文章编号:1000-7601(2018)04-0152-06 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2018.04.22

浅埋式滴灌毛管埋深对苜蓿生长的影响

潘小保[1],缴锡云[1,2],郭维华[1],陈俊克[3]

(1. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098;2. 水文水资源与水利工程科学国家重点试验室,江苏 南京 210098;
3. 黄河水利出版社,河南 郑州 450003)

摘　要:为了研究浅埋式滴灌毛管埋深对苜蓿生长的影响,并得到优化的毛管埋深,于 2016 年 4—10 月在新疆阿勒泰阿苇灌区试验站开展田间试验。通过采用毛管埋深为 5、10 cm 的浅埋式滴灌与传统的地埋式滴灌(埋深 20 cm)进行对比试验,分析了不同毛管埋深下苜蓿毛细根量和生长指标以及产量等。结果表明,毛管埋深 5、10 cm 和 20 cm 处理其 20~30 cm 土层苜蓿毛细根量分别占总量的 12.44%,21.73%和 19.31%;埋深为 10、20 cm 处理苜蓿植株高度分别为 71.2 cm 和 72.5 cm,差异较小,两者与埋深 5 cm(65.8 cm)差异显著;埋深为 10、20 cm 处理苜蓿植株茎粗分别为 3.43 mm 和 3.38 mm,差异较小,两者均大于埋深 5 cm(3.19 mm);苜蓿收割时埋深 10、20 cm 处理两茬总产量分别为 16.21 t·hm^{-2}和 15.61 t·hm^{-2},差异较小,两者均与埋深 5 cm(14.60 t·hm^{-2})差异显著。因此 10 cm 毛管埋深可以达到与传统的地埋式滴灌相同的根系湿润灌溉效果,同时对苜蓿的生长影响不大,且更加经济方便,为优化的毛管埋深。

关键词:浅埋式地下滴灌;毛管埋深;苜蓿;毛细根分布;产量

中图分类号:S275.6;S551^{+}.7　　**文献标识码**:A

Experimental study on the effect of buried depth of shallow buried drip irrigation on growth of alfalfa

PAN Xiao-bao[1], JIAO Xi-yun[1,2], GUO Wei-hua[1], CHEN Jun-ke[3]

(1. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering*, *Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*;
2. *State Key Laboratory of Hydroligy-Water Resources and Hydraulic Engineering*, *Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*;
3. *The Yellow River Water Conservancy Press*)

Abstract: In order to study the influence of buried depth of shallow-buried drip irrigation on the growth of alfalfa and to optimize the drip belt buried depth ,a field experiment was conducted from April to October in 2016 in AWei experiment station of Aletai irrigation area in Xinjiang. By comparing the shallow buried drip irrigation with buried depths of 5 cm and 10 cm and the traditional buried drip irrigation(buried depth of 20 cm),the data of distribution of capillary roots, growth index and yield of alfalfa under different drip belt buried depths were obtained. The result show that the capillary root volume of 20~30 cm soil layer treated with 5 cm, 10 cm and 20 cm depth of capillary tube accounted for 12.44%, 21.73% and 19.31%, respectively. The heights of 10 cm and 20 cm treated plants were 71.2 cm and 72.5 cm and the difference was small, but compared with the depth of 5 cm and of 65.8 cm is significantly different; The plant stem diameter of alfalfa of 10 cm and 20 cm treatments were 3.43 mm and 3.38 mm, but both of which are greater than 3.19 mm with a depth of 5 cm.

The totalstubbles' yields of 10 cm and 20 cm were 16.21 t·hm^{-2} and 15.61 t·hm^{-2}, respectively. smaller, but the yields of both are significantly different from the 14.60 t·hm^{-2} yield of the buried depth of 5 cm. Therefore, the buried depth of the 10 cm treatment can achieve the same root wet irrigation effect as the traditional buried drip irrigation, and it has little effect on the growth of alfalfa, and it is more economical and convenient to optimize the

收稿日期:2017-10-14　　**修回日期**:2017-11-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0400200);水利部技术示范项目(SF-201733)

作者简介:潘小保(1992-),男,安徽人,硕士研究生,主要研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail:cghdhxs@163.com

通信作者:缴锡云(1962-),男,河北人,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:xyjiao@hhu.edu.cn

buried depth of the drip belt.

Keywords: shallow-buried drip irrigation; drip belt buried depth; alfalfa; capillary root distribution; yield

苜蓿作为当前牧区饲料种植作物的首要选择,对我国农业的发展及一些优良畜种的培育发挥着重要作用。新疆阿勒泰地区是我国苜蓿的重点种植地之一,但是该地区水资源严重短缺,牧草种植原本采用的地面灌溉方式已不适应当前形势,需要应用更为高效的灌溉方式。基于此,地表喷滴灌曾适用于苜蓿的种植,但由于苜蓿属多年生长作物,每茬收割时期会损坏大量地表滴灌带,故开始采用地下滴灌的方式来对苜蓿进行生育期灌溉。

前人对苜蓿的地下滴灌技术进行了广泛的研究,Claudio 等[1]经过对比滴灌和漫灌条件下的苜蓿产量和干物质量,发现滴灌比漫灌的干物质量多出 16%~23%。Bosch 等[2]研究表明,地下滴灌与喷灌相比,其对苜蓿的产量影响差异较小,相对喷灌,地下滴灌节省了大量的劳动力。Alam 等[3]研究表明:利用地下滴灌进行灌溉苜蓿的水分利用效率与常规的沟灌相比较可以提高 20%左右。陶雪等[4-6]主要研究了地下滴灌、喷灌、畦灌对苜蓿生长、光合效率、产量及品质的影响,对比发现地下滴灌显著地提高了苜蓿株高、茎粗、分枝数、产草量等。寇丹等[7]研究了地下调亏滴灌对苜蓿生长的影响表明地下滴灌条件下,苜蓿分枝前期、分枝期和现蕾期的适宜的调亏灌溉可以实现西北旱区紫花苜蓿的高产、优质、节水生产。廉喜旺等[8]在新疆福海地区研究了地下滴灌毛管布置方式和灌水定额对苜蓿生长状况的影响,结果发现毛管间距 80 cm、埋深 30 cm、灌溉定额 375 mm 的试验效果最佳。程冬玲等[9]研究得出在苜蓿田间实施地下滴灌技术是可行的,毛管的适宜埋深为 30~40 cm,滴灌灌水定额宜采用 225~375 $m^3 \cdot hm^{-2}$,最大耗水时段的滴水间隔天数约 10 d 左右。

虽然传统地下滴灌[10]的灌溉效果在苜蓿种植中已得到肯定,但由于毛管埋设过深,轮作期难以维修和回收,且操作较为复杂,基于此,浅埋式地下滴灌技术应运而生。浅埋式滴灌是指滴灌带埋深小于 20 cm 的滴灌技术,与传统的地下滴灌相比,具有埋深较浅、布设成本低、滴灌带铺设后易于维修和回收等优点[11-12],但是其灌溉效果的相关研究还相对较少。因此本文针对浅埋式滴灌开展相应实验研究,探讨毛管埋深对浅埋式滴灌效果的影响。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验在位于新疆阿勒泰青河县境内的阿苇灌区试验站进行,青河县属大陆性北温带干旱气候,年降雨量小,蒸发量大。极端最低气温为-53℃,最高达 36.5℃;多年平均气温 0℃,多年平均蒸发量为 1 495 mm,多年平均降水量仅为 161 mm;无霜期平均为 103 d。试验田为荒漠地区,土层中砾石含量较高,其 0~30 cm 砾石含量约为 25%,40~60 cm 砾石含量约 50%。根据国际制土壤分类标准,试验田表层 0~30 cm 土层为多砾质土,30~60 cm 土层为轻砾石土,0~60 cm 土层平均容重为 1.77 $g \cdot cm^{-3}$。土壤田间持水率较低,具体土壤物理性状如表 1 所示。

表 1　土壤基本物理指标

Table 1　Soil basic physical indicators

土层深度/cm Soil depth	颗粒含量 Particle contents/%				质地分类 Classification of texture	干密度 Dry density /($g \cdot cm^{-3}$)	田间持水量(体积) Field capacity (volume)/%
	黏粒 Clay	粉粒 Silt	沙粒 Sand	>2 mm 石砾 Gravel			
0~10	9.89	31.70	35.98	22.43	多砾质土 More gravel soil	1.65	
10~20	9.90	27.50	34.44	28.16	多砾质土 More gravel soil	1.78	26.3
20~30	9.37	24.62	38.39	27.82	多砾质土 More gravel soil	1.78	
30~40	8.53	19.42	29.49	42.56	轻砾石土 Light gravel soil	1.82	
40~50	6.51	16.95	26.81	49.63	轻砾石土 Light gravel soil	1.84	22.0
50~60	5.15	18.02	28.81	48.02	轻砾石土 Light gravel soil	1.88	

1.2　试验设计

试验于 2016 年 4—10 月在新疆阿勒泰阿苇灌区试验站开展,采用田间小区对比试验。每个小区长 30 m,宽 2.4 m,地面干管为 ϕ50 的 PE 管,支管为 ϕ40 的 PE 管。试验苜蓿为 2012 年 8 月播种的当地主栽紫花苜蓿品种阿尔冈金,苜蓿行距为 30 cm。毛管采用可以防负压的内镶贴片式滴灌带,滴头标定流量为 2.2 $L \cdot h^{-1}$,其中滴灌带直径为 2 mm,滴头间距为 30 cm。毛管布置示意图如图 1 所示。

试验中毛管(滴灌带)埋深为试验因素,毛管埋

深设 5、10 cm 的浅埋式滴灌与 20 cm 的传统地埋式滴灌等 3 种水平,毛管间距均为 60 cm,共计 3 个处理,每个处理为 1 个小区(长 30 m×宽 2.4 m),各重复 3 次。灌水定额依据当地农民用水习惯及苜蓿生理特性而制定,各处理均采用同一灌溉制度,均按照 37 mm 进行灌溉。具体灌水时间与灌水量见表 2。试验小区由水表(水表自带球阀)计量并控制灌水定额。

1.3 测定项目

由于试验区位于干旱荒漠地区,气候干冷,温度回升缓慢,全年无霜期较短,当地紫花苜蓿全年只能收割两茬。根据调查,试验小区紫花苜蓿各生育阶段划分见表 3。

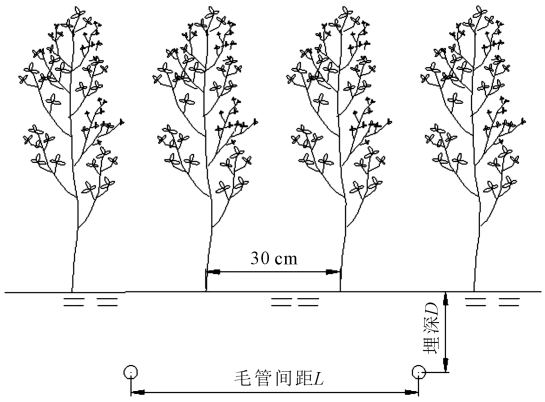

图 1 毛管田间布置示意图

Fig.1 Arrangement of drip belt in the field

表 2 苜蓿浅埋式滴灌灌溉制度

Table 2 Irrigation schedule of shallow-buried drip in Alfalfa field

毛管埋深/cm Drip belt buried depths	灌水量 Irrigation amount/mm													
	第一茬 First crop						第二茬 Second crop							
	05-04	05-13	05-21	05-30	06-08	06-17	06-29	07-08	07-17	07-26	08-04	08-13	08-22	09-01
5	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
10	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
20	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

表 3 试验小区苜蓿生育期(M-d)

Table 3 Alfalfa growth period in experimental plots

紫花苜蓿 Alfalfa	返青期 Green stage	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Blossom stage
第一茬 First crop	05-01~05-15	05-16~06-03	06-04~06-13	06-14~06-20	06-20~06-25
第二茬 Second crop	07-03~07-13	07-11~08-09	08-10~08-19	08-20~09-01	09-02~09-10

试验观测内容主要有株高、茎粗、苜蓿毛细根生物量、作物产量等。苜蓿株高和茎粗 2 个指标,在每个试验小区中按“S”型曲线随机选取 10 株苜蓿定株,每隔 5 天测一次。苜蓿株高的测定:孕蕾前为从苜蓿茎的最基部到最上叶顶端的高度,孕蕾期后为从苜蓿茎的最基部到最顶端的高度;茎粗的测定:用游标卡尺测一次苜蓿茎粗,每次测量单株苜蓿茎粗时,取相互垂直的两个方向各测一次,最终取平均值;毛细根生物量采用取样烘干法测定,在测过株高和茎粗的苜蓿植株旁 5 cm 处,挖 60~100 cm 深的坑,分别在 10、20、30、40、50、60 cm 深度分层采集土样,分离出直径小于 2 mm 的毛细根[13],放置在烘箱中烘干称重,并换算为毛细根根重密度;苜蓿产量的测定分别于苜蓿第一茬分枝期(05-25)、孕蕾期(06-10)、盛花期(06-20)、收割时(06-26)和第二茬分枝期(07-15)、孕蕾期(08-15)、盛花期(09-05)、收割时(09-12)选取各小区长势均匀区域,样方面积约为 100 cm×100 cm,刈割两次取平均值,留茬高度 5 cm 左右,收割后所取鲜草置于阴凉处自然风干,测干草产量。

2 结果与分析

2.1 毛管埋深对垂直方向毛细根分布的影响

不同埋深处理下的毛细根量空间分布如图 2 所示。由图 2 可以看出,毛细根量随着土层深度的增加而减小。毛管埋深为 5 cm 的处理其毛细根生物量主要分布在 0~30 cm 土层深度,30~60 cm 土层毛细根生物量较小,在 1.0×10^{-4} g·cm^{-3}左右;毛管埋深为 10 cm 处理其毛细根生物量主要分布在 0~40 cm 土层,40~60 cm 土层毛细根生物量较小,也在 1.0×10^{-4} g·cm^{-3}左右;毛管埋深为 20 cm 的处理其毛细根生物量主要分布在 0~40 cm 土层,40~60 cm 土层毛细根生物量较小,与埋深 10 cm 处理相比,其 40~60 cm 毛细根生物量的变化并不明显。

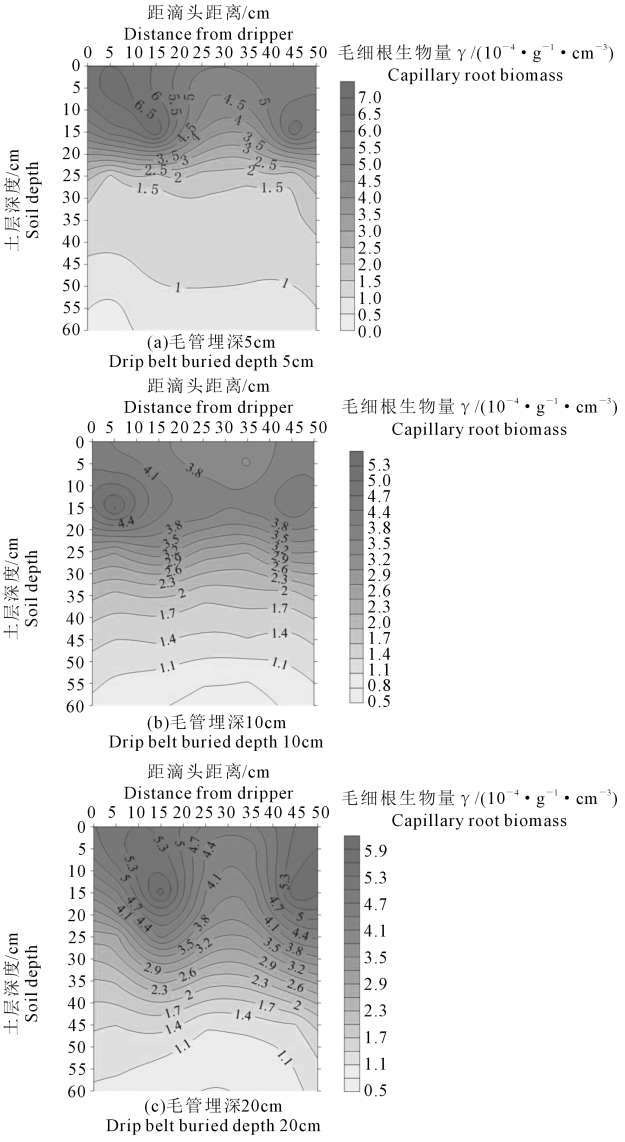

图 2　不同毛管埋深下毛细根生物量空间分布

Fig.2　Spatial distribution of capillary root biomass under different drip belt buried depths

毛管不同埋深对苜蓿垂直方向毛细根根重密度的影响见图 3。毛管埋深为 10 cm 和 20 cm 时,埋深的增加对各深度土层根系的生长影响不大,埋深 10、20 cm 相较于埋深 5 cm 的处理更有助于 20~30 cm 深度土层毛细根的生长,对 30~60 cm 深度土层毛细根生长影响较小。

随着第一茬苜蓿的收割,同一种处理下第二茬苜蓿毛细根根重密度有所变化,但变化不大,具体见图 4。毛管埋深 10、20 cm 处理 0~60 cm 深度各土层差异性仍然较小,毛管埋深 5 cm 处理与毛管埋深 10、20 cm 处理在 0~20 cm 与 30~60 cm 深度土层差异均不明显。20~30 cm 土层毛管埋深 5 cm 处理其细根根重密度低于毛管埋深 10 cm、20 cm 处理,且差异达显著水平。另外,第二茬各点毛细根根重密度值均略低于第一茬,但各层所占总根系生物量的比例与第一茬差异不大。

2.2　毛管埋深对苜蓿生长指标及产量的影响

2.2.1　毛管埋深对苜蓿株高的影响　株高是评价作物生长和发育状况的重要因素,是直接影响紫花苜蓿产量的关键因子[14]。由表 4 可知,第一茬与第二茬苜蓿植株的生长主要集中在苜蓿的分枝期和孕蕾期,开花期后,苜蓿植株高度生长缓慢,其植株高度保持在 70 cm 左右。

一、二茬苜蓿植株高度存在一定的差异性,第一茬整个生育期毛管埋深 10 cm 与 20 cm 的处理植株高度差异较小,但两处理植株高度均高于毛管埋深 5 cm 的处理且差异达显著水平。第一茬收割时埋深 10 cm 与 20 cm 植株高度分别为 71.2 cm 和 72.5 cm,两者相较于埋深 5 cm 的 65.8 cm 差别显著,苜蓿第二茬其生长规律与第一茬相似,但苜蓿第

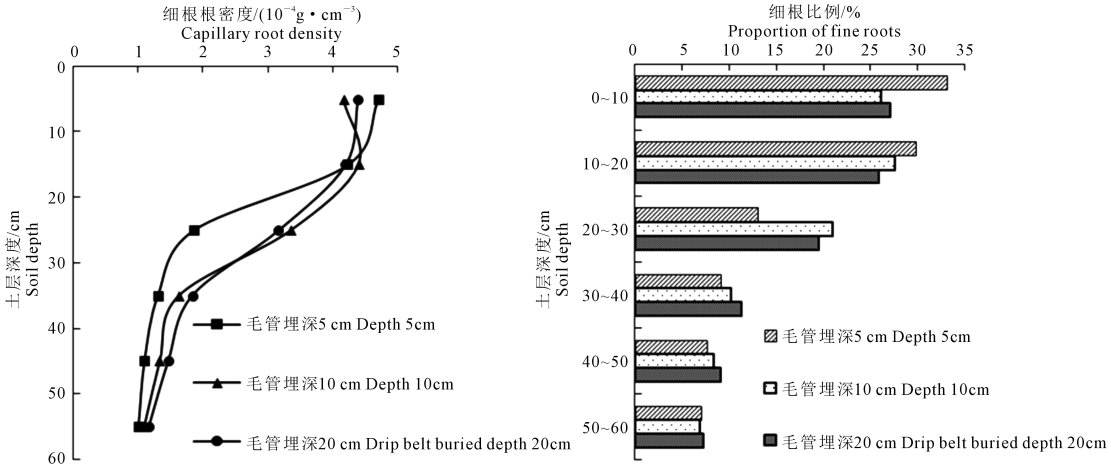

图 3　不同毛管埋深下第一茬苜蓿毛细根根重密度

Fig.3　Capillary root weight density of first crop alfalfa under different drip belt buried depths

二茬生长期较第一茬有所变化,整个第二茬生育期除分枝期外,毛管埋深10 cm处理略高于埋深20 cm处理,但差异不显著,两者均高于埋深5 cm处理且差异达显著水平。因而,毛管埋深10、20 cm对苜蓿植株高度的生长影响不大,埋深5 cm处理不利于苜蓿植株的生长。

2.2.2 毛管埋深对苜蓿茎粗的影响 茎是苜蓿输送养分、水分的主要渠道,是影响苜蓿产量的主要构成因素[15]。由表5可知,第一茬与第二茬苜蓿植株茎粗的增长速度集中时间和株高大致相同,分别在苜蓿的分枝期和孕蕾期,开花期后,苜蓿茎粗增长缓慢,第一茬维持在3.5 cm左右,第二茬维持在3 cm左右。

第一茬苜蓿生育前期,毛管埋深10、20 cm差异较小,而埋深5 cm处理略高于两者,生育后期,毛管埋深10 cm处理略高于埋深20 cm处理,差异不显著,两者均高于埋深5 cm处理,且差异达显著水平;苜蓿第二茬不同埋深处理茎粗生长规律较为明显,整个生育期,埋深10、20 cm处理两者差异性较小,但两者均高于埋深5 cm处理,且差异达显著水平。第一茬与第二茬茎粗生长规律存在差异,此种情况应该是由于第一茬苜蓿根系较浅,主要吸收浅层水分,因而埋深5 cm茎粗生长较快,随后随根系生长,埋深10、20 cm更能促进根系吸收水分,促进植株生长。因而,毛管埋深10、20 cm对苜蓿植株茎的生长影响不大,埋深10 cm相对优于埋深20 cm,埋深5 cm处理不利于苜蓿植株茎的生长。

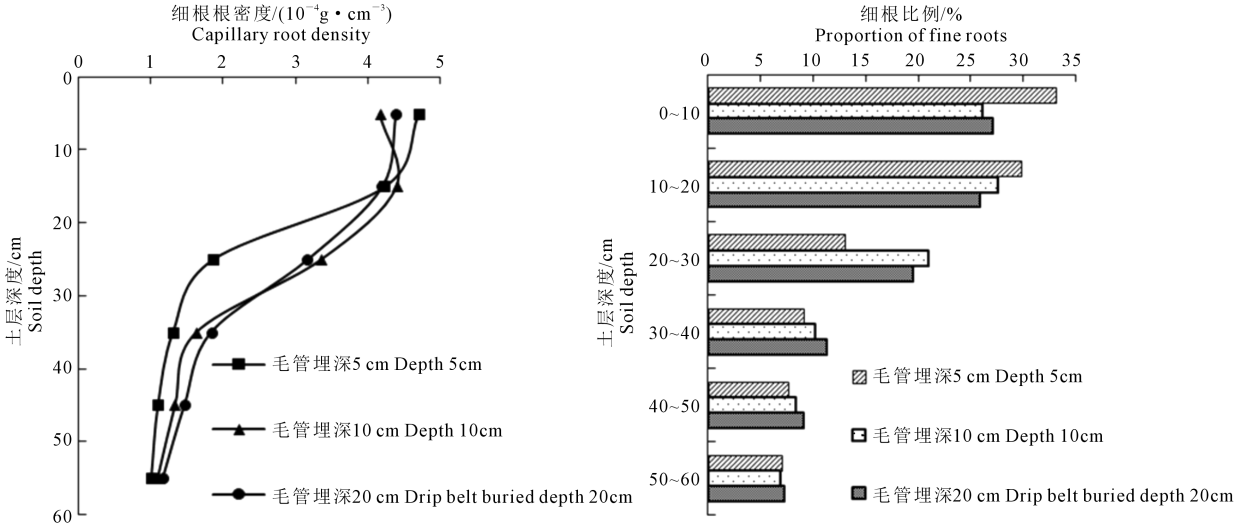

图4 不同毛管埋深下第二茬苜蓿毛细根根重密度

Fig.4 Capillary root weight density of second crop alfalfa under different drip belt buried depths

表4 不同毛管埋深下的苜蓿株高/cm

Table 4 Plant heights of Alfalfa under different drip belt buried depths

毛管埋深/cm Drip belt buried depths	第一茬 The first crop				第二茬 The second crop			
	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Blossom stage	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Blossom stage
5	20.3b	51.5c	63.9b	65.8c	20.7c	48.8c	63.2c	66.9c
10	22.4a	57.0b	69.3a	71.2b	24.6b	54.5a	68.2a	72.0a
20	22.1a	59.6a	69.5a	72.5a	26.6a	53.7b	66.4b	70.6b

注:不同的小写字母表示在$P<0.05$水平下差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters mean significant difference at $P<0.05$ level. The same below.

表5 不同毛管埋深下的苜蓿茎粗/mm

Table 5 Stem diameter of Alfalfa under different drip belt buried depths

毛管埋深/cm Drip belt buried depths	第一茬 The first crop				第二茬 The second crop			
	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Blossom stage	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Blossom stage
5	2.56a	2.77b	3.15b	3.19b	1.69b	2.20b	2.71b	2.82b
10	2.46b	2.98a	3.42a	3.43a	1.86a	2.34a	2.99a	3.11a
20	2.45b	2.91a	3.36a	3.38a	1.90a	2.41a	3.08a	3.14a

2.2.3　毛管埋深对苜蓿产量的影响　由表 6 可知,第一茬与第二茬苜蓿干草产量在分枝期到孕蕾期有大幅度增长,孕蕾期后增长放缓,盛花期和收割时基本稳定在 8 t · hm^{-2}左右。

第一茬分枝期、孕蕾期毛管埋深 5、10 cm 处理差异较小,均高于埋深 20 cm 处理,但差异不显著,盛花期及收割时所测干重埋深 10、20 cm 差异较小,均高于埋深 5 cm 处理,且差异达显著水平。第二茬苜蓿收割时所测干重埋深 10、20 cm 差异较小,均高于埋深 5 cm 处理,且差异达显著水平,其余时期各处理差异不显著。

3　结　论

本试验通过调整毛管埋深,研究了浅埋式滴灌毛管埋深对苜蓿生长的影响,结果表明:毛管埋深为 10 cm 和 20 cm 时,埋深的增加对苜蓿生长指标、产量及各深度土层根系的生长影响不大,均相对优于埋深 5 cm 的处理,且埋深 10、20 cm 更有利于 20~30 cm 深度土层毛细根的生长,对 30~60 cm 深度土层毛细根生长影响较小。综上,10 cm 毛管埋深即可达到传统地埋式滴灌的灌溉效果,对苜蓿的根系生长及产量影响不大,且更加经济方便,适合新疆地区进一步推广。

表 6　不同毛管埋深下各生育阶段的苜蓿干草产量/(t · hm^{-2})

Table 6　Alfalfa hay yield at different growth stages under different drip belt buried depths

毛管埋深/cm Drip belt buried depths	第一茬 The first crop				第二茬 The second crop				总产量 Total yield
	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	盛花期 Blossom stage	收割 Reap	分枝期 Branching stage	孕蕾期 Bud stage	盛花期 Blossom stage	收割 Reap	
5	3.12	6.29	6.89b	7.28b	2.62	5.72	7.31	7.32b	14.60b
10	3.18	6.40	7.99a	8.04a	3.03	6.03	7.77	8.07a	16.21a
20	2.86	6.06	8.09a	8.14a	2.92	6.18	7.54	7.97a	15.61a

参 考 文 献:

[1] Claudio Godoy-Avila C, Perez-Gutierrez A, Torres C A, et al. Water use, forage production and waterrelationsin alfalfa with subsurface drip irrigation[J]. Agrociencia, 2003, 37(2): 107-115.

[2] Bosch D, Powell N L, Wright F S. An economic comparison of subsurface microirrigation with center pivot sprinkler irrigation[J]. American Journal Of Agricultural Economics, 1990, 72(5): 1341.

[3] Alam M, Trooien T, Stone S, et al. Subsurface drip irrigation for alfalfa.[J]. Jawra Journal of the American Water Resources Association, 2002, 38(6):1715-1721.

[4] 陶雪, 苏德荣, 寇丹, 等. 西北旱区不同灌溉方式对苜蓿光合特性和产草量的影响[J]. 中国草地学报,2015,(4): 35-41.

[5] 陶雪,苏德荣,乔阳,等. 西北旱区灌溉方式对苜蓿产量及品质的影响[J].草业科学, 2015,32(10):1641-1647.

[6] 陶雪, 苏德荣, 寇丹,等. 西北旱区灌溉方式对苜蓿生长及水分利用效率的影响[J]. 草地学报,2016,24(1):114-120.

[7] 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.

[8] 廉喜旺.阿勒泰地区地下滴灌条件下苜蓿滴灌带布设方式及高效用水研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.

[9] 程冬玲, 李富先, 林性粹. 苜蓿田间地下滴灌效应试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2004,(5):1-3.

[10] 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.

[11] 韩方军.浅谈牧草浅埋式滴灌技术示范与推广项目的实施[J]. 新疆水利, 2014,(5): 006.

[12] 王建东, 张彦群, 龚时宏,等. 覆膜浅埋滴灌技术模式田间应用试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(11):1-5.

[13] 刘晓丽, 汪有科, 马理辉,等. 密植枣林地深层土壤水分垂直变化与根系分布关系[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 90-97.

[14] Payero J O, Neale C M U, Wright J L. Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2004, 20(3):385-393.

[15] Halyk R M, Hurlbut L W. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems[J]. Transactions of the ASAE, 1968, 11(2): 256-057.