

DOI:10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2020.0110

赵经华, 胡建强, 杨磊, 等. 浅埋式滴灌苜蓿耗水规律和产量对不同灌水定额的响应[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(5):202-208. ZHAO J H, HU J Q, YANG L, et al. Response of water consumption law and yield of alfalfa in shallow embedded drip irrigation to different irrigation quotas[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(5):202-208. (in Chinese)

浅埋式滴灌苜蓿耗水规律和产量 对不同灌水定额的响应

赵经华¹, 胡建强¹, 杨磊², 彭艳平², 徐剑¹

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052;
2. 中国能源建设集团 新疆电力设计院有限公司, 乌鲁木齐 830001)

摘要:为确定适宜多砾石砂土浅埋式滴灌苜蓿的灌溉制度, 试验设定 5 种灌水定额 (22.5、30.0、37.5、45.0 和 52.5 mm) 并以地面灌为对照组 (CK), 研究灌水定额对浅埋式滴灌苜蓿耗水规律和产量的影响。结果表明: 不同灌水定额下各茬苜蓿的耗水强度为第 2 茬 > 第 1 茬 > 第 3 茬, 且均在孕蕾期达到峰值。各茬苜蓿的总耗水量表现为第 2 茬 > 第 3 茬 > 第 1 茬, 且耗水量分别在分枝期、初花期及孕蕾期最高。灌水定额大于 45.0 mm 时, 耗水强度增加趋势不明显且与地面灌 (CK) 相近。45.0 mm 灌水定额与地面灌 (CK) 间的耗水量差异不显著 ($P < 0.05$)。高灌水定额 (45.0、52.5 mm) 与地面灌 (CK) 之间的总耗水量、总产量以及总水分利用效率差异不显著, 与低灌水定额 (22.5、30.0、37.5 mm) 差异显著 ($P < 0.05$), 且各茬苜蓿此三项指标的差异性一致。总产量与总水分利用效率在灌水定额为 45.0 mm 处达到最大, 与地面灌 (CK) 相比分别增加了 9.05%、14.54%。选用 45.0 mm 灌水定额和 540 mm 灌溉定额作为多砾石砂土浅埋式滴灌苜蓿灌溉制度较为合适。

关键词:苜蓿; 多砾石砂土; 浅埋式滴灌; 灌溉制度

中图分类号: S512 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



Response of water consumption law and yield of alfalfa in shallow embedded drip irrigation to different irrigation quotas

ZHAO Jinghua¹, HU Jianqiang¹, YANG Lei², PENG Yanping², XU Jian¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. China Energy Engineering Group Xinjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Urumqi 830001, China)

Abstract: To determine the suitable irrigation schedule for alfalfa under shallow embedded drip irrigation in pebbly sandy soil, five irrigation quotas (22.5 mm, 30.0 mm, 37.5 mm, 45.0 mm, and 52.5 mm) were set in the experiment, and the surface irrigation was used as the control group (CK) to study the effect of irrigation quota on the water consumption and yield of shallow embedded drip irrigation alfalfa. The results showed that the water consumption intensity of alfalfa in different stubbles under different irrigation quota was expressed as 2nd > 1st > 3rd, and all of them reached the peak value in the bud stage. The total water consumption of alfalfa in different stubbles was expressed as 2nd > 3rd > 1st, and the water consumption was the highest in the branching stage, the initial flowering stage, and the bud stage, respectively. When the irrigation quota was greater than 45.0 mm, the increasing trend of water consumption intensity was smaller and similar to that of surface irrigation (CK). There was no signifi-

收稿日期: 2019-08-21 修回日期: 2020-03-18 网络出版时间: 2020-04-28

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/13.1430.TV.20200428.0939.004.html>

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2019D01A40)

作者简介: 赵经华(1979—), 男, 新疆奇台人, 副教授, 博士, 硕士研究生导师, 主要从事节水灌溉技术研究及教学工作。E-mail: 105512275@qq.com

cant difference in water consumption between 45.0 mm irrigation quota and CK ($P < 0.05$). There were no significant differences in total water consumption, total yield and total water use efficiency between high irrigation quota (45.0, 52.5 mm) and surface irrigation (CK), but significant difference was found between low irrigation quota (22.5, 30.0, 37.5 mm) ($P < 0.05$). The total yield and total water use efficiency reached the maximum at the irrigation quota of 45.0 mm, increased by 9.05% and 14.54%, respectively compared with the surface irrigation (CK). Therefore, it is suitable to select a 45.0 mm irrigation quota and 540 mm irrigation norm for alfalfa in pebbly sandy soil with a shallow embedded drip irrigation system.

Key words: alfalfa; pebbly sandy soil; shallow embedded drip irrigation; irrigation system

新疆阿勒泰地区是我国畜牧业的重要基地之一^[1]。该地区气候干燥、土壤多砾石、缺水等因素造成牧草量少质差,加之冬季雪大雪厚的环境因素使苜蓿成为当前牧区饲料的首要选择^[2]。苜蓿作为种植最广泛的多年生牧草作物,对我国畜牧业与农业的发展发挥着重要作用^[3-4]。因此,探究苜蓿耗水规律和产量对不同灌水定额响应的意义深远。由于该地区农业的发展仍处于初始阶段,且苜蓿属多年生作物,苜蓿收割时会损坏喷头与滴灌带,地表喷灌与滴灌技术的应用受到阻碍,故开始采用地下滴灌技术。前人^[5]研究表明,滴灌比漫灌苜蓿的总水分利用效率高 42%~44%,在灌水量相同条件下干草的产量增加显著。Claudio 等^[6]研究表明滴灌比漫灌苜蓿的干物质量多出 16%~23%。与喷灌和畦灌相比,滴灌苜蓿的产量与水分利用效率均达到显著水平($P < 0.5$)^[7]。在充分灌溉和水分胁迫处理下地下滴灌苜蓿的产量与水分利用效率最高,其次是滴灌,最后是喷灌^[8]。夏玉慧等^[9]研究表明滴灌深埋(30 cm),苜蓿开花期、结实期的干物质积累量和净增长量均最好。地下滴灌(埋深 20 cm)能显著提高苜蓿干草产量^[10-11]。但 Wang 等^[12]研究表明地下滴灌(埋深 10 cm)的干产量和水分利用效率均高于埋深 20 cm 和 5 cm。苜蓿地下滴灌优于其它灌溉技术已得到大多数学者和农户的认可并广泛应用于苜蓿栽培。目前对苜蓿的研究^[13-15]多集中在生理特性、品种选育、品质和产量等方面。阿勒泰地区苜

蓿多以漫灌为主,农田灌溉水浪费现象严重,而且该地区土壤是由砂土、卵石等组成的多砾石砂土,土壤持水能力较差,浅埋式滴灌苜蓿有其自身特点。以节水增产为目的,研究灌水定额对多砾石砂土浅埋式滴灌苜蓿耗水规律和产量的影响具有实际意义。对多砾石砂土浅埋式滴灌苜蓿灌溉制度研究,为改进当地浅埋式滴灌苜蓿灌溉制度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2017 年在阿勒泰福海县灌溉试验站进行,高程 550 m。年均太阳辐射总量 564.7 kJ/cm²,光合有效辐射量为太阳总辐射量的 48%,作物生长期日照时数 1 900 h 左右。年均气温 4.0 °C,极端最高气温 41 °C,极端最低气温 -42.7 °C,气温年差达 83.7 °C,≥0 °C 的积温为 3 272.6 °C。年均蒸发量 1 844.4 mm 以上,年均降雨量 121 mm,作物生长期日均相对湿度低于 30%,多年平均相对湿度 50%~70%。试验地土壤经测定并按森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定《GB 7845—1987》土壤质地为多砾石砂土,各层土壤按照美国农业部土壤质地三角形进行土壤颗粒划分。具体土壤物理性状见表 1,土壤酸碱度及微量元素含量见表 2。作物生长期内气象数据由站内安装的 HOBO 小型自动气象站自动观测,每 30 min 测定 1 次,气象数据见图 1。

表 1 土壤物理性状
Tab. 1 Soil physical properties

土层深度/ cm	颗粒质量分数/%				土壤质地	土壤干容重/ (g·cm ⁻³)	田间持水率 体积分/ %
	黏粒(<0.002 mm)	粉粒(≥0.002~0.02 mm)	砂粒(≥0.02~2 mm)	石粒(≥2 mm)			
0~20	10.12	31.13	45.40	13.35	多砾质土	1.75	22.13
20~40	9.59	23.24	38.98	28.19	多砾质土	1.76	20.86
40~60	6.38	18.94	25.85	48.83	轻砾石土	1.79	17.22

1.2 试验材料与方法

选用能在降雨量小于 300 mm 地区良好生长、建植 3 年的阿尔冈金紫花苜蓿作为供试品种。贴

片式滴灌带由某节水科技公司生产,滴头流量 2.0 L/h,滴头间距 0.3 m,滴头工作压力 10 m。为保证灌溉达到较好效果的同时降低种植成本^[16],滴

灌带埋深 10 cm,用文丘里施肥罐进行施肥。选用 QT-303 型号,长 700 mm,直径为 44 mm 规格的

Trime 管进行田间布置,苜蓿种植模式及 Trime 管平面布置见图 2。

表 2 土壤酸碱度及微量元素含量

Tab. 2 Soil potential of hydrogen and trace element content

土层深度/ cm	pH 值	渗透系数/ (mm · d ⁻¹)	速效氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	有机质量分数/ %	全氮含量/ %
0~20	8.62	7.86	20.54	98.61	10.34		
20~40	8.46	8.73	19.23	93.57	8.91	0.213	0.027
40~60	8.45	9.75	18.73	85.02	7.75		

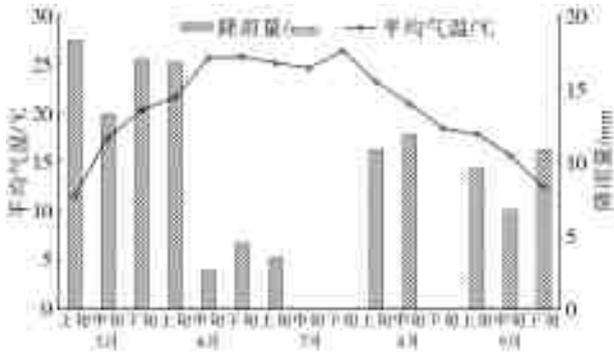


图 1 气象数据

Fig. 1 Meteorological dat

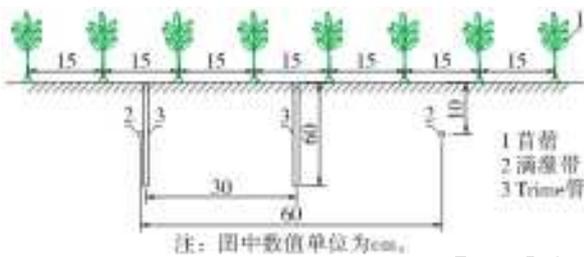


图 2 苜蓿种植模式及 Trime 管布置

Fig. 2 Alfalfa planting model and trime pipe layout

试验设 5 个灌水定额处理(22.5、30.0、37.5、45.0、52.5 mm)并以地面灌为对照组(CK),共计 6 个处理,每个处理设 3 个重复。为防止水分交互,小区之间均设有 1.5 m 隔离带,其灌溉制度见表 3。每茬苜蓿第 1 次灌溉时,均用文丘里施肥罐施加肥料(磷酸二氢钾 75 kg/hm²、尿素 150 kg/hm²),其生育期划分见表 4。

表 3 苜蓿灌溉制度设计方案

Tab. 3 Design scheme of alfalfa irrigation system

处理	灌水方式	灌水定额/ mm	灌水周期/ d	灌水次数/ 次	灌溉定额/ mm
W ₁		22.5	8~10	12	270
W ₂		30.0	8~10	12	360
W ₃	浅埋式滴灌	37.5	8~10	12	450
W ₄		45.0	8~10	12	540
W ₅		52.5	8~10	12	630
CK	地面灌	60.0	20	6	720

表 4 苜蓿生育期划分

Tab. 4 Division of growth period of alfalfa

生育期	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬
返青期	5 月 9 日—5 月 18 日	6 月 25 日—7 月 2 日	8 月 3 日—8 月 10 日
分枝期	5 月 19 日—5 月 31 日	7 月 3 日—7 月 14 日	8 月 11 日—8 月 21 日
孕蕾期	6 月 1 日—6 月 9 日	7 月 15 日—7 月 21 日	8 月 22 日—9 月 11 日
初花期	6 月 10 日—6 月 14 日	7 月 22 日—7 月 26 日	8 月 31 日—9 月 11 日
盛花期	6 月 15 日—6 月 19 日	7 月 27 日—7 月 30 日	9 月 12 日—9 月 21 日

1.3 测定项目

1.3.1 耗水量

德国生产的 Trime-IPH 在灌前、灌后以及各茬苜蓿收获后测定土壤剖面含水率(体积分数),生育阶段转变与降雨需进行加测。每 20 cm 分层测定 0~60 cm 土壤含水率。早作物的生育期任一时段内,作物耗水量根据农田水量平衡方程计算

$$ET = W_0 - W_t + W_T + P_0 + K + M \quad (1)$$

式中:ET 为时段 t 内的作物耗水量,mm;W₀、W_t 分

别为时段初与时段末的土壤计划湿润层内的储水量,mm;W_T 为由于计划湿润层增加而增加的水量,mm,本试验计划湿润层深度不变,故 W_T=0;P₀ 为土壤计划湿润层内保存的有效降水量,mm;K 为 t 时段内的地下水补给量,mm;试验区地下水埋深大于 6 m,因此不考虑地下水补给(即 K=0)^[17-18];M 为时段 t 内灌溉水量,mm。

1.3.2 产量与水分利用效率

苜蓿收割时在不同灌水处理小区的上、中、下部

分别收割 2 m², 风干后称干草重, 再取 3 茬重复的平均值折算出单位面积产量。将苜蓿干草产量与全生育期的实际耗水量的比值作为水分利用效率 (WUE)^[19]。

2 结果分析

2.1 不同灌水定额对苜蓿耗水强度的影响

由 3 茬苜蓿各生育期的耗水强度图 3 可知: 不同灌水定额下各茬苜蓿的耗水强度在全生育期内均呈倒立的“V”趋势变化, 不同生育阶段耗水强度由高至低排序为孕蕾期>初花期>盛花期>分枝期>返青期。孕蕾期对应的耗水强度分别为第 1 茬 3.13~4.69 mm/d, 第 2 茬 3.84~6.34 mm/d, 第 3 茬 2.30~

3.46 mm/d。孕蕾期植株生长最快, 每天株高增长 1~2 cm, 说明孕蕾期是浅埋式滴灌苜蓿的生长需水关键期; 开花期是植株生物量积累的重要时期, 该时期耗水强度较大; 盛花期是收获干草的最佳时期, 也是生物量进一步积累的时期, 该时期耗水强度大于分枝期和返青期。随气温与日照时数等气象因素的增加, 不同灌水处理下各茬苜蓿对应生育期的耗水强度表现为第 2 茬>第 1 茬>第 3 茬。当灌水定额由 W₁ 增加到 W₄ 时, 耗水强度增加幅度为 0.21~1.05 mm/d; W₄、W₅ 与 CK 的耗水强度大小相近, 说明灌水定额大于 W₄ 时, 灌水定额的增加对耗水强度的影响可以忽略不计, 且 W₄ 灌水定额的耗水强度接近于 CK。

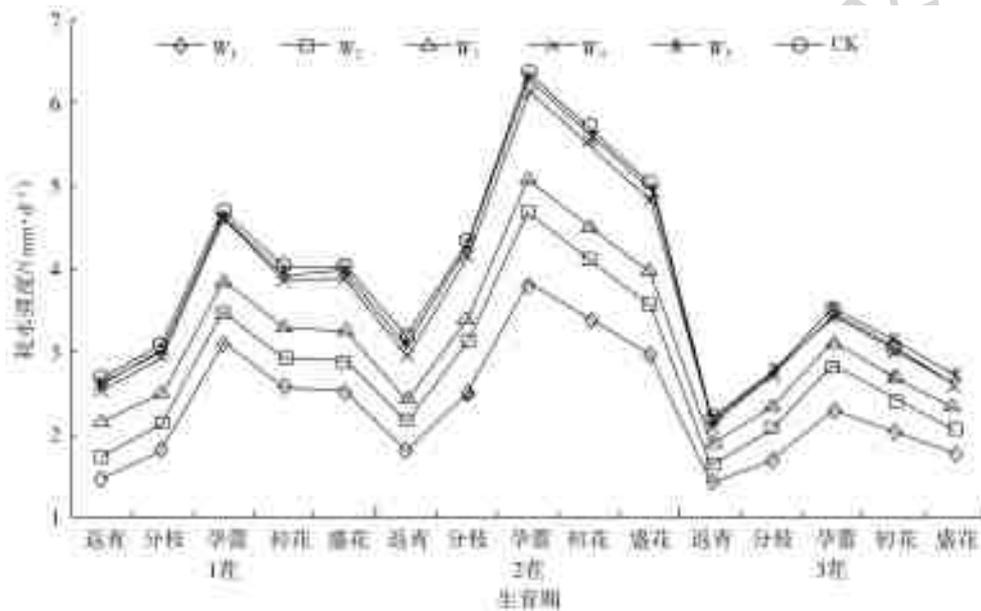


图 3 3 茬苜蓿各生育期的耗水强度

Fig. 3 Water consumption intensity of Three-crop alfalfa at different growth stages

2.2 不同灌水定额对苜蓿耗水量的影响

由表 5 苜蓿各生育期耗水量可知: 各茬苜蓿的耗水量以及总耗水量与灌水定额之间存在线性关系。在同梯度灌水定额增加条件下总耗水量增加率分别为: 19%、12%、13%、5%, 且 W₄ 与 CK 之间增加率仅为 6%。经 LSD 法分析, W₄、W₅ 灌水定额与 CK 之间的各生育期耗水量、各茬苜蓿总耗水量以及 3 茬苜蓿总耗水量均无显著差异 ($P < 0.05$); 以 W₄ 灌水定额为界限, 低灌水定额与高灌水定额差异显著 ($P < 0.05$), 且低灌水定额与 CK 差异显著 ($P < 0.05$)。这说明当灌水定额大于 W₄ 时, 单纯的增加灌水定额对耗水量的增加不显著。在不同灌水定额下随生育期的推进各茬苜蓿的耗水量变化趋势均为单峰变化, 受气温、光照时数和相对湿度等气象因素影响, 各茬苜蓿生育期的时

间长短不一, 各茬苜蓿耗水量的峰值出现的生育期也不一致。第 1 茬各处理耗水量峰值出现在孕蕾期; 第 2 茬各处理耗水量峰值出现在分枝期; 第 3 茬各处理耗水量峰值出现在初花期。每茬苜蓿生长的气象环境的差异间接影响了生育期的时间长短, 最终导致各茬苜蓿的总耗水量表现为第 2 茬>第 3 茬>第 1 茬。

2.3 不同灌水定额对苜蓿水分利用效率与产量的影响

由表 6 可知: 随同等梯度灌水量的增加, 各茬苜蓿耗水量与总耗水量的增幅基本上呈递减的趋势。CK 的耗水量最大, 高灌水定额 (W₄、W₅) 与 CK 之间的耗水量差异不显著 ($P < 0.05$), 但与低灌水定额 (W₁、W₂、W₃) 差异显著 ($P < 0.05$)。各茬苜蓿产量、WUE 以及总产量、总 WUE 均与灌水定额存在

单峰关系,均在 W_4 灌水定额达到最大;高灌水定额与低灌水定额差异显著($P < 0.05$),且高灌水定额与 CK 之间无显著差异($P < 0.05$)。 W_4 灌水定额苜蓿的总干草产量为 $16\ 873.65\ \text{kg}/\text{hm}^2$,与 W_1 、

W_2 、 W_3 、 W_5 、CK 的差幅分别为 43.97% 、 32.11% 、 21.55% 、 6.98% 、 9.05% 。 W_4 灌水定额苜蓿的总 WUE 为 $44.14\ \text{kg}/\text{hm}^2/\text{mm}$,比 W_5 、CK 分别高 11.26% 、 14.54% 。

表 5 苜蓿各生育期耗水量

Tab. 5 Water consumption of alfalfa at different growth stages

单位:mm

各生育期耗水量		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	CK
第 1 茬	返青期 全生育期	13.24±0.29a	15.61±0.42b	19.42±1.60c	23.03±2.16d	23.42±0.11de	24.12±4.01d
	分枝期 全生育期	21.76±0.24a	25.76±0.56b	30.14±0.71c	35.28±1.59d	35.93±1.27d	36.95±0.47de
	孕蕾期 全生育期	25.03±0.22a	27.94±0.49ab	30.81±0.82b	36.64±1.31c	36.88±0.92cd	37.52±0.09cd
	初花期 全生育期	10.28±0.32a	11.68±0.25a	13.18±0.37b	15.44±0.55c	15.64±0.54c	16.11±0.24cd
	盛花期 全生育期	10.14±0.21a	11.57±0.42a	13.05±1.31b	15.52±1.61c	15.96±1.34c	16.09±0.21cd
全生育期	80.45±1.32a	92.55±1.54b	106.59±1.73bc	125.91±1.94d	127.83±2.01d	130.79±1.95de	
第 2 茬	返青期 全生育期	14.48±0.15a	17.23±0.72b	19.31±1.24c	23.52±0.18d	24.40±0.59de	25.41±0.71de
	分枝期 全生育期	27.54±1.34a	34.23±0.43b	37.46±0.27bc	45.76±1.15d	46.97±0.56de	47.39±0.11de
	孕蕾期 全生育期	23.01±0.94a	28.20±1.55b	30.55±1.61bc	36.84±0.67d	37.74±0.28d	38.05±0.37de
	初花期 全生育期	13.54±0.41a	16.41±0.82b	18.03±1.85bc	22.12±0.46d	22.44±0.35d	22.80±0.22de
	盛花期 全生育期	8.93±1.13a	10.74±0.12b	11.95±0.76bc	14.55±0.31d	14.76±0.37d	15.14±0.19de
全生育期	87.50±1.54a	106.82±0.88ab	117.31±2.34bc	142.79±1.21d	146.31±3.52d	148.79±0.74de	
第 3 茬	返青期 全生育期	9.82±0.14a	11.44±1.62b	13.22±0.28c	14.67±0.11d	15.22±0.34de	15.30±0.26de
	分枝期 全生育期	16.94±1.36a	20.81±0.29b	23.43±1.15c	27.15±0.53d	27.73±0.72de	27.32±1.41d
	孕蕾期 全生育期	18.37±0.77a	22.61±1.87b	25.14±1.38c	27.55±0.59d	28.26±2.19de	27.70±1.34d
	初花期 全生育期	22.66±1.06a	26.51±0.49b	29.73±1.52c	33.18±1.74d	34.40±0.84de	33.42±1.93d
	盛花期 全生育期	17.80±0.69a	20.71±1.61b	23.24±1.28c	26.00±2.45d	26.98±0.84de	26.19±1.94d
全生育期	85.59±2.97a	102.08±1.06ab	114.77±4.28bc	128.54±2.17d	132.58±3.61de	129.93±0.79d	
总耗水量	253.54±3.79a	301.44±8.67b	338.67±0.88c	382.25±1.76d	400.76±2.51d	406.85±0.57de	

注:(1)数据后“±”表示平均数加减标准差;(2)同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

表 6 不同灌水定额对苜蓿产量、耗水量与 WUE 的影响

Tab. 6 Effects of different irrigation quotas on alfalfa yield, water consumption and WUE

处理	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	CK	
第 1 茬	产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	3 001.05±87.16c	3 601.95±157.34c	4 402.35±148.25b	5 452.80±136.10a	5 252.70±143.13a	5 152.20±91.84a
	耗水量/mm	80.45±1.32a	92.55±1.54b	106.59±1.73bc	125.91±1.94d	127.83±2.01d	130.79±1.95de
	WUE/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$)	37.3±0.58c	38.92±0.36c	41.3±0.44b	43.31±0.31a	41.09±1.15ab	39.39±0.97ab
第 2 茬	产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	3 252.00±59.1d	4 152.45±137.25cd	4 732.65±118.71bc	5 928.15±168.05a	5 401.20±148.47ab	5 342.10±76.85ab
	耗水量/mm	87.50±1.54a	106.82±0.88ab	117.31±2.34bc	142.79±1.21d	146.31±3.52d	148.79±0.74de
	WUE/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$)	37.17±0.25c	38.87±0.65bc	40.34±0.49b	41.52±1.27a	36.92±0.82a	35.9±0.71ab
第 3 茬	产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	3 201.60±102.17c	3 701.85±107.66c	4 102.05±124.58bc	5 492.70±171.25a	5 042.55±93.95ab	4 852.05±136.20ab
	耗水量/mm	85.59±2.97a	102.08±1.06ab	114.77±4.28bc	128.54±2.17d	132.58±3.61de	129.93±0.79d
	WUE/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$)	37.41±0.97b	36.26±0.76c	35.74±0.43cd	42.73±0.68a	38.03±0.57ab	37.34±1.04ab
总产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	9 454.65±126.61c	11 456.25±111.35bc	13 237.05±151.46b	16 873.65±125.35a	15 696.45±132.38a	15 346.35±121.13a	
总耗水量/mm	253.54±3.79a	301.44±8.67b	338.67±0.88c	382.25±1.76d	400.76±2.51d	406.85±0.57de	
WUE/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$)	37.29±1.03c	38.01±1.14bc	39.09±1.27b	44.14±1.16a	39.17±1.32ab	37.72±1.38ab	

3 讨论

在农业用水短缺的环境下,紫花苜蓿的水利用

效率低于其他饲料品种,而地下滴灌是目前最现代和最有效的灌溉技术之一,因此使用该灌溉技术在不影响苜蓿产量的前提下提高这一效率具有重要意

义^[20-21]。杨磊等^[22]研究表明,不同生育阶段耗水强度由大到小排序为现蕾期>分枝期>开花初期>返青期。本研究表明全生育期内耗水强度呈倒立的“V”趋势变化,不同生育阶段耗水强度由大到小排序为孕蕾期>初花期>盛花期>分枝期>返青期。造成耗水强度差异的原因可能是杨磊等^[22]试验中苜蓿开花初期的阴天较多,导致分枝期耗水强度大于开花初期。研究发现,在不同灌水定额下各茬苜蓿的耗水强度在孕蕾期达到最大,与寇丹等^[23]研究结果一致。郑和祥等^[24]研究表明,不同茬次紫花苜蓿耗水强度表现为第2茬>第3茬>第1茬,不同茬次苜蓿的总耗水量表现为:第3茬>第2茬>第1茬,与本研究存在差异。本研究表明,不同灌水定额下各茬苜蓿对应生育期的耗水强度表现为第2茬>第1茬>第3茬,各茬苜蓿的总耗水量表现为第2茬>第3茬>第1茬,与李浩波等^[25]研究结果相似。学者间关于不同茬次苜蓿耗水强度和耗水量的研究均存在差异,受试验区气候环境、土壤质地等诸多因素影响。针对该地区干燥多风、生长期较短、地温回升较晚的气候环境,探究紫花苜蓿的耗水强度和耗水量规律具有重要意义。

紫花苜蓿的耗水量与灌水量之间存在线性关系,干草产量和 WUE 与灌水量之间呈单峰曲线变化趋势,45 mm 灌水定额处达到最大,与孟林等^[26]、仝炳伟等^[27]观点一致,与曹雪松等^[28]、霍海丽等^[29]研究结果不同。这是 30 mm 的灌水定额未达到苜蓿需水量的峰值,造成干草产量和 WUE 随灌水量增加而增加的假象。以 45 mm 灌水定额为界限,各茬苜蓿的耗水量、产量和 WUE,以及 3 茬苜蓿的总耗水量、总产量和总 WUE 均表现为:大于 45 mm 灌水定额与 CK 之间差异不显著,与小于 45 mm 的灌水定额差异显著($P < 0.05$),与洪明等^[18]研究结果一致。这说明在渗漏量较大的多砾石砂土条件下,大于 45 mm 的灌水定额对产量的增加贡献较小,并且浪费较多的水资源。相反小于 45 mm 的灌水定额水量增加对产量增加的影响潜力较大。

4 结论

全生育期内各茬苜蓿的耗水强度均呈倒立的“V”趋势变化,不同生育期的耗水强度均表现为孕蕾期>初花期>盛花期>分枝期>返青期。第1、第2和第3茬苜蓿不同生育期耗水量均呈单峰曲线变化,分别在孕蕾期、分枝期和初花期达到峰值。在不同灌水处理下,各茬苜蓿耗水强度均表现为第

2茬>第1茬>第3茬,各茬苜蓿的总耗水量表现为第2茬>第3茬>第1茬。苜蓿总产量和总 WUE 在 45 mm 灌水定额处最优,总产量比 52.5 mm 灌水定额和 CK 处理分别高 6.98%、9.05%,总 WUE 分别高 11.26%、14.54%。

在多砾石砂土土壤质地条件下,灌水定额 45 mm、灌溉定额为 540 mm 的灌溉制度最适宜该地区浅埋式滴灌苜蓿产量的积累与水资源的合理利用。

参考文献:

- [1] SINGER S D, HANNOUFA A, ACHARYA S. Molecular improvement of alfalfa for enhanced productivity and adaptability in a changing environment[J]. *Plant Cell and Environment*, 2018, 41(9): 1955-1971. DOI: 10.1111/pce.13090.
- [2] 吴兴荣,华根福,莫树志. 新疆北部苜蓿耗水规律及灌溉制度研究[J]. *节水灌溉*, 2012(2): 38-40.
- [3] 石自忠,王明利,刘亚钊. 我国牧草产业国际竞争力分析[J]. *草业科学*, 2018, 35(10): 2530-2539. DOI: 10.11829/j. issn. 1001-0629. 2018-0036.
- [4] 邵继承,杨恒山,张军. 内蒙古通辽市玉米田改种紫花苜蓿的优势分析[J]. *草业科学*, 2012, 29(1): 150-155.
- [5] 张前兵,于磊,艾尼娃尔·艾合买提,等. 新疆绿洲区不同灌溉方式及灌溉量下苜蓿田间土壤水分运移特征[J]. *中国草地学报*, 2015, 37(2): 68-74.
- [6] CLAUDIO G C, PEREZ-GUTIERREZ A, TORRES C A, et al. Water use, forage production and waterrelations in alfalfa with subsurface drip irrigation[J]. *Agronomía*, 2003, 37(2): 107-115.
- [7] 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. DOI: 10.11733/j. issn. 1007-0435. 2016. 01. 016.
- [8] ISMAIL S M, EI-NAKHLAWY F S, BASAHI J M, et al. Sudan grass and pearl millets productivity under different irrigation methods with fully irrigation and stresses in arid regions[J]. *Grassland Science*, 2018, 64(1): 29-39. DOI: 10.1111/grs.12179.
- [9] 夏玉慧,汪有科,汪治同. 地下滴灌埋设深度对紫花苜蓿生长的影响[J]. *草地学报*, 2008, 16(3): 298-302.
- [10] 张松,李和平,郑和祥,等. 毛乌素沙地地理滴灌对紫花苜蓿生长指标的影响[J]. *节水灌溉*, 2016(8): 113-116.
- [11] 王冲,王飞,薛韬,等. 不同滴灌管理对紫花苜蓿水分利用效率和草地覆盖率的影响[J]. *节水灌溉*, 2018(1): 42-44.

- [12] WANG S F, JIAO X Y, GUO W H, et al. Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of northern Xinjiang[J]. PLoS One, 2018, 13(4): e0195965-. DOI: org/10. 1371/journal.pone. 0195965.
- [13] 杨文静, 张小甫, 张爱宁. 基于文献计量学的苜蓿研究进展分析[J]. 中国草食动物科学, 2016, 36(6): 45-50. DOI: 10. 3969/j. issn. 2095-3887. 2016. 06. 013.
- [14] 赵威, 李亚鸽, 王馨, 等. 外源无机盐与硫胺素对枝叶去除后紫花苜蓿的再生性影响[J]. 草业学报, 2017, 26(5): 100-108. DOI: 10. 11686/cyxb2016429.
- [15] 陈昱铭, 李倩, 王玉祥, 等. 氮、磷、钾肥对苜蓿产量、根瘤菌及养分吸收利用率的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(7): 174-180. DOI: 10. 13448/j. cnki. jal-re. 2019. 216.
- [16] 潘小保, 缴锡云, 郭维华, 等. 浅埋式滴灌毛管埋深对苜蓿生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(4): 152-157. DOI: 10. 7606/j. issn. 1000-7601. 2018. 04. 22.
- [17] 胡建强, 赵经华, 马英杰, 等. 不同灌水定额对膜下滴灌玉米耗水及产量的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2018, 41(1): 67-71.
- [18] 洪明, 马英杰, 赵经华, 等. 新疆阿勒泰地区浅埋式滴灌苜蓿灌溉制度试验[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 871-874.
- [19] 胡建强, 赵经华, 马英杰, 等. 不同灌水定额对膜下滴灌玉米的生长、产量及水分利用效率的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(5): 249-254. DOI: 10. 11705/j. issn. 1672-643X. 2018. 05. 41.
- [20] GUTIERREZ S R, PALESTINA M S, BANUELOS H G, et al. Water use efficiency of alfalfa varieties (*Medicago sativa*) with subsurface irrigation system [J]. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias, 2017, 8(4): 429-435. DOI: org/10. 22319/rmcpc. v8i4. 4255.
- [21] ISMAIL S M, ALMARSHADI M H. Maximizing productivity and water use efficiency of alfalfa under precise subsurface drip irrigation in arid regions[J]. Irrigation and Drainage, 2013, 62(1): 57-66. DOI: 10. 1111/grs. 12179.
- [22] 杨磊, 杜太生, 李志军, 等. 调亏灌溉条件下紫花苜蓿生长、作物系数和水分利用效率试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(6): 102-105. DOI: 10. 13522/j. cnki. ggps. 2008. 06. 024.
- [23] 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. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-6819. 2014. 02. 015.
- [24] 郑和祥, 李和平, 曹雪松. 喷灌条件下不同茬次紫花苜蓿的耗水规律与灌溉制度[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(9): 785-789. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-8530. 18. 1095.
- [25] 李浩波, 高云英, 张景武, 等. 紫花苜蓿耗水规律及其用水效率研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 163-167.
- [26] 孟林, 毛培春, 张国芳. 京郊平原区苜蓿生产能力与耗水规律的研究[J]. 草业科学, 2007, 24(4): 36-40.
- [27] 仝炳伟, 张娜, 鲍子云. 地下滴灌条件下不同水肥处理对苜蓿生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(3): 35-40. DOI: 10. 13522/j. cnki. ggps. 2017. 0293.
- [28] 霍海丽, 王琦, 张恩和, 等. 灌溉和施磷对紫花苜蓿干草产量及营养成分的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 117-121, 126. DOI: 10. 13859/j. cnki. rswc. 2014. 01. 023.
- [29] 曹雪松, 李和平, 郑和祥, 等. 地理滴灌对紫花苜蓿耗水、产量及水分生产率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 256-262. DOI: 10. 7606/j. issn. 1000-7601. 2017. 05. 38.