

# 不同灌溉方式对苜蓿产量与品质的影响

马明杰<sup>1,3</sup>, 杨继革<sup>2</sup>, 李冬民<sup>2</sup>, 杨文新<sup>1</sup>, 杨胜春<sup>2</sup>,  
王克贤<sup>2</sup>, 赵经华<sup>1,3\*</sup>, 李池<sup>1,3</sup>, 袁如芯<sup>1,3</sup>

(1.新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2.克拉玛依绿城农业开发有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000; 3.新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**【目的】探明不同灌溉方式对苜蓿产量与品质的影响。【方法】于2021年4—9月在新疆克拉玛依大农业灌区开展苜蓿田间灌溉试验。试验设置3种灌溉方式,分别为浅埋滴灌(W1)、指针式喷灌(W2)、滚移式喷灌(W3),分析不同灌溉方式下的苜蓿生长特性、耗水规律、产量和品质,采用基于组合赋权的模糊综合评价法选取最优的苜蓿灌溉方式。【结果】随着刈割次数的增加,苜蓿株高、茎粗、产量呈降低趋势,苜蓿粗蛋白量呈增加趋势。第3、第4茬苜蓿全生育期耗水量呈倒“V”型变化规律。2茬苜蓿的全生育期耗水量均表现为W1处理<W2处理<W3处理,水分利用效率和灌溉水利用效率均表现为W1处理>W2处理>W3处理。浅埋滴灌和喷灌均能有效提高苜蓿品质。模糊综合评判结果表明,浅埋滴灌下的苜蓿生长指标、节水指标、产量和品质的综合评价结果最优。【结论】浅埋滴灌下的苜蓿节水增产效果显著,更适宜于西北干旱区的苜蓿种植。

**关键词:** 苜蓿; 灌溉方式; 模糊综合评判; 产量; 品质

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023194

OSID:



马明杰, 杨继革, 李冬民, 等. 不同灌溉方式对苜蓿产量与品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(11): 24-30.

MA Mingjie, YANG Jige, LI Dongmin, et al. The Effects of Irrigation Methods on Yield and Quality of Alfalfa[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(11): 24-30.

## 0 引言

【研究意义】苜蓿作为西北干旱地区的主要牧草之一,是一种优质、环境适应性强的饲料作物<sup>[1]</sup>。新疆地区水资源时空分布不均、水资源有效利用率低的现状限制了苜蓿产业的发展<sup>[2]</sup>。与传统的地面灌溉相比,地下滴灌与喷灌具有节水、增产、省工、水肥一体化程度高等优点<sup>[3-4]</sup>,对提高水资源利用效率、促进农牧业发展具有重要意义,在新疆地区苜蓿种植中得到了广泛应用。【研究进展】众多学者围绕苜蓿灌溉方式开展了大量研究,如不同灌溉方式下苜蓿生长、产量和水分利用效率的差异研究<sup>[5-6]</sup>、不同灌溉方式对苜蓿根区土壤水分的影响<sup>[7-8]</sup>。苜蓿灌溉方式评价是一个复杂的多因素决策过程,需要综合考虑苜蓿生长状况、产量、水分利用效率及品质等各项指标。模糊综合评判法在灌溉方式评价领域具有一定优势<sup>[9]</sup>。胡建强等<sup>[10]</sup>基于模糊综合评判法

优化了膜下滴灌玉米的灌溉制度。汪顺生等<sup>[11]</sup>采用专家预测赋权的模糊综合评判法研究了夏玉米不同生育阶段耗水量、产量对不同沟灌方式的响应。吴雪等<sup>[12]</sup>基于主客观赋权法建立了番茄品质指标的综合评价模型,评价结果更符合生产实情。【切入点】目前,采用主客观组合赋权的模糊综合评判法对干旱地区苜蓿常用灌溉方式的评价研究较少。【拟解决的关键问题】鉴于此,本研究基于田间试验,针对新疆地区苜蓿常用的3种灌溉方式,基于主客观组合赋权的模糊综合评判法探寻新疆地区苜蓿的科学灌溉方式,为西北干旱地区苜蓿节水灌溉提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2021年4—9月在新疆维吾尔自治区克拉玛依市的大农业灌区开展(45°21'—45°40'N, 84°49'—85°21'E)。试验区海拔高度为271 m,试验地土壤质地为壤土。试验区年平均降水量为109 mm,年平均蒸发量为2 692.1 mm,年平均气温为8.3℃,日照时间为2 711 h,年平均风速为3.4 m/s,年内最大风速为25.1 m/s,春季多风,夏季高温少雨,冬季干燥严寒,属于典型的温带大陆性干旱荒漠气候。

收稿日期: 2023-05-01 修回日期: 2023-07-03 网络出版日期: 2023-11-17

基金项目: 新疆维吾尔自治区“十四五”重大专项项目(2020A01003-4); 国家自然科学基金项目(52169013); 新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室(ZDSYS-YJS-2022-03)

作者简介: 马明杰(1996-),男,新疆呼图壁人。硕士研究生,研究方向为灌溉节水理论。E-mail: 1903098827@qq.com

通信作者: 赵经华(1979-),男,新疆奇台人。教授,博士生导师,主要从事节水灌溉技术研究。E-mail: 105512275@qq.com

©《灌溉排水学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND协议

该地区的苜蓿灌溉方式以浅埋式滴灌、喷灌为主。0~40 cm 土层的土壤平均体积质量为 1.33 g/cm<sup>3</sup>，最大田间体积持水率为 32.86%。

### 1.2 试验设计

供试苜蓿品种为“三得利”。设置 3 种灌溉方式，分别为浅埋滴灌 (W1)、指针式喷灌 (W2)、滚移式喷灌 (W3)，每个处理设置 3 个重复，共计 9 个小区，小区之间采用随机区组的布置方式，每个小区均安装 1 个土壤水分监测仪。W1 处理的小区规格为 6 m×2.4 m，W2 处理的小区规格为 2.7 m×2.7 m，W3 处理的小区规格为 5 m×5 m。W1 处理采用内镶贴片式滴灌带进行滴灌，滴灌带内径 16 mm，壁厚 0.4 mm，滴头流量 2.0 L/h，滴头间距 30 cm，滴灌带间距 60 cm，埋深 10 cm。W2 处理采用 ZIMMIATR 喷灌机 (美国林赛公司) 进行喷灌，实际入机流量 179 m<sup>3</sup>/h，喷头间距 2.7 m，每个喷头辐射面积 2.7 m<sup>2</sup>。W3 处理采用的喷头型号为 30IBH 型 (美国雨鸟公司)，入机压力 0.4 MPA，喷头间距 11.6 m，喷洒间距 18 m。试验期间各处理的田间管理措施 (施肥、除草、病虫害防治) 保持一致。试

验期间共进行了 4 茬苜蓿种植，由于第 1、第 2 茬苜蓿在不同处理间的差异均不显著，因此本研究主要围绕第 3、第 4 茬苜蓿种植数据进行分析。苜蓿灌溉制度与生育期详见表 1 和表 2。试验期间降水量和气温变化如图 1 所示。

表 1 苜蓿灌溉制度

Table 1 Alfalfa irrigation system

茬数	灌溉方式	灌水定额/ (m <sup>3</sup> hm <sup>-2</sup> )	灌水 周期/d	灌水 次数	灌水定额/ (m <sup>3</sup> hm <sup>-2</sup> )
第 3	W3	750	14~16	2	1 500
	W2	750	14~16	2	1 500
	W1	600	14~16	2	1 200
第 4	W3	700	14~16	2	1 400
	W2	700	14~16	2	1 400
	W1	600	14~16	2	1 200

表 2 苜蓿生育期

Table 2 Growth period of alfalfa

茬数	返青期	分枝期	孕蕾期	花期
第 3	0709—0714	0715—0721	0722—0802	0803—0809
第 4	0810—0819	0820—0905	0906—0915	0916—0930

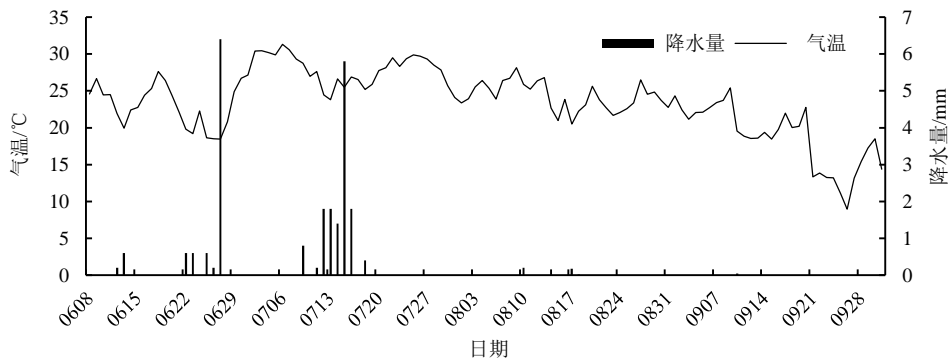


图 1 试验期间降水量和气温变化

Fig.1 Precipitation and temperature map of the experimental station during the test

### 1.3 指标测定方法

采用小型 HOBO 气象站采集试验期间的降水量、气温数据。

利用土壤水分监测仪 (东方智感 (浙江) 科技股份有限公司) 测定 0~100 cm 土层的土壤体积含水率。苜蓿耗水量按农田土壤水量平衡原理计算，如下：

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

式中：ET 为 t 时段内的作物耗水量 (mm)；W<sub>0</sub>、W<sub>t</sub> 为 t 时段初、末的土壤计划湿润层内的贮水量 (mm)；P<sub>0</sub> 为降水量 (mm)；W<sub>T</sub> 为土壤增加水量 (mm)，本试验不涉及计划湿润层的增加，故 W<sub>T</sub>=0；M 为 t 时段内的灌溉水量 (mm)；K 为浅埋水的向上补给量 (mm)，试验区浅埋水位在 4 m 左右，因此不考虑浅埋水补给。

在每个小区随机标记 8 株苜蓿，使用直尺每隔

10 d 测量 1 次苜蓿株高 (cm)，用游标卡尺在离地面 10 cm 处测量苜蓿茎粗 (mm)。

苜蓿花期刈割留茬高度为 5 cm，每个小区刈割 3 块 1 m<sup>2</sup> 的苜蓿，带回实验室后放入烘箱烘干至恒质量后称干质量；于每个灌溉小区随机选取 3 株长势均一的苜蓿烘干称质量，为单株质量。

苜蓿的水分利用效率 (WUE) (kg/(hm<sup>2</sup> mm)) 为苜蓿干草质量与耗水量的比值。灌溉水利用效率 (IWUE) (kg/(hm<sup>2</sup> mm)) 为苜蓿干草质量与灌水量的比值。

选取 1 kg 鲜草，将茎叶分离，放入 105 °C 烘箱内杀青 10 min 后于 75 °C 条件下烘干至恒质量，分别称取茎、叶质量，进而计算叶茎比。苜蓿粗蛋白量 (CP) 参照 GB/T6432—2018 方法进行测定。苜蓿中酸性洗涤纤维 (ADF) 和中性洗涤纤维 (NDF)

采用 A2000i 全自动纤维仪（美国 ANKOM 技术有限公司）测定，测定标准分别参照 NY/T 1459—2007《饲料中中性洗涤纤维（NDF）的测定》、GB/T 20806—2006《饲料中酸性洗涤纤维的测定》。相对饲喂价值（RFV）、饲草可消化干物质质量（DDM）和饲草干物质的随意采食量（DMI）计算式为：

$$RFV = \frac{DMI \times DDM}{1.29}, \quad (2)$$

$$DMI = \frac{120}{NDF}, \quad (3)$$

$$DDM = 88.9 - 0.799 \times ADF. \quad (4)$$

#### 1.4 基于组合赋权的模糊综合评判法

##### 1) 权重确定

AHP 赋权法的计算方法详见文献[13]。本研究得到的第 3、第 4 茬株高、叶茎比、单枝质量、产量、WUE、IWUE、粗蛋白量、相对饲用价值的主观权重向量为  $A_1 = (0.03, 0.11, 0.18, 0.22, 0.11, 0.08, 0.12, 0.15)$  和  $A_2 = (0.03, 0.16, 0.13, 0.16, 0.14, 0.15, 0.12, 0.10)$ 。

熵值赋权法的计算方法详见文献[14]。本研究得到的第 3、第 4 茬株高、叶茎比、单枝质量、产量、WUE、IWUE、粗蛋白量、相对饲用价值的权重计算结果为： $\omega_1 = (0.122, 0.100, 0.137, 0.247, 0.028, 0.001, 0.138, 0.227)$  和  $\omega_2 = (0.127, 0.134, 0.127, 0.134, 0.132, 0.132, 0.133, 0.081)$ 。

主观赋权法往往具有一定的随意性，而客观赋权法过于依赖数学理论推导，导致权重结果易脱离实际情况。因此，本研究引入博弈论组合赋权法，以充分结合二者优势，计算过程详见文献[12]。

##### 2) 综合评判

采用改进的模糊综合评判模型，即加权平均模型进行综合评判，方法详见文献[13]。

#### 1.5 数据处理

使用 SPSS 25.0 对数据进行单因素方差分析，采用 Excel 软件进行数据处理与绘图。

表 4 不同灌溉方式对苜蓿单枝质量、产量、WUE 和 IWUE 的影响

Table 4 Effects of different irrigation methods on single branch weight, yield, WUE and IWUE of alfalfa

茬数	灌溉方式	单枝质量/g	产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	WUE/(kg hm <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> )	IWUE/(kg hm <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> )
第 3	W1	2.64±0.03ab	2 674.75±59.45a	19.05±0.72a	23.11±0.51a
	W2	2.67±0.07a	2 640.19±97.69ab	16.14±0.27b	17.60±0.60b
	W3	2.55±0.04b	2 622.50±32.50b	15.53±0.38b	17.51±0.22b
第 4	W1	2.61±0.02a	2 642.80±65.80a	17.65±0.21a	22.11±0.52a
	W2	2.62±0.03a	2 384.97±83.82ab	16.66±0.13b	17.12±0.61b
	W3	2.55±0.03b	2 362.34±49.75b	16.14±0.28c	16.80±0.45b

#### 2.3 不同灌溉方式对苜蓿耗水规律的影响

由表 5 可知，第 3、第 4 茬苜蓿全生育期耗水量均呈倒“V”型变化规律，分别为孕蕾期>分枝期>花期>返青期、分枝期>孕蕾期>花期>返青期。第 3、

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉方式对苜蓿生长和生理指标的影响

由表 3 可知，随着刈割次数的增加，苜蓿株高和茎粗有所降低。第 3、第 4 茬的株高均表现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理。其中，W1 处理下的株高显著高于 W2、W3 处理。第 3 茬茎粗表现为 W2 处理>W1 处理>W3 处理，第 4 茬茎粗表现为 W2 处理>W3 处理>W1 处理。不同灌溉方式对苜蓿叶绿素量无显著影响。

表 3 浅埋滴灌与喷灌方式下苜蓿生长生理指标

Table 3 Physiological indexes of alfalfa growth under shallow burial drip irrigation and sprinkler irrigation

茬数	灌溉方式	株高/cm	茎粗/mm	叶绿素量/(mg g <sup>-1</sup> )
第 3	W1	98.00±6.56a	3.37±0.10ab	59.41±8.22a
	W2	83.96±5.51b	3.55±0.10a	53.77±12.41a
	W3	80.25±2.71b	3.16±0.25b	53.23±3.41a
第 4	W1	78.61±3.51a	3.11±0.10b	59.08±3.74a
	W2	69.17±3.01ab	3.54±0.22a	55.68±4.28a
	W3	62.63±7.03b	3.13±0.20b	56.25±4.75a

注 表中不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上存在显著差异，下同。

### 2.2 不同灌溉方式对苜蓿产量、单枝质量、WUE 和 IWUE 的影响

由表 4 可知，苜蓿产量随着刈割次数的增加而降低。第 3、第 4 茬的产量表现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理。灌溉方式对产量有显著影响 ( $P<0.05$ )，W1 处理的产量显著高于 W2、W3 处理。第 3、第 4 茬苜蓿在 W1、W2、W3 处理下的产量分别为 5 377.15、5 025.16、4 984.84 kg/hm<sup>2</sup>，W1 处理较 W2 处理的产量提高了 5.82%，较 W3 处理提高了 6.67%。第 3、第 4 茬单枝质量表现为 W2 处理>W1 处理>W3 处理。2 茬苜蓿在 W1 处理下的 WUE 和 IWUE 均显著高于 W2、W3 处理。

第 4 茬总耗水量均表现为 W1 处理<W2 处理<W3 处理，W1 处理下的返青期、分枝期、孕蕾期耗水量均显著低于其余 2 个处理 ( $P<0.05$ )。

表 5 不同灌溉方式对苜蓿各生育期耗水量的影响

Table 5 Effects of different irrigation methods on water consumption in alfalfa at different growth stages

茬数	灌溉方式	返青期/mm	分枝期/mm	孕蕾期/mm	花期/mm	全生育期/mm
第 3	W1	19.35±4.13b	45.80±1.41b	49.88±0.76b	25.49±0.22b	140.53±5.39b
	W2	27.55±1.73a	51.14±1.84a	64.33±1.18a	22.70±2.37b	165.73±2.69a
	W3	29.47±1.87a	48.91±3.06ab	63.30±1.06a	29.74±1.63a	172.32±4.26a
第 4	W1	19.16±1.04a	57.61±1.41b	47.54±0.48b	25.38±0.63a	149.71±1.78c
	W2	18.69±1.34a	60.81±1.24ab	58.51±0.64a	20.61±0.66b	158.63±3.08b
	W3	21.80±4.00a	63.05±2.57a	56.80±6.77a	22.13±1.09b	163.13±3.08a

2.4 不同灌溉方式对苜蓿品质的影响

由表 6 可知，第 3、第 4 茬苜蓿的平均粗蛋白量分别为 19.87%和 21.22%。随着刈割次数的增加，粗蛋白量呈增加趋势。灌溉方式对苜蓿粗蛋白量无显著影响 ( $P>0.05$ )。不同灌溉方式下的第 4 茬相对饲用价值无显著差异 ( $P>0.05$ )，第 3 茬 W1、W2

处理显著高于 W3 处理 ( $P<0.05$ )。W3 处理下的第 3 茬中性洗涤纤维量 (NDF) 与酸性洗涤纤维量 (ADF) 显著高于 W1、W2 处理，而在第 4 茬不同灌溉方式间无显著差异。第 3、第 4 茬叶茎比均表现为 W1 处理>W3 处理>W2 处理。

表 6 不同灌溉方式对苜蓿营养品质的影响

Table 6 Effects of different irrigation methods on nutritional quality of alfalfa

茬数	灌溉方式	粗蛋白量 (CP) /%	相对饲用价值 (RFV)	中性洗涤纤维量 (NDF) /%	酸性洗涤纤维量 (ADF) /%	叶茎比
第 3	W1	20.99±1.01a	175.33±12.51a	31.88±1.72b	25.49±1.57b	0.77±0.03a
	W2	20.95±2.27a	172.67±12.01a	32.51±1.75b	25.02±1.75b	0.62±0.03c
	W3	17.68±2.01a	132.67±20.23b	39.84±3.91a	31.29±4.01a	0.66±0.05b
第 4	W1	21.51±0.66a	189.33±11.84a	29.95±1.32a	24.06±1.36a	0.67±0.03a
	W2	21.28±0.58a	185.00±7.00a	30.57±0.86a	24.25±0.75a	0.54±0.04b
	W3	20.88±0.14a	180.67±13.65a	31.17±1.83a	24.98±1.73a	0.58±0.06b

2.5 苜蓿产量、生长与品质指标、WUE 和 IWUE 的模糊评判

不同灌溉方式下苜蓿生长指标、产量指标和节水指标的因素论域如表 7 所示，归一化处理如表 8 所示，模糊矩阵 (R) 如表 9 所示。第 3、第 4 茬的最优权重向量为  $\mu_1 = (0.083\ 0, 0.109\ 8, 0.123\ 9, 0.205\ 0, 0.092\ 0, 0.095\ 5, 0.124\ 0, 0.166\ 8)$ 、 $\mu_2 = (0.038\ 1, 0.158\ 5, 0.133\ 4, 0.161\ 5, 0.138\ 8,$

$0.146\ 7, 0.124\ 8, 0.098\ 1)$ ，模糊综合评判法得到的第 3 茬模糊综合评判指数为  $B_1 = (0.367\ 082, 0.331\ 83, 0.301\ 09)$ ，第 4 茬模糊综合评判指数为  $B_2 = (0.362\ 0, 0.324\ 51, 0.313\ 49)$ ，表现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理。由  $B_1$ 、 $B_2$  可知，浅埋滴灌处理下的苜蓿产量、生长指标、品质指标、水分利用效率和灌溉水利用效率的综合评价最优。

表 7 浅埋滴灌与喷灌方式下苜蓿生长指标、产量指标和节水指标的因素论域

Table 7 Factors of alfalfa growth index, yield index and water saving index under shallow buried drip irrigation and sprinkler irrigation

茬数	灌溉方式	株高/cm	叶茎比	单枝质量/g	产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	WUE/(kg hm <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> )	IWUE/(kg hm <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> )	CP	RFV
第 3	W1	98.00	0.77	2.64	2 674.75	19.05	23.11	20.99	175.33
	W2	83.96	0.66	2.67	2 640.19	16.14	17.60	20.95	172.67
	W3	80.25	0.62	2.55	2 622.51	15.53	17.51	17.68	132.67
第 4	W1	78.61	0.67	2.61	2 642.81	17.65	22.11	21.51	189.33
	W2	69.17	0.58	2.62	2 384.97	16.66	17.12	21.28	185.00
	W3	62.63	0.54	2.55	2 362.51	16.14	16.80	20.88	180.67

表 8 归一化处理结果

Table 8 Results of normalization treatment

茬数	灌溉方式	株高	叶茎比	单枝质量	产量	WUE	IWUE	CP	RFV
第 3	W1	1	1	1	1	1	1	1	1
	W2	0.86	0.86	1	0.99	0.84	0.79	0.99	0.98
	W3	0.82	0.81	0.97	0.98	0.81	0.78	0.84	0.75
第 4	W1	1	1	1	1	1	1	1	1
	W2	0.88	0.87	1	0.9	0.94	0.62	0.98	0.97
	W3	0.80	0.81	0.98	0.89	0.91	0.62	0.97	0.95

表 9 模糊矩阵 ( $R$ )Table 9 Fuzzy matrix ( $R$ )

茬数	灌溉方式	株高	叶茎比	单枝质量	产量	$WUE$	$IWUE$	$CP$	$RFV$
第 3	W1	0.37	0.38	0.34	0.34	0.38	0.39	0.35	0.36
	W2	0.32	0.32	0.34	0.33	0.32	0.31	0.35	0.36
	W3	0.31	0.30	0.32	0.33	0.31	0.30	0.30	0.28
第 4	W1	0.37	0.37	0.34	0.36	0.35	0.45	0.34	0.34
	W2	0.33	0.32	0.34	0.32	0.33	0.28	0.33	0.33
	W3	0.30	0.30	0.33	0.32	0.32	0.28	0.33	0.33

### 3 讨论

本研究发现,随着刈割次数的增加,苜蓿株高、茎粗、产量呈降低趋势,这与孟洋洋等<sup>[15]</sup>、陶雪等<sup>[7]</sup>研究结果一致。主要是因为第 3 茬苜蓿种植期间的平均气温为 27 °C,显著高于第 4 茬平均气温(23 °C),温度、光照强度等因素会显著影响苜蓿的生长状况。第 3、第 4 茬的株高、产量均表现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理,与陶雪等<sup>[5]</sup>研究结果一致。这是由于浅埋滴灌相比喷灌的供水强度低,可减少土壤结构破坏,作物根区土壤不易板结,更有利于苜蓿生长和根系水分吸收<sup>[16]</sup>。

第 3、第 4 茬苜蓿全生育期耗水量均呈倒“V”型变化规律,这与赵经华等<sup>[17]</sup>和杨磊等<sup>[18]</sup>研究结果一致。苜蓿生育期总耗水量均表现为 W1 处理<W2 处理<W3 处理,水分利用效率表现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理,灌溉水利用效率表现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理,这与陶雪等<sup>[19]</sup>在石羊河流域的研究结果一致。浅埋滴灌将水分直接滴入苜蓿根系区域,减少水分的无效损失,保证根系对水分的充分吸收,降低了苜蓿的耗水量,提高了苜蓿水分利用效率和灌溉水利用效率。粗蛋白量随着刈割次数的增加而增加,这与孟洋洋等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。W3 处理下的粗蛋白量、相对饲用价值最低,原因是该处理在试验期间出现了病虫害,引起了苜蓿的叶片脱水,导致品质指标降低。总体而言,浅埋滴灌能有效提高苜蓿品质,这与陶雪等<sup>[19]</sup>、Halim 等<sup>[20]</sup>研究结果相似。

模糊综合评判指标的丰欠程度是科学评价的关键<sup>[21]</sup>。株高、单枝质量和产量反映了作物光合作用的强弱、抗病性的优劣,是苜蓿增产提质的基础和直接体现,苜蓿叶茎比、粗蛋白量和相对饲用价值是苜蓿品质的重要体现<sup>[22]</sup>。 $WUE$ 与 $IWUE$ 是评价苜蓿节水效率的重要指标<sup>[23]</sup>。本研究采用基于组合赋权的模糊综合评判法,综合考虑了苜蓿的生长指标、单枝质量、产量、节水指标和品质指标在不同灌溉方式下的表现,得出浅埋滴灌更适宜于西北干旱区的苜蓿种植。

### 4 结论

1) 随着刈割次数的增加,苜蓿生长指标、产量呈降低趋势,粗蛋白量呈增加趋势。

2) 浅埋滴灌条件下的苜蓿节水、增产、提质效果显著。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

#### 参考文献:

- [1] 陶雪,苏德荣,寇丹.石羊河流域喷灌不同灌水量对苜蓿生长、产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(10):77-80.  
TAO Xue, SU Derong, KOU Dan. Effects of different irrigation water amounts under sprinkler irrigation on growth, yield and water use efficiency of alfalfa in Shiyang River Basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(10): 77-80.
- [2] 康绍忠,霍再林,李万红.旱区农业高效用水及生态环境效应研究现状与展望[J].中国科学基金,2016,30(3):208-212.  
KANG Shaozhong, HUO Zailin, LI Wanhong. High-efficient water use and eco-environmental impacts in agriculture in arid regions: Advance and future strategies[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2016, 30(3): 208-212.
- [3] 胡伟,张亚红,李鹏,等.水氮供应对地下滴灌紫花苜蓿生长特征及草地小气候的影响[J].草业学报,2018,27(12):122-132.  
HU Wei, ZHANG Yahong, LI Peng, et al. Effects of water and nitrogen supply on growth and microclimate characteristics of alfalfa under drip irrigation[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(12): 122-132.
- [4] 汤玲迪,袁寿其,刘俊萍,等.中国喷灌机现状与发展思考[J].排灌机械工程学报,2022,40(10):1 072-1 080.  
TANG Lingdi, YUAN Shouqi, LIU Junping, et al. Challenges and opportunities for development of sprinkler irrigation machine in China[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2022, 40(10): 1 072-1 080.
- [5] 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.  
TAO Xue, SU Derong, KOU Dan, et al. Effects of irrigation methods on growth and water use efficiency of alfalfa in arid Northwest China[J]. Acta Agrestia Sinica, 2016, 24(1): 114-120.
- [6] ALMARSHADI M H, ISMAIL S M. Effects of precision irrigation on productivity and water use efficiency of alfalfa under different irrigation methods in arid climates[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2011, 7(3): 299-308.
- [7] 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):1 641-1 647.  
TAO Xue, SU Derong, QIAO Yang, et al. Effects of irrigation methods on yield and quality of alfalfa in arid Northwest China[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(10): 1 641-1 647.
- [8] DENG Q Z, WU Y, ZHAO X, et al. Influence of different irrigation methods on the alfalfa rhizosphere soil fungal communities in an arid

- region[J]. PLoS One, 2022, 17(6): 268 175.
- [9] 汪顺生, 刘东鑫, 孟鹏涛, 等. 不同种植模式冬小麦产量与耗水量的模糊综合评判[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 161-166.  
WANG Shunsheng, LIU Dongxin, MENG Pengtao, et al. Fuzzy comprehensive evaluation on yield and water consumption of winter wheat with different cropping patterns[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(1): 161-166.
- [10] 胡建强, 赵经华, 杨磊, 等. 基于模糊综合评判对多砾石砂土膜下滴灌玉米灌溉制度的定量分析[J]. 西北农业学报, 2020, 29(8): 1 167-1 176.  
HU Jianqiang, ZHAO Jinghua, YANG Lei, et al. Quantitative analysis of irrigation system for maize drip irrigation under mulch in pebbly sandy soil based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2020, 29(8): 1 167-1 176.
- [11] 汪顺生, 刘东鑫, 王康三, 等. 不同沟灌方式对夏玉米耗水特性及产量影响的模糊综合评判[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 89-94.  
WANG Shunsheng, LIU Dongxin, WANG Kangsan, et al. Fuzzy comprehensive evaluation on water consumption characteristics and yield of summer corn under different furrow irrigation patterns[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(24): 89-94.
- [12] 吴雪, 陈思, 周振江, 等. 番茄综合营养品质对各阶段土壤含水率的响应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(3): 52-62.  
WU Xue, CHEN Si, ZHOU Zhenjiang, et al. Response of comprehensive nutritional quality of tomato to soil moisture at different stages[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(3): 52-62.
- [13] 梁保松, 曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [14] 宋秀丽, 吴玥, 杨锡朗, 等. 基于熵值赋权的 DTOPSIS 法与灰色关联度分析在玉米品种综合评价中的比较[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 41-46.  
SONG Xiuli, WU Yue, YANG Xilang, et al. Comparison of entropy weighted DTOPSIS method and grey relational degree analysis in comprehensive evaluation of maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 41-46.
- [15] 孟洋洋, 李茂娜, 王云玲, 等. 灌水下限对紫花苜蓿产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2): 1-9.  
MENG Yangyang, LI Maona, WANG Yunling, et al. Effects of the irrigation low limits on alfalfa yield, quality and water use efficiency[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 1-9.
- [16] 张前兵, 于磊, 鲁为华, 等. 优化灌溉制度提高苜蓿种植当年产量及品质[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 116-122.  
ZHANG Qianbing, YU Lei, LU Weihua, et al. Optimal irrigation regime improving yield and quality of alfalfa in year of sowing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(23): 116-122.
- [17] 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 Jinghua, HU Jianqiang, YANG Lei, 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.
- [18] 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.  
YANG Lei, DU Taisheng, LI Zhijun, et al. Growth, crop coefficient and water use efficiency on field-grown alfalfa under condition of regulated deficit irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(6): 102-105.
- [19] 陶雪, 苏德荣, 寇丹. 石羊河流域苜蓿生长适宜灌溉方式试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(S2): 52-54.  
TAO Xue, SU Derong, KOU Dan. Rational irrigation methods of alfalfa growth in Shiyang river basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(S2): 52-54.
- [20] HALIM R A, BUXTON D R, HATTENDORF M J, et al. Water-stress effects on alfalfa forage quality after adjustment for maturity differences[J]. Agronomy Journal, 1989, 81(2): 189-194.
- [21] 李浩鑫, 邵东国, 尹希, 等. 基于主成分分析和 Copula 函数的灌溉用水效率评价方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 96-102.  
LI Haoxin, SHAO Dongguo, YIN Xi, et al. Evaluation method for irrigation-water use efficiency based on principle component analysis and Copula function[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(11): 96-102.
- [22] 王瑜, 代先林, 马晓颖, 等. 划区轮牧对放牧型紫花苜蓿人工草地产量与品质的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(9): 2 477-2 482.  
WANG Yu, DAI Xianlin, MA Xiaoying, et al. Yield and quality changes of alfalfa in response to rotationally grazing[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(9): 2 477-2 482.
- [23] 戎亚思, 李国强, 张杰, 等. 基于 AquaCrop 模型的河南省冬小麦灌溉制度优化研究[J]. 河南农业科学, 2023, 52(2): 151-161.  
RONG Yasi, LI Guoqiang, ZHANG Jie, et al. Irrigation strategies optimization for winter wheat in Henan Province based on AquaCrop model[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(2): 151-161.

## The Effects of Irrigation Methods on Yield and Quality of Alfalfa

MA Mingjie<sup>1,3</sup>, YANG Jige<sup>2</sup>, LI Dongmin<sup>2</sup>, YANG Wenxin<sup>1</sup>, YANG Shengchun<sup>2</sup>,  
WANG Kexian<sup>2</sup>, ZHAO Jinghua<sup>1,3\*</sup>, LI Chi<sup>1,3</sup>, YUAN Ruxin<sup>1,3</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Karamay Greentown Agricultural Development Co., Ltd. Karamay 834000, China; 3. Xinjiang Key Laboratory of Water

Conservancy Engineering Safety and Water Disaster Prevention, Urumqi 830052, China)

**Abstract: 【Objective】** Alfalfa is a prevalent crop in northwestern China and its cultivation heavily depends on irrigation. This paper is to delve into the influence of irrigation methods on yield and quality of alfalfa, with the ultimate goal to improve its water use efficiency. **【Method】** The experiment was conducted from April to September in 2021 in an irrigated alfalfa field in Karamay, Xinjiang. It compared three irrigation methods: shallow drip irrigation (W1), point sprinkler irrigation (W2), and rolling sprinkler irrigation (W3). In each treatment, we measured the growth traits, water consumption, water-saving index, and yield and quality of the alfalfa. The optimal irrigation method was determined using the fuzzy comprehensive evaluation method based on combination

weighting. **【Result】** As the times of cutting increased, the height, stem diameter and yield of the alfalfa decreased, while its crude protein content increased. As time elapsed following the third and fourth cutting, the water consumption decreased first followed by an increase. The total water consumption during the two stages varied with irrigation method, and their significance was ranked in the order of  $W1 < W2 < W3$ ; their associated water and irrigation water use efficiency was ranked in the order of  $W1 > W2 > W3$ . Both shallow drip irrigation and sprinkler irrigation effectively improved plant quality. Fuzzy comprehensive evaluation indicated that, overall, the shallow drip irrigation was optimal for growth, water consumption, yield and quality of the crop. **【Conclusion】** The shallow buried drip irrigation not only saved water but also improved yield and quality of the alfalfa. It is hence most suitable for alfalfa cultivation in the arid and water-scarce regions in the northwest of China.

**Key words:** alfalfa; irrigation method; fuzzy comprehensive evaluation; yields; quality

责任编辑: 韩洋

(上接第 23 页)

## Study of Factors Affecting Wheat Growth-stage Evapotranspiration under Various Edaphic Conditions

XU Rongyan<sup>1</sup>, DAI Lina<sup>2</sup>, FU Guosheng<sup>3</sup>, JIANG Peng<sup>1</sup>, DING Yutong<sup>1</sup>,  
ZHANG Meina<sup>1</sup>, WANG Wanwan<sup>4</sup>, WANG Zhenlong<sup>5\*</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Bureau of Hydrology, Huaihui Commission (Information Center), Bengbu 233022, China; 3. Taizhou Branch, Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Taizhou 225317, China; 4. Hebei Engineering University, Handan 056021, China; 5. Wudaogou Hydrology Experimental Station, Institute of Water Resources Science, Anhui Province (Huaihui Commission, Ministry of Water Resources), Bengbu 233000, China)

**Abstract:** **【Objective】** The ascent of groundwater into the vadose zone and its ultimate evaporation into atmosphere is an important hydrological process. This paper investigates the impact of meteorological factors and soil texture on evaporation of shallow groundwater under different depths from winter wheat in a sandy ginger black soil and a yellow tide soil. **【Method】** The study was based on data measured from 2010 to 2022 from the Wudaogou experimental station. The relationship between groundwater evaporation and seven meteorological factors was analyzed using correlation analysis and function fitting technique. A multiple regression model, along with a nonlinear fitting function, was developed to calculate the change in evaporation of shallow groundwater with its depth ranging from 0.2 to 5.0 m. **【Result】** ① In the sandy ginger black soil, the significance of the impact of meteorological factors on groundwater evaporation was ranked in the order of surface temperature > average air temperature > surface evaporation > duration of sunshine > precipitation > wind speed; in the yellow tide soil, the ranking order was surface temperature > duration of sunshine > average air temperature > surface water evaporation > precipitation > wind speed. ② The multiple regression model is accurate for estimating evaporation of shallow groundwater at different depths, with  $R^2 > 0.75$  for the sandy ginger black soil and  $R^2 > 0.70$  for the yellow tide soil. ③ The relationship between groundwater evaporation and groundwater depth for the sandy ginger black soil followed an inverse function with  $R^2 > 0.95$  before the greening stage and a logarithmic function after the greening stage with  $R^2 > 0.85$ . In contrast, in the yellow tide soil, it followed a logarithmic function with  $R^2 > 0.75$ . ④ Depending on the growing season, the critical groundwater depth for evaporation ranged from 2.0 to 3.5 m for the sandy ginger black soil, and from 4.0 to 5.1 m for the yellow tide soil. **【Conclusion】** Groundwater evaporation depends not only on meteorological factors but also on soil texture and growing season of the winter wheat. The proposed models are accurate for estimating their relationships.

**Key words:** phreatic evaporation; meteorological factors; burial depth; wheat; Huaibei Plain

责任编辑: 韩洋