*)黍属(*panicum*),多年生丛生 C_4 植物,植株高大、根系发达,具有优良的牧草特性及水土保持功能,同时又被认为是一种理想的可再生替代能源植物^[1]。20 世纪 80 年代,美国已将柳枝稷作为替代传统农作物的主要生物能源植物之一进行了研究与尝试,我国在 20 世纪 90 年代从美国引入了柳枝稷等优良的植物品种作为荒漠化防治植物,通过在荒漠化土地种植,展示出良好的应用前景^[2-4]。目前,柳枝稷在我国的种植主要集中在陕西杨凌、定边,宁夏固原等地区,北京市农林科学院 2008 年起在北京郊区边际土地开展了种植柳枝稷的一系列试验研究^[5],柳枝稷的主要研究包括种子资源、遗传图谱构建、植物抗逆性、种植措施对柳枝稷生长特性、产量等影响以及生物能源转化前景等方面^[6-9]。对于自然条件相对恶劣的干旱半干旱地区,柳枝稷栽培管理等方面的相关研究还较少,本文通过对不同灌溉方式下柳枝稷生长状况及光合特性的分析,探索柳枝稷在我国干旱半干旱地区的建植技术,以期柳枝稷在我国西部地区的引种栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特市东北部沃原奶牛场万亩饲料基地,属于中温带半干旱大陆性季风气候,多年平均降水量 289.2 mm,雨季集中在 6~9 月,多年平均气温 2.2℃,多年平均无霜期 106 d;多年平均蒸发量 1805.1 mm。土壤类型主要为栗钙土,土壤腐殖质层厚度 20~30 cm,有机质含量 2%~3% 左右,全氮 0.1%~0.15%,全磷 0.08%~0.30%,全钾 2%~2.5%,土壤干容重 1.45 g/cm³。

1.2 研究方法

1.2.1 供试材料

供试柳枝稷品种 Common,产自美国,Common 种子来自全球种子子公司(Global Seed Company LLC)。

1.2.2 试验小区设置

试验共设计 1 个因素:灌溉方式。灌溉方式设置 2 个水平,即地上滴灌(I1)、地下滴灌(I2)3 次重

复,共 6 个试验处理,每个试验小区长 14 m,宽 8 m,小区间水平间距为 1 m。

1.2.3 测定指标

(1) 土壤水分

利用 HZR-SWR 智能土壤水分监测系统,动态监测试验小区 10~20 cm 土层的土壤含水量变化,土壤水分监测系统每隔 24 h 采集 1 次数据。

(2) 生长状况调查

植物出苗后,每隔 15 d 每个试验小区选择 10 株正常生长植株,测定株(丛)高度,计算生长速率(cm/d)。柳枝稷的生长速率用每隔 15 d 测定的营养枝高度计算:生长速率(cm/d)=间隔时间内营养枝增加量(cm)/间隔时间(d)。

(3) 地上生物量

植物生长季末,每个处理随机选取 9 个 1 m×1 m 样方,刈割,留茬 5 cm,80 烘干至恒重。

(4) 光合蒸腾特性

不同灌溉方式样地内随机选取长势良好的株丛作为测定株,利用美国拉哥公司(LI-COR)制造的 LI-6400 便携式光合作用系统测定光合作用;分别在柳枝稷拔节期、抽穗期、开花期、完熟期内选择天气晴朗 1 d,测定时间从 9:00 至 11:00,测定不同灌溉处理下柳枝稷的叶片光合参数。测定指标包括净光合速率(net photosynthetic rate, P_n)、蒸腾速率(Transpiration rate, T_r)。水分利用效率(water use efficiency, WUE),采用 $WUE = P_n/T_r$, P_n 为净光合速率, T_r 为蒸腾速率。

1.2.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件对所测数据进行统计分析,用平均值表示测定结果,采用 Excel 2010 制图。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式土壤含水量变化

柳枝稷出苗成活后每 15 d 进行 1 次灌溉,每次灌水 2 h,统计分析灌水后第二天不同灌溉条件下试验地 10~20 cm 土层的土壤含水量(图 1),试验期间所测定的 10~20 cm 土层土壤含水量平均值分别为地上滴灌(I1) 18.84%、地下滴灌(I2) 12.41%,灌水量相同时,地上滴灌 10~20 cm 土壤含水量要高于地下滴灌,这说明在柳枝稷生长发育过程中地上滴灌方式更适合于植物利用土壤水分。

2.2 不同灌溉方式柳枝稷生长状况

试验于 6 月 8 日播种,6 月 21 日地上滴灌(I1)试验小区柳枝稷 80% 出苗,6 月 24 日地下滴灌(I2)

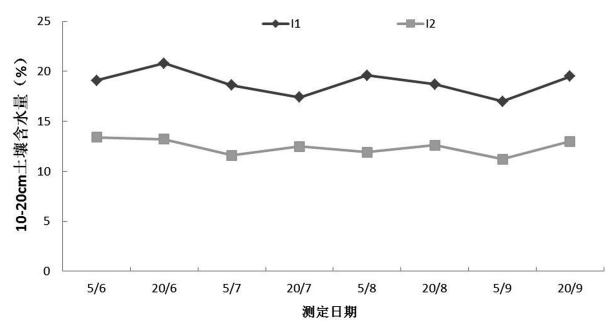


图1 不同灌溉方式样地土壤含水量变化(%)

柳枝稷 80% 出苗,地下滴灌处理比地上灌溉晚出苗 3 d,9 月 29 日试验地内柳枝稷进入枯黄期,柳枝稷从出苗到枯黄,平均生育期为 99 d,不同灌溉方式(I1:地上滴灌、I2:地下滴灌)处理间,柳枝稷物候期出现和持续时间上几乎没有差异。通过对不同灌溉方式柳枝稷植物营养枝高度从出苗期到枯黄期一个生长季内的连续观察(图 2),柳枝稷生长初期地上生物量累积较慢,随后有较大幅度增加,具有明显的季节变化。在一个生长季内,I1 处理下的柳枝稷营养枝高度均高于 I2 处理,并且在生长末期(9 月底),I1 处理下的柳枝稷营养枝高度比 I2 处理高 14.2 cm,经方差分析,变化差异达到显著水平($p<0.05$)。

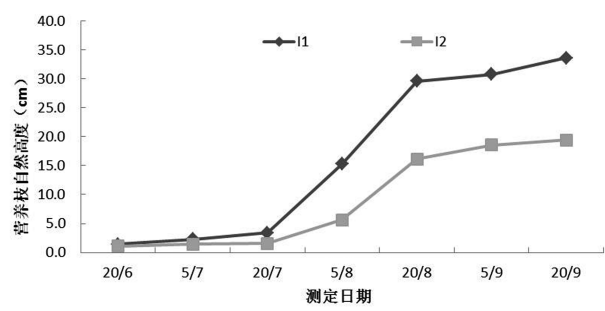


图2 不同灌溉方式柳枝稷株高变化(cm)

柳枝稷不同灌溉方式下生长速率变化表明(表 1),7 月 20 日至 8 月 20 日是柳枝稷生长的快

速时期,即柳枝稷拔节末期至开花之前,并且这一时期柳枝稷的生长速度要明显高于其他时期($p<0.05$),这一时期柳枝稷地上生物量大量积累。对比 2 种灌溉方式,I1 处理下柳枝稷生长速率高于 I2 处理,经方差分析,变化差异未达到显示水平($p>0.05$)。比较地上滴灌和地下滴灌对柳枝稷地上生物量的影响,生长季末期地上滴灌、地下滴灌处理柳枝稷平均干草产量分别为 477.1 g/m^2 、 425.2 g/m^2 ,差异达到显著水平($P<0.05$),从营养枝高度、生长速率、地上生物量 3 个测定指标上分析,地上滴灌的灌溉方式更有利于柳枝稷的生长发育。

2.3 不同灌溉方式对净光合速率的影响

比较生育期内不同灌溉方式下柳枝稷叶片净光合速率(P_n)可以看出(图 3),不同灌溉处理(地上滴灌 I1、地下滴灌 I2)柳枝稷叶片在整个生育期

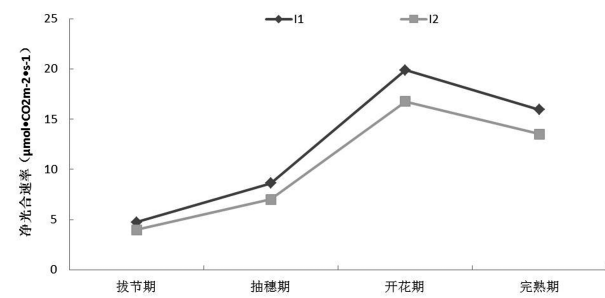


图3 不同灌溉方式柳枝稷叶片净光合速率变化

内净光合速率的变化曲线基本一致,即随着柳枝稷发育时间的延长,叶片逐渐生长,净光合速率逐渐增强,并在开花期达到最高值,进入完熟期柳枝稷叶片开始出现衰老,其光合能力逐渐下降。开花期 I1、I2 处理叶片净光合速率最高,分别为 $19.87\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $16.75\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,I1 处理的叶片比 I2 处理的叶片净光合速率高 18.6%;开花期 I1、I2 处理叶片净光合速率是拔节期叶片净

表 1 柳枝稷生长速率变化 (cm/d)

处理	时间间隔(15d)						平均值	标准差
	20/6-5/7	5/7-20/7	20/7-5/8	5/8-20/8	20/8-5/9	5/9-20/9		
I1	0.03	0.04	0.40	0.48	0.04	0.10	0.18A	0.19
I2	0.01	0.01	0.14	0.35	0.08	0.03	0.10A	0.12
平均值	0.02a	0.02a	0.27b	0.41b	0.06a	0.06a		
标准差	0.01	0.02	0.13	0.06	0.02	0.03		

注:小写字母表示时间间隔内生长速率差异显著($p<0.05$),大写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。

光合速率最低时的 4.18 倍、5.12 倍;在一个生育期内, I1 处理下柳枝稷叶片净光合速率均高于 I2 处理的同一时期净光合速率, 拔节期不同灌溉方式之间柳枝稷叶片净光合速率差异最小, 开花期差异最大, 但是经方差分析, 未达到显著水平。土壤水分对作物光合作用影响很大, 因此在干旱和半干旱地区水分不足通常是限制植物光合作用的一个重要因素。

2.4 不同灌溉方式对蒸腾速率和水分利用效率的影响

比较不同灌溉方式下柳枝稷叶片水分利用效率(图 4), 从拔节期到抽穗期, 由于柳枝稷叶片的完全伸展, 光合能力的增强, 蒸腾速率和水分利用效率也明显增强, 其中开花期蒸腾速率最大, 此时是柳枝稷生长的关键时期, 也是柳枝稷生命周期中对水分需求量比较多的时期。开花期 I1、I2 处理叶片蒸腾速率分别为 $4.85 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $4.16 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 在需水量较大的开花期, I1 处理的叶片比 I2 处理的叶片蒸腾速率高 14.1%。由于拔节期柳枝稷正处于生长初期, 叶面积较小, 所以这时的蒸腾速率最低, 拔节期 I1、I2 处理柳枝稷叶片蒸腾速率分别为 $1.50 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1.38 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, I1 处理和 I2 处理下, 柳枝稷开花期的蒸腾速率分别为拔节期的 2.79 倍和 2.91 倍, 经方差分析, 拔节期与开花期蒸腾速率的变化差异未达到显著水平。

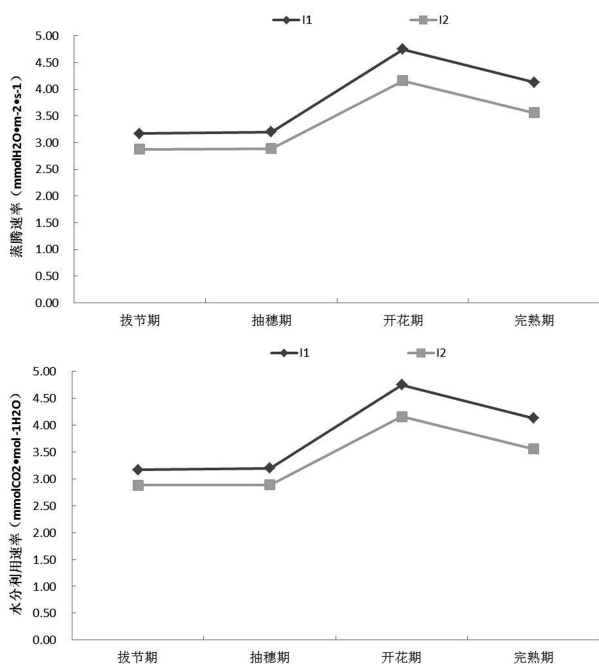


图 4 不同灌溉方式柳枝稷叶片蒸腾速率、水分利用速率变化

水分利用效率一般是在早晨的时候较高, 随着气温和光合强度的增加开始下降, 并在中午前后到达最低值, 而后再逐渐回升。本实验柳枝稷叶片光合作用测定在上午的 9:00 至 11:00, 属阳光较充分时段。从拔节期到完熟期这段生育期之内, 由于叶片的净光合速率和蒸腾速率都以相近的速度增长, 因而柳枝稷叶片水分利用效率变化不大, 如图 4 所示, 开花期净光合速率和蒸腾速率均为最高, 这一时期水分利用效率也最高, I1、I2 处理开花期的水分利用效率分别为 $4.18 \text{ mmolCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 、 $4.03 \text{ mmolCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$; 拔节期的净光合速率和蒸腾速率最低, 此时的水分利用效率也处于较低水平。

3 结论与讨论

根据试验测定结果, 地上滴灌 (I1) 与地下滴灌 (I2) 10 ~ 20 cm 土层土壤含水量平均值分别为 18.84%、12.41%, 灌水量相同时, 采用地上滴灌 10 ~ 20 cm 土壤含水量要高于地下滴灌。地下滴灌进行灌溉时, 土壤含水量较低, 主要原因可能与滴灌管地下掩埋深度有较大关系, 许多研究表明, 地下滴灌的不同埋设深度会影响土壤中的水分运移和分布^[10], 进而影响作物根系的生长和对水分养分的吸收利用, 导致不同埋设深度下作物的生长和产量产生差异^[11-12]。不同作物的生物学特性不同, 因此, 种植不同作物适宜的地下滴灌埋设深度也有所不同^[13]。如果采用地下滴灌的方式进行节水灌溉, 确定适宜的滴灌管理深是关键。另一方面, 也有研究发现, 农田灌溉——蒸散过程使得土壤处于干湿交替变化之中, 即使高效的地下滴灌也会出现至少短期的根区缺氧^[14], 土壤水分过多, 驱替了土壤氧气, 降低了土壤通气性, 抑制了根系对养分的吸收, 根系生理代谢和根系伸展受阻, 制约了作物的生产潜能^[15]。

内蒙古锡林浩特市试验区种植的柳枝稷从出苗到枯黄, 平均生育期为 99 d, 拔节末期至开花期前是柳枝稷生长的快速时期, 并且这一时期柳枝稷的生长速度要明显高于其他时期, 这一时期柳枝稷地上生物量大量积累。生长季末, 柳枝稷平均地上生物量为 451 g/m^2 , 根据 sharma 等^[16]研究结果, 柳枝稷连续种植 4 年, 年平均干草产量在 $5.63 \sim 26.08 \text{ t/hm}^2$ 之间, 第四年后产量趋于稳定, 年产量可高达 10.27 t/hm^2 。安雨等^[17]在陕西省定边县测定栽植第一年的柳枝稷地上部分生物量在 $88.3 \sim$

866.78 g/m² 之间,与之相比较,本试验区的柳枝稷地上生物量相对较低,Cousens R 认为^[18],柳枝稷栽培过程中,生物因子、非生物因子以及两者之间的交互作用会影响柳枝稷建植和产量,生物因子包括植物自身的竞争能力、伴生植物竞争能力及物种组成结构等,而非生物因子包括养分状况、空间、光照、水分等环境因子^[19]。引种到新环境中的植物种是否在种植地区具有较强的生态适应性也直接影响该品种的光合效率和生物学产量,以及对本土杂草的抑制作用^[20]。

在整个生育期内,II 处理下柳枝稷叶片蒸腾速率和水分利用效率均高于 I2 处理的同一时期蒸腾速率和水分利用效率。根据研究结果,在柳枝稷生长期中,开花期的植物耗水量最大,水分供应的多少与产量的高低有着密切的联系^[21],即与关键时期叶片的水分利用效率有着密切的联系,因此,开花期土壤水分状况需重点关注,并做好花期补水工作。

参考文献:

- [1] McLaughlin S B, Walsh M E. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy [J]. *Biomass and Bioenergy*, 1998, 14(4):317-324.
- [2] 高瑞芳, 张建国, GAORui-fang, 等. 能源草研究进展[J]. *草原与草坪*, 2013, 33(1):89-96.
- [3] 于晓丹, 杜菲, 张蕴薇. 盐胁迫对柳枝稷种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *草地学报*, 2010, 18(6):810-815.
- [4] 范希峰, 侯新村, 武菊英, 等. 我国北方能源草研究进展及发展潜力[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6):150-158.
- [5] 马永清, 郝志强, 熊韶峻, 等. 我国柳枝稷规模化种植现状与前景[J]. *中国农业大学学报*, 2013, 17(6):133-137.
- [6] 黄琳凯. 柳枝稷种质资源评价、分子标记开发及遗传连锁图谱构建[D]. 博士学位论文, 四川农业大学, 2010.
- [7] 沈文彤. 种植行距及氮肥施用量对柳枝稷生长、饲用品质及能源特性的影响[D]. 硕士学位论文, 甘肃农业大学, 2010.
- [8] 吴斌, 胡勇, 李立家. 柳枝稷的生物学研究现状及其生物能源转化前景[J]. *氨基酸和生物资源*, 2007, 29(2):8-10.
- [9] 珊丹, 何京丽, 邢恩德, 等. 干旱胁迫对柳枝稷幼苗生理特征的影响[J]. *水资源开发与管理*, 2014(1):33-38.
- [10] 庄千燕, 苏德荣, 宋雪枫, 等. 滴头埋设深度对土壤水分运移及草坪草生长的影响[J]. *草地学报*, 2010, 18(3):435-440.
- [11] 刘玉春, 李久生. 毛管埋深和土壤层状质地对地下滴灌番茄根区水氮动态和根系分布的影响[J]. *水利学报*, 2009, 40(7):782-790.
- [12] 谢海霞, 何帅, 周建伟, 等. 灌溉量及滴灌管理深对无膜地下滴灌棉花产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2012, 31(2):134-136.
- [13] 任杰, 温新明, 王振华, 等. 地下滴灌毛管适宜埋深及间距研究进展[J]. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(6):48-51.
- [14] Bhattarai S P, Midmore D J, Su N. Sustainable Irrigation to Balance Supply of Soil Water, Oxygen, Nutrients and Agro - Chemicals [M]// *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*. Netherlands: Springer, 2011:253-286.
- [15] Meyer W S. Effect of irrigation on soil oxygen status and root and shoot growth of wheat in a clay soil[J]. *Aust. j. agric. res.*, 1985, 36(2):171-185.
- [16] Sharma N, Piscioneri I, Pignatelli V. An evaluation of biomass yield stability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. [J]. *Energy Conversion & Management*, 2003, 44(18):2953-2958.
- [17] 安雨, 马永清, 税军峰, 等. 栽培柳枝稷不同生长时期对伴生杂草生物量及密度的影响[J]. *草地学报*, 2013, 21(4):689-696.
- [18] Cousens R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models[J]. *Journal of Agricultural Science*, 1985, 105(3):513-521.
- [19] Fukami T. Productivity - biodiversity relationships depend on the history of community assembly[J]. *Nature*, 2003, 424(6947):423-6.
- [20] Ma Y Q, An Y, Shui J F, et al. Adaptability evaluation of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars on the Loess Plateau of China. [J]. *Plant Science*, 2011, 181(6):638-643.
- [21] 王和洲. 调亏灌溉条件下的作物水分生态生理研究进展[J]. *灌溉排水学报*, 2001(4):16-18.