

地埋滴灌对紫花苜蓿耗水、产量及水分生产率的影响

曹雪松¹,李和平¹,郑和祥¹,冯亚阳²,张松²

(1.水利部牧区水利科学研究所,内蒙古呼和浩特 010020; 2.内蒙古农业大学,内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:为了探索地埋滴灌紫花苜蓿的最佳灌水量和滴灌带埋设深度,采用田间试验设置 15.0、22.5 mm 和 30.0 mm 三种灌水水平与 10、20 cm 和 30 cm 三种滴灌带埋设深度处理,研究灌水量、滴灌带埋深对紫花苜蓿耗水量、产量及水分生产率的影响。结果表明:地埋滴灌紫花苜蓿耗水量、产量和水分生产率均随灌水量的增加而显著增加($P<0.01$),均随滴灌带埋深的增加先增大($P<0.01$)后减小($P<0.05$);总生长季紫花苜蓿总耗水量为 400~500 mm,总产量为 7 500~12 000 kg·hm⁻²,水分生产率为 1.80~2.50 kg·m⁻³。建议地埋滴灌紫花苜蓿采用滴灌带埋深为 20 cm,灌水定额为 22.5~30 mm,灌水周期 5~7 d 的灌溉制度。

关键词:地埋滴灌;紫花苜蓿;耗水量;水分生产率;灌溉制度

中图分类号:S275.6 **文献标志码:**A

Effects of subsurface drip irrigation on water consumption, yield and water productivity of alfalfa

CAO Xue-song¹, LI He-ping¹, ZHENG He-xiang¹, FENG Ya-yang², ZHANG Song²

(1. Institute of Water Resources Science of Pasturing Area of the Ministry of Water Resources, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China;
2. Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: In order to explore the best irrigation volume and buried depth of drip irrigation tape of alfalfa using subsurface drip irrigation, in this paper, a field experiment was conducted to investigate the effects of irrigation amount, buried depth of drip irrigation tape on alfalfa water consumption, yield and water productivity using subsurface drip irrigation. Three irrigation amount (volumes) (15.0 mm, 22.5 mm, 30.0 mm) and three buried depth of drip irrigation tape (10 cm, 20 cm, 30 cm) were considered in this experiment. The results showed that alfalfa water consumption, yield and water productivity using buried drip irrigation increased significantly ($P<0.01$) with the increase of irrigation amount, but first increased significantly ($P<0.01$) and then decreased ($P<0.05$) with the increase of the drip irrigation depth. Furthermore, during the whole growing period of alfalfa, the total water consumption was 400 to 500 mm, total yield (output) was 7 500 to 12 000 kg·hm⁻², and water productivity was 1.80 to 2.50 kg·m⁻³. Hence an irrigation quota (amount) of 22.5 to 30.0 mm, irrigation cycle of 5 to 7 days using buried drip irrigation of alfalfa with the depth of 20 cm was recommended for subsurface drip irrigation of alfalfa.

Keywords: subsurface drip irrigation; alfalfa; water consumption; water productivity; irrigation system

我国是世界上干旱半干旱地区面积较大的国家,旱地面积占全国总土地面积的 52.5%,主要分布在我国的东北、华北及西北的 15 个省区^[1]。近年来,紫花苜蓿在干旱半干旱缺水地区得到了大面积种植,因此提高其单产及品质势在必行,据孙洪仁等^[2]研究,紫花苜蓿总生长季的耗水量最高可达 2 250 mm,相比于其它作物,耗水量很大。除此之外,水资源短缺限制了当地畜牧业的发展,节水灌溉种植紫花苜蓿成为发展人工灌溉饲草料地的出路。鉴于紫花苜蓿每年多次刈割及其生长特点,不适用

收稿日期:2016-07-02 修回日期:2016-10-17
基金项目:水利部科技推广计划项目(TG1401);中国水利水电科学研究院科研专项(MK2016J18)
作者简介:曹雪松(1989—),男,河南商丘人,硕士,主要从事节水灌溉理论与技术的研究。E-mail:cxsmks@126.com。
通信作者:李和平(1963—),男,内蒙古呼和浩特人,正高级工程师,博士,博士生导师,主要从事水资源与节水灌溉技术的研究。E-mail:mkslhp@163.com。

于地面滴灌,近年来地理滴灌紫花苜蓿在牧区得到了较大范围推广,是节约水资源、提高农业用水效率的重要手段^[3-4]。与地面灌溉技术相比,地理滴灌具有节水、增产、提高品质和减少地表无效蒸发、改善作物根区土壤条件、方便田间管理作业、防止毛管老化等诸多优点^[5-9]。研究表明:与沟灌相比,地理滴灌紫花苜蓿的水分利用效率可以提高 20%^[10];与大田漫灌相比,地理滴灌可以在节约 40%灌溉水的情况下提高约 20%的苜蓿产量^[11];与喷灌相比,设计优良的地理滴灌系统可以在节约 22%灌溉水的情况下提高约 7%的苜蓿产量^[12]。2007 年徐胜利^[13]研究了内蒙古河套灌区以紫花苜蓿为典型代表的牧草节水灌溉制度模式。2008 年夏玉慧等^[14]对陕北风沙滩地区紫花苜蓿地下滴灌带埋设深度进行了初步研究,指出在苗期,埋设深度为 10 cm 的处理,有利于苜蓿生长;在整个生育期,不同埋设深度对苜蓿生长特性影响的综合评判结果为:埋深 30 cm>埋深 20 cm>埋深 10 cm。2014 年佟长福等^[15]研究了锡林河流域地面滴灌紫花苜蓿的需水规律及其灌溉定额,寇丹等^[16]研究了地下调亏滴灌对紫花苜蓿耗水、产量和品质的影响,指出随亏水程度的加重,紫花苜蓿的产量降低,耗水量减少,水分利用效率提高。上述研究者均只针对地理滴灌的某一方面进行了研究,而对地理滴灌的灌水量、滴灌带埋深以及紫花苜蓿的耗水、产量和水分生产率缺乏系统的分析,且目前针对鄂尔多斯地区地理滴灌紫花苜蓿的灌溉制度未见报道,基于此,本文采用田间试验对地理滴灌紫花苜蓿不同灌水量和不同滴灌带埋深进行研究,对于确定合理的灌溉制度,提高紫花苜蓿产

量和缓解天然草场压力,以及保持鄂尔多斯地区畜牧业的可持续发展等有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2015 年在内蒙古鄂尔多斯市鄂托克前旗昂素镇哈日根图嘎查巴图巴雅尔节水示范户进行。鄂托克前旗位于内蒙古自治区鄂尔多斯市西南部,毛乌素沙地腹部,地处内蒙古、陕西、宁夏三省交界处,东经 106°30′~108°30′,北纬 37°38′~38°45′,海拔 1 300~1 400 m,属中温带半干旱大陆性气候,年平均气温 7.9℃,降水量 261 mm,蒸发量 2 498 mm,风速 2.6 m·s⁻¹,日照时数 2 958 h,无霜期 171 d,最大冻土层深度 1.54 m。试验区 40 cm 深土壤类型为砂土,容重为 1.62 g·cm⁻³。

1.2 试验设计

本试验以三年生人工条播的紫花苜蓿为试验材料,品种为草原 2 号。试验采用 2 因子 3 水平正交组合设计,设灌水平(W)和滴灌带埋设深度(D)2 个因子;按每次灌水量设置 3 个不同灌水平,分别称之为低水分处理(W₁:15.0 mm)、中水分处理(W₂:22.5 mm)和高水分处理(W₃:30.0 mm);每个灌水平均设 3 种滴灌带埋深,滴灌带埋深分别为 10 cm(D₁)、20 cm(D₂)和 30 cm(D₃);试验共 9 个处理,每个处理 3 次重复,共计 27 个试验小区,每个试验处理的长度为 20.0 m,宽度为 5.0 m,面积为 100 m²,试验小区总面积 900 m²。为了避免处理相互之间的影响,每个处理间设置 2 m 宽的隔离带,相同处理不同重复之间相距 1 m。试验小区布置见图 1。

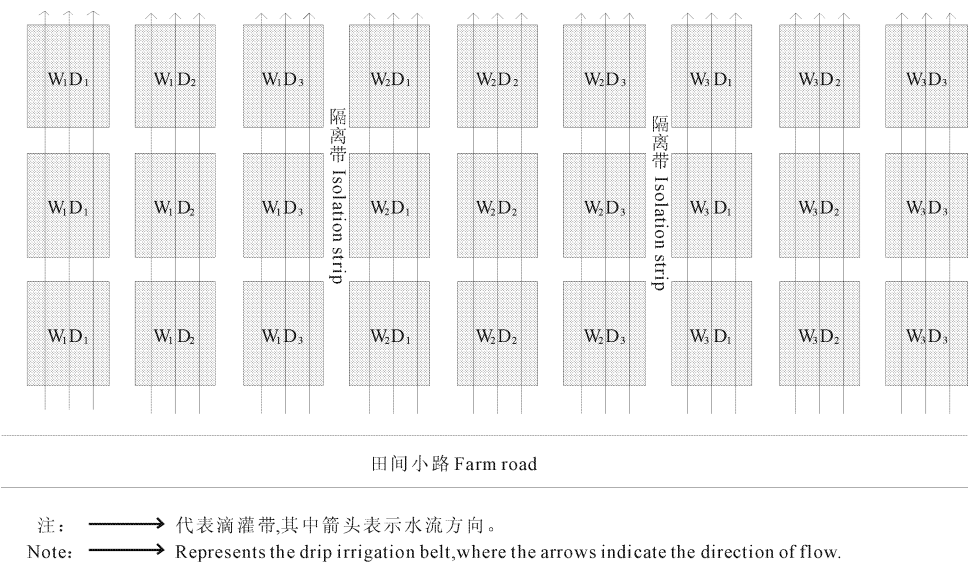


图 1 试验小区布置
Fig.1 Experimental plot layout

试验均采用贴片式滴灌带,滴灌带壁厚为0.4 mm,滴头流量为 $2.0\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$,滴头间距为0.3 m;紫花苜蓿种植行距为15 cm,每条滴灌带控制4行紫花苜蓿,滴灌带间距60 cm。各试验处理滴灌带布置示意图见图2。每个处理灌水日期和灌水次数相同,灌水周期5~7 d,遇降雨顺延。灌水日期根据 W_2D_2 处理的适宜含水率下限计算确定,每次的灌水量采用水表计量。

紫花苜蓿全生长季内的有效降雨量见表 1。根

据降雨日期和灌水周期,第一、二、三茬紫花苜蓿各处理分别灌水4次、6次和3次,滴灌紫花苜蓿各试验处理灌水日期和灌水定额见表2。

1.3 测定指标与方法

气象要素观测:试验区设有农田气象站,在作物生育期内对气温、降雨量、风速、相对湿度、气压、风向等要素进行了观测。

地下水观测:利用环刀在试验区取原状土,进行了田间持水量室内测定,并与田间的测定结果进行

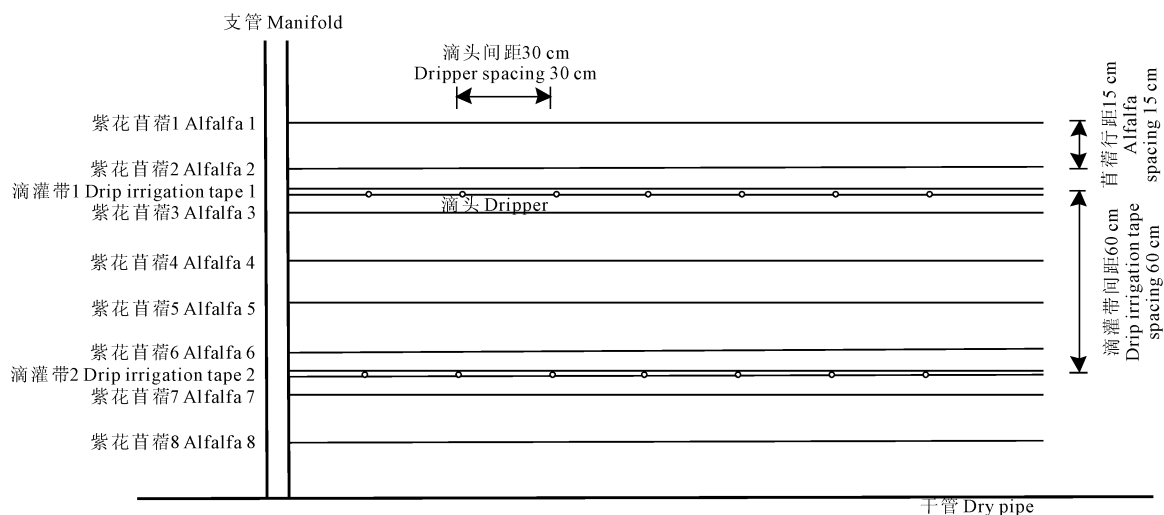


图 2 滴灌带布置示意图

Fig.2 Schematic description of the dripline lateral installation

表 1 紫花苜蓿全生长季内的有效降雨量/mm

Table 1 Effective rainfall of alfalfa in the whole growing season

日期 Date(M - d)																			合计 Total
04 - 18	05 - 01	05 - 10	05 - 21	06 - 03	06 - 24	06 - 28	07 - 06	07 - 16	07 - 20	08 - 03	08 - 08	08 - 11	09 - 03	09 - 08	09 - 10	09 - 17	09 - 27		
11.6	5.8	6.4	6.9	5.6	2.7	3.7	3.2	4.1	12.4	13.3	11.5	8.9	11.3	19.5	4.1	13.8	20.8		

表2 地埋滴灌紫花苜蓿各试验处理灌水日期和灌水定额

Table 2 Irrigation time and irrigation quota of subsurface drip irrigation of alfalfa under different treatments

[illegible]

对比,确定了试验区 0~40 cm 土层的田间持水量为 22.86%。采用 HOBO 地下水位自动测定仪(美国)测定试验区地下水水位变化,确定试验区地下水埋深在 1.2~2.0 m。

土壤含水率:每个试验处理地块安装有土壤湿度计,采用烘干法测定和仪器测定两种方法计算土壤含水率。烘干法使用土钻取土,烘箱烘干;仪器测定采用 HH2 型 TDR 土壤水分测定仪,每根 TDR 管测 3 次,取均值代表小区的土壤含水率。

紫花苜蓿干草产量:紫花苜蓿生育阶段划分为返青期、分枝期、现蕾期和开花期,进入初花期时进行刈割,每年刈割 3 茬,采用样方法测定干草产量。样方面积为 1 m×1 m,刈割后称紫花苜蓿鲜质量,然后将鲜草样放入烘箱,105℃高温杀青 30 min 后调温至 65℃,恒温条件下烘 48 h,冷却后取出称其干质量。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2013 进行数据整理、简单统计分析和绘图,利用 IBM SPSS Statistics 22.0 进行方差分析、显著性检验及采用 LSD 和 Duncan 法进行方差分析多重比较。

2 紫花苜蓿耗水量的计算与分析

2.1 耗水量

紫花苜蓿耗水量的计算采用水量平衡方程计算:

$$ET_a = P + I - \Delta W - Q \tag{1}$$

式中,ET_a为各时段内耗水量(mm);P为相应时段内的有效降水量(mm);I为相应时段内的灌水量(mm);ΔW为相应时段内的土壤贮水变化量(mm);Q为相应时段内的下边界水分通量(mm)。

2.2 土壤贮水变化量

各生育期土壤贮水变化量根据各试验处理的土壤含水率值计算,公式为:

$$\Delta W = \frac{(\theta_{i+1} - \theta_i)}{100} \times \gamma \times h \tag{2}$$

式中,θ_i为相应时段初始土壤含水率(%);θ_{i+1}为相应时段末土壤含水率(%);γ为土壤容重(cm³·g⁻¹);h为计划湿润层深度(mm)。

2.3 下边界水分通量

紫花苜蓿的下边界水分通量根据试验实测的土壤负压值进行各生育期土壤深层渗漏或补给量的计算。土壤计划湿润层下边界土壤水分的补给和渗漏采用定位通量法计算,测定仪器为负压计。定位通量法计算公式为:

$$q(z_{1-2}) = -k(\bar{h})\left(\frac{h_2 - h_1}{\Delta z} + 1\right) \tag{3}$$

式中,Δz = z₂ - z₁, $\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$,其中 h₁,h₂ 分别为断面 z₁,z₂ 处的土壤负压值,由此可以得到 t₁ 至 t₂ 时段内单位面积上流过的土壤水流量 Q(z₁₋₂),同样由 Q(z₁₋₂) 求得任一断面流量 Q(z):

$$Q(z) = Q(z_{1-2}) + \int_z^{z_{1-2}} Q(z, t_2) dz - Q(z, t_1) \int_z^{z_{1-2}} dz \tag{4}$$

2.4 水分生产率

水分生产率指作物消耗单位水量的产出,其值等于作物产量与作物净耗水量之比值。作物水分生产率采用下式计算:

$$WP = \frac{Y}{P + I - \Delta W - Q} \times 0.1 \tag{5}$$

式中,WP为水分生产率(kg·m⁻³);Y为作物产量(kg·hm⁻²);其它符号同上。

3 结果与分析

3.1 灌水量对紫花苜蓿产量的影响

水分供应量是决定紫花苜蓿产量的主要因素,同时也是影响紫花苜蓿水分生产率的重要因素。不同处理条件下地理滴灌紫花苜蓿干草产量见图 3。由图 3 可知,三茬紫花苜蓿干草产量都随灌水量的增加而增加,干草总产量 W₃D₂ 处理最高为 11 349 kg·hm⁻²,W₁D₁ 处理最低为 7 527 kg·hm⁻²,最高与最低相比,产量提高 50.78%。灌水量由 W₁D₁ 处理增加到 W₂D₁ 处理、由 W₂D₁ 处理增加到 W₃D₁ 处理,紫花苜蓿干草总产量分别增加 37.76% 和 7.06%;灌水量由 W₁D₂ 处理增加到 W₂D₂ 处理、由 W₂D₂ 处理增加到 W₃D₂ 处理,紫花苜蓿干草总产量分别增加 35.90% 和 5.30%;灌水量由 W₁D₃ 处理增加到 W₂D₃ 处理、由 W₂D₃ 处理增加到 W₃D₃ 处理,紫花苜蓿干草总产量分别增加 35.68% 和 5.84%,可见相同滴灌带埋深时灌水量由低水分处理(15.0 mm)增加至中水分处理(22.5 mm)的增产作用明显优于灌水量由中水分处理(22.5 mm)增加至高水分处理(30.0 mm)的增产作用。灌水量对紫花苜蓿干草产量、耗水量及水分生产率的影响见表 3,从表中数据分析可知,灌水量对紫花苜蓿产量、耗水量和水分生产率的影响极为显著(P<0.01),从节水的角度出发,建议采用 22.5 mm 的灌水定额;从增产的角度出发,建议采用 30.0 mm 的灌水定额。

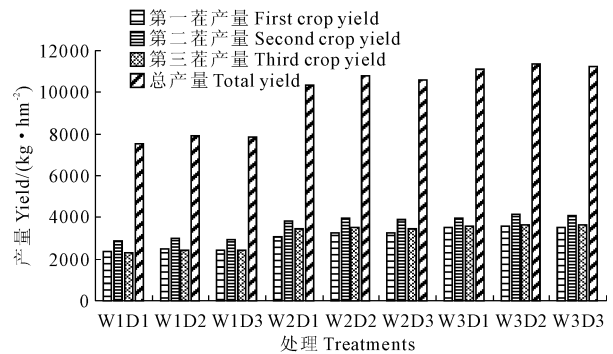


图 3 不同处理条件下地埋滴灌紫花苜蓿的产量

Fig.3 Alfalfa yield of subsurface drip irrigation under different treatment conditions

表 3 灌水量对紫花苜蓿干草产量、耗水量及水分生产率的影响

Table 3 Effect of irrigation amount on hay yield, water consumption and WP of alfalfa

处理 Treatments	干草产量 Hay yield /(kg·hm ⁻²)	耗水量 Water consumption /mm	水分生产率 Water productivity /(kg·m ⁻³)
高水分 High moisture	11226.5Aa	462.75Aa	2.4260Aa
中水分 Medium moisture	10585.5Bb	444.47Bb	2.3815Bb
低水分 Low moisture	7759.0Cc	405.35Cc	1.9140Cc

注:同列大写字母表示变量之间在 $P < 0.01$ 水平差异显著,小写字母表示变量之间在 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同。

Note: The capital letter in the table is significant differences between variables at $P < 0.01$ level, while the small letter is significant differences at $P < 0.05$ level, the same below.

3.2 滴灌带埋深对紫花苜蓿产量的影响

由图 3 可知,相同灌水量条件下,三茬紫花苜蓿干草产量都是随埋深的增加先增大后减小。灌水 15.0 mm 处理产量最高为 7 930.5 kg·hm⁻²,最低为 7 527 kg·hm⁻²,最高与最低相比,产量提高 5.36%;灌水 22.5 mm 处理产量最高为 10 777.5 kg·hm⁻²,最低为 10 369.5 kg·hm⁻²,最高与最低相比,产量提高 3.93%;灌水 30.0 mm 处理产量最高为 11 349 kg·hm⁻²,最低为 11 101.5 kg·hm⁻²,最高与最低相比,产量提高 2.23%。滴灌带埋深由 W₁D₁ 处理增加到 W₁D₂ 处理、由 W₁D₂ 处理增加到 W₁D₃ 处理,紫花苜蓿的产量分别增加 5.36% 和 -1.40%;滴灌带埋深由 W₂D₁ 处理增加到 W₂D₂ 处理、由 W₂D₂ 处理增加到 W₂D₃ 处理,紫花苜蓿的产量分别增加 3.93% 和 -1.56%;滴灌带埋深由 W₃D₁ 处理增加到 W₃D₂ 处理、由 W₃D₂ 处理增加到 W₃D₃ 处理,紫花苜蓿的产量分别增加 2.23% 和 -1.06%。滴灌带埋深对紫花

苜蓿干草产量、耗水量及水分生产率的影响见表 4,从表中可见,埋深对紫花苜蓿耗水量、产量和水分生产率的影响在 $P < 0.05$ 水平下显著,埋深 20 cm 与埋深 30 cm 对紫花苜蓿耗水量、产量和水分生产率的影响在 $P < 0.01$ 水平下不显著,建议滴灌带不宜埋设太深,太深时水分不易被作物吸收,容易产生深层渗漏,建议采用 20 cm 的滴灌带埋设深度。

表 4 滴灌带埋深对紫花苜蓿干草产量、耗水量及水分生产率的影响

Table 4 Effect of buried depth of drip irrigation tape on hay yield, water consumption and WP of alfalfa

处理 Treatments	干草产量 Hay yield /(kg·hm ⁻²)	耗水量 Water consumption /mm	水分生产率 Water productivity /(kg·m ⁻³)
埋深 10 cm Buried depth 10 cm	9666.0Cc	434.78Cc	2.2089Cc
埋深 20 cm Buried depth 20 cm	10019.0Aa	439.81Aa	2.2662Aa
埋深 30 cm Buried depth 30 cm	9886.0ABb	437.77ABb	2.2462ABb

3.3 地埋滴灌紫花苜蓿的耗水量及水分生产率

第一、二、三茬及总生长季紫花苜蓿不同处理条件下耗水量及水分生产率计算结果分别见图 4 和图 5。分析表明,第一茬紫花苜蓿生育期内耗水量在 132.40 ~ 147.96 mm 之间,水分生产率在 1.77 ~ 2.44 kg·m⁻³ 之间;第二茬紫花苜蓿生育期内耗水量在 139.02 ~ 166.36 mm 之间,水分生产率在 2.07 ~ 2.48 kg·m⁻³ 之间;第三茬紫花苜蓿生育期内耗水量在 130.01 ~ 150.91 mm 之间,水分生产率在 1.77 ~ 2.43 kg·m⁻³ 之间。就第二茬来说, W₁D₁、W₁D₂、W₁D₃ 处理的耗水量分别为 139.02、140.58、139.37 mm,水分生产率分别为 2.07、2.13、2.12 kg·m⁻³; W₂D₁、W₂D₂、W₂D₃ 处理的耗水量分别为 158.93、161.32、160.20 mm,水分生产率分别为 2.41、2.45、2.43 kg·m⁻³; W₃D₁、W₃D₂、W₃D₃ 处理的耗水量分别为 163.87、166.36、165.28 mm,水分生产率分别为 2.43、2.48、2.46 kg·m⁻³,可见灌水量相同时紫花苜蓿耗水量相差不大,水分生产率则随滴灌带埋设深度的增加先增大后减小,但减小幅度较小,表明滴灌带埋设太深反而降低水分生产率,建议采用 20 cm 的滴灌带埋设深度。滴灌带埋设深度相同时紫花苜蓿耗水量和水分生产率均随灌水量的增加而增大。就第二茬 W₁D₂、W₂D₂、W₃D₂ 处理来说,耗水量分别为 140.58、161.32、166.36 mm,水分生产率分别为 2.13、2.45、2.48 kg·m⁻³,随着灌水量的增加,耗水量分别

增加 14.75% 和 3.12%，水分生产率分别增大 14.95% 和 1.21%。第一茬、第三茬紫花苜蓿耗水量和水分生产率与第二茬有相同的变化规律。

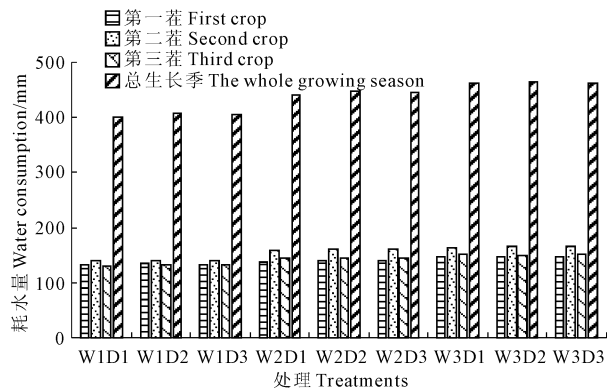


图 4 不同处理条件下地理滴灌紫花苜蓿的耗水量
Fig.4 Alfalfa water consumption of subsurface drip irrigation under different treatment conditions

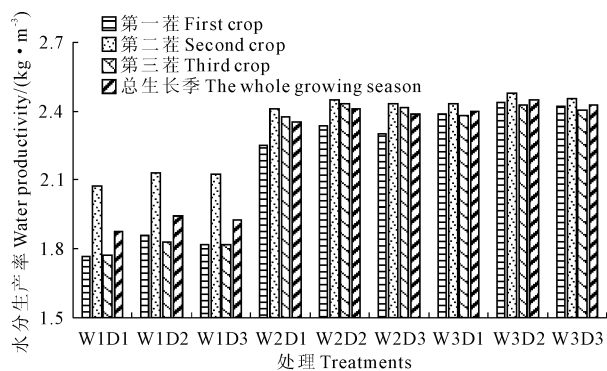


图 5 不同处理条件下地理滴灌紫花苜蓿的水分生产率
Fig.5 Alfalfa water productivity of subsurface drip irrigation under different treatment conditions

图 4 和图 5 中分析表明,苜蓿总生长季的耗水量在 401.43 ~ 463.45 mm 之间,水分生产率在 1.88 ~ 2.45 kg·m⁻³ 之间。相同滴灌带埋深条件下耗水量和水分生产率都随着灌水量的增加而增大,灌水量由 W₁D₁ 处理增加到 W₂D₁ 处理、由 W₂D₁ 处理增加到 W₃D₁ 处理,紫花苜蓿的耗水量分别增加 9.90% 和 4.79%,水分生产率分别增大 25.35% 和 2.16%;灌水量由 W₁D₂ 处理增加到 W₂D₂ 处理、由 W₂D₂ 处理增加到 W₃D₂ 处理,紫花苜蓿的耗水量分别增加 9.65% 和 3.52%,水分生产率分别增大 23.94% 和 1.72%;灌水量由 W₁D₃ 处理增加到 W₂D₃ 处理、由 W₂D₃ 处理增加到 W₃D₃ 处理,紫花苜蓿的耗水量分别增加 9.40% 和 4.04%,水分生产率分别增大 24.02% 和 1.73%。从表 3 中也可以看出灌水量对耗水量及水分生产率的影响极为显著 ($P < 0.01$)。相同灌水量条件下,滴灌带埋深由 W₁D₁ 处理增加

到 W₁D₂ 处理、由 W₁D₂ 处理增加到 W₁D₃ 处理,紫花苜蓿的耗水量分别增加 1.71% 和 -0.48%,水分生产率分别增大 3.59% 和 -0.92%;滴灌带埋深由 W₂D₁ 处理增加到 W₂D₂ 处理、由 W₂D₂ 处理增加到 W₂D₃ 处理,紫花苜蓿的耗水量分别增加 1.48% 和 -0.71%,水分生产率分别增大 2.42% 和 -0.86%;滴灌带埋深由 W₃D₁ 处理增加到 W₃D₂ 处理、由 W₃D₂ 处理增加到 W₃D₃ 处理,紫花苜蓿的耗水量分别增加 0.24% 和 -0.21%,水分生产率分别增大 1.98% 和 -0.85%。从表 4 中可知埋深 20 cm 与埋深 30 cm 对耗水量影响显著 ($P < 0.05$),埋深 20 cm 与埋深 10 cm 对耗水量影响极显著 ($P < 0.01$);滴灌带埋深对紫花苜蓿水分生产率的影响极显著 ($P < 0.01$),埋深 20 cm 与埋深 30 cm 对水分生产率影响显著 ($P < 0.05$)。由此可知,适度增加灌水量和滴灌带埋深可以增大水分生产率,但滴灌带不宜埋设太深,否则容易造成深层渗漏,不利于作物对水分的吸收利用,从而降低水分生产率。

4 讨论与结论

土壤中水分的分布情况直接影响紫花苜蓿根系的生长,决定着其从土壤中吸收养分的能力,引起植株中养分含量的变化,进而影响紫花苜蓿的产量。本试验采用贴片式滴灌带,针对灌水水平和滴灌带埋深 2 个因子,研究不同灌水水平和滴灌带埋深处理下的紫花苜蓿生长和产量的变化情况。结果表明:

- 1) 地理滴灌紫花苜蓿的耗水量、产量及水分生产率受灌水量和滴灌带埋深等多种因素的影响,地理滴灌紫花苜蓿耗水量、产量和水分生产率随灌水量的增加而显著增加 ($P < 0.01$),随滴灌带埋深的增加先增大 ($P < 0.01$) 后减小 ($P < 0.05$);
- 2) 灌水量相同时滴灌带埋深对紫花苜蓿耗水量、产量和水分生产率的影响差异性显著 ($P < 0.05$),且均随滴灌带埋设深度的增加先增大后减小,但减小幅度不大,建议采用 20 cm 的滴灌带埋设深度;
- 3) 滴灌带埋设深度相同时紫花苜蓿耗水量、产量和水分生产率均随灌水量的增加而增大,灌水量由低水分处理 (15.0 mm) 增加至中水分处理 (22.5 mm) 的增产作用明显优于灌水量由中水分处理 (22.5 mm) 增加至高水分处理 (30.0 mm) 的增产作用。总生长季紫花苜蓿总耗水量为 400 ~ 500 mm,总产量为 7 500 ~ 12 000 kg·hm⁻²,水分生产率为 1.80 ~ 2.50 kg·m⁻³。从节水的角度出发,建议采用

22.5 mm 的灌水定额;从增产的角度出发,建议采用 30.0 mm 的灌水定额;灌水周期均为 5~7 d。

参 考 文 献:

[1] 山 仑,邓西平,康绍忠.我国半干旱地区农业用水现状及发展方向[J].水利学报,2002,33(9):0027-0031.

[2] 孙洪仁,刘国荣,张英俊,等.紫花苜蓿的需水量、耗水量、需水强度、耗水强度和水分利用效率研究[J].草业科学,2005,22(12):24-30.

[3] 曹雪松,李和平,郑和祥,等.地埋滴灌紫花苜蓿灌水均匀性研究[J].灌溉排水学报,2015,34(4):72-74.

[4] 康绍忠,蔡焕杰,冯绍元.现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J].农业工程学报,2004,20(1):1-6.

[5] 李道西,罗金耀.地下滴灌技术的研究及其进展[J].中国农村水利水电,2003,(7):15-18.

[6] 胡笑涛,康绍忠,马孝义.地下滴灌灌水均匀度研究现状及展望[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):113-117.

[7] 程先军,许 迪,张 昊.地下滴灌技术发展及应用现状综述[J].节水灌溉,1999,(4):13-15.

[8] 张国祥.地下滴灌(渗灌)的技术状况与建议[J].地下水,1996,18(2):51-54.

[9] 黄兴法,李光永.地下滴灌技术的研究现状与发展[J].农业工程学报,2002,18(2):176-181.

[10] Hutmacher RB, Phene CJ, Mead RM, et al. Subsurface Drip and Furrow Irrigation Comparison with Alfalfa in the Imperial Valley [C.]//California Alfalfa & Forage Symposium. Modesto: Proc, 2001.

[11] Godoy AC, Pérez GA, Torres ECA, et al. Water use, forage production and water relations in alfalfa with subsurface drip irrigation[J]. Agrobiencia, 2003,37(2):107-115.

[12] Alam M, Troien TP, Dumlér TJ, et al. Using subsurface drip irrigation for alfalfa[J]. J. Am. Water Resour. Assoc, 2002,38(6):1715-1721.

[13] 徐胜利.以紫花苜蓿为典型的牧草节水灌溉制度研究[J].节水灌溉,2007,(8):67-70.

[14] 夏玉慧,汪有科,王 江,等.陕北风沙滩地区紫花苜蓿地下滴灌带埋设深度初步研究[J].水土保持通报,2008,28(4):100-104.

[15] 佟长福,李和平,白巴特尔,等.锡林河流域紫花苜蓿需水规律与灌溉定额优化研究[J].中国农学通报,2014,30(29):188-191.

[16] 寇 丹,苏德荣,吴 迪,等.地下调亏滴灌对紫花苜蓿耗水、产量和品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(2):116-123.

(上接第 241 页)

[9] Zhang H, Tan Z Q, Hu L Y, et al. Hydrogen sulfide alleviates aluminum toxicity in germinating wheat seedlings[J]. Integr Plant Biol, 2010,52(6):556-567.

[10] Zhang H, Wang M F, Hua L Y, et al. Hydrogen sulfide promotes wheat seed germination under osmotic stress[J]. Russ J Plant Physiol, 2010,57(4):532-539.

[11] Wang Y Q, Li L, Cui W T, et al. Hydrogen sulfide enhances alfalfa (Medicago sativa) tolerance against salinity during seed germination by nitric oxide pathway[J]. Plant Soil, 2012,351(1-2):107-119.

[12] Zhang H, Tang J, Liu X P, et al. Hydrogen sulfide promotes root organogenesis in Ipomoea batatas, Salix matsudana and Glycine max [J]. Integr Plant Biol, 2009,51(12):1084-1092.

[13] 王兰香,侯智慧,侯丽霞,等.H₂O₂介导的 H₂S 产生参与干旱诱导的拟南芥气孔关闭[J].植物学报,2012,47(3):217-225.

[14] 孟红梅,韩多红,李彩霞,等.NaCl 胁迫对板蓝根种子萌发的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):213-216.

[15] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.

[16] Chance B, Maehly A C. Assay of catalase and peroxidase[J]. Methods in Enzymology,1995,764(2):775.

[17] Lisjak M, Teklic T, Wilson I D, et al. Hydrogen sulfide: Environ-

mental factor or signaling molecule[J]. Plant cell Environ, 2013,36(9):1607-1616.

[18] Li Z G, Gong M, Liu P. Hydrogen sulfide is a mediator in H₂O₂-induced seed germination in Jatropha curcas[J]. Acta Physiol Plant, 2012,34(6):2207-2213.

[19] Li Y J, Chen J, Xian M, et al. In Site Bioimaging of Hydrogen Sulfide Uncovers Its Pivotal Role in Regulating Nitric Oxide - Induced Lateral Root Formation[J]. PLoS ONE, 2014,9(2): e90340. doi: 10.1371/journal.pone.0090340.

[20] Bowler C, Van M, Inzc D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Annual Review plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1992,(43):83-116.

[21] 何庆元,向仕华,吴 萍,等.硫化氢对盐胁迫条件下大豆抗氧化酶活性的影响[J].大豆科学,2015,34(3):427-431.

[22] 赵可夫,卢元芳,张宝泽,等.Ca²⁺离子对小麦幼苗降低盐害效应的研究[J].植物学报,1993,35(1):51-56.

[23] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:267-268.

[24] 刘文瑜,杨宏伟,魏小红,等.外源 NO 调控盐胁迫下蒺藜苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究[J].草业学报,2015,24(2):85-95.