

# 浅埋地下滴灌不同土壤基质势调控对 苜蓿生长和产量的影响

李荣承<sup>1,2</sup>, 万书勤<sup>1\*</sup>, 李晓彬<sup>1</sup>, 康跃虎<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2.中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

**摘要:**【目的】探明浅埋地下滴灌不同土壤基质势对苜蓿生长和产量的影响, 制定呼伦贝尔地区苜蓿浅埋地下滴灌的灌溉制度。【方法】以紫花苜蓿为研究对象, 设置5个不同的土壤基质势下限处理, 将滴头正下方10 cm深度处的土壤基质势分别控制在-10、-20、-30、-40 kPa和-50 kPa, 研究不同土壤基质势对土壤水分分布、苜蓿生长、产量和灌溉水利用效率的影响。【结果】浅埋地下滴灌条件下, 控制滴头正下方10 cm深度处的土壤基质势下限可以显著改变土壤含水率的空间分布, 该点土壤基质势阈值越高, 0~30 cm土层的土壤含水率则越高。苜蓿的株高和产量随着土壤基质势的降低呈先增加后降低的变化趋势, 土壤基质势下限控制在-20 kPa时的苜蓿株高和产量最高。苜蓿的平均灌溉水利用效率随着土壤基质势的降低而升高, 当土壤基质势下限在-50~-40 kPa范围内时最高。【结论】为了保证苜蓿高产, 当耕层土壤保水性能较差且土层浅薄时, 浅埋地下滴灌条件下滴头正下方10 cm深度处的土壤基质势下限建议控制在-20 kPa。

**关键词:**人工草地; 浅埋地下滴灌; 灌溉制度; 土壤基质势; 灌溉水利用效率

中图分类号: S275.6; S541

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023084

OSID:



李荣承, 万书勤, 李晓彬, 等. 浅埋地下滴灌不同土壤基质势调控对苜蓿生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(9): 25-31.

LI Rongcheng, WAN Shuqin, LI Xiaobin, et al. Effects of Matric Potential Threshold Used for Control of Shallow Drip Irrigation on Growth and Yield of Alfalfa[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(9): 25-31.

## 0 引言

【研究意义】呼伦贝尔草原由于受到过度放牧、管理粗放及干旱等因素的影响, 草场以每年2%的速度退化<sup>[1]</sup>。因此, 建立高产、高效的人工草地, 解决草畜矛盾, 对天然草地的保护和恢复至关重要。呼伦贝尔地区属于温带半干旱大陆性草原气候, 降水不足且时空分布不均, 无法满足人工牧草的高产需求。灌溉是保证该地区人工牧草高产、稳产, 提高饲草品质的重要因素<sup>[2]</sup>。然而, 当地人工牧草的种植业起步较晚, 灌溉技术落后, 仍缺乏适宜的灌溉制度。

滴灌是人工草地最有发展前景的高效灌溉技术之一<sup>[3]</sup>。浅埋地下滴灌是滴灌技术的主要应用形式之一, 将滴灌带(管)埋设在地表以下5~10 cm深

度处的土壤中, 具有减少地面蒸发、避免滴灌带受强风影响等优势。此外, 浅埋地下滴灌还具有不影响牧草刈割的优势。【研究进展】当前, 牧草滴灌的灌溉制度的制定标准主要是基于灌溉定额和控制计划湿润层的土壤水分状况<sup>[4-6]</sup>。灌溉定额受苜蓿品种、土壤类型、降水条件等因素影响, 同一地区或类似地区推荐的灌溉定额差异较大, 普适性较差。仝炳伟等<sup>[5]</sup>、蔡伟<sup>[6]</sup>针对宁夏地区苜蓿地下滴灌的推荐灌溉水量相差3 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。控制计划湿润层土壤水分状况需要根据牧草生长发育确定适宜的湿润层深度和土壤水分指标, 常用的土壤水分指标为田间持水率, 但其田间测定工作量大, 测定时间较长。植物根系吸水速率主要取决于土壤水势与植物根系水势之差。非盐碱土和淡水灌溉条件下, 可以根据植物根区土壤基质势来制定灌溉制度。郭少磊等<sup>[7]</sup>研究表明, 地下滴灌条件下, 距离滴头横向距离0 cm、地表20 cm深度处的土壤基质势能够反映作物根系周围的土壤水分状况, 通过监控该点的土壤基质势可以有效制定地下滴灌的灌溉制度。这种方法在不同质地结构的土壤中具有通用性, 不但可以反映根系吸收土壤水分的难易程度, 而且不需要考虑蒸腾

收稿日期: 2023-03-09 修回日期: 2023-05-12 网络出版日期: 2023-09-15

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项课题(XDA26050104); 中国科学院前沿研究项目(QYZDJ-SSW-DQC028)

作者简介: 李荣承(1997-), 男, 硕士研究生, 主要从事农田水循环与节水灌溉研究。E-mail: lirongcheng@igsnrr.ac.cn

通信作者: 万书勤(1978-), 女, 副研究员, 主要从事农田水循环与节水灌溉研究。E-mail: wanshuqin@igsnrr.ac.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取CC BY-NC-ND协议

量、降水量及作物遗传因素<sup>[8-9]</sup>。【切入点】紫花苜蓿素有“牧草之王”的美称，其环境适应性强、产草量高、饲用价值高。目前，浅埋地下滴灌不同土壤基质势调控对苜蓿生长和产量的影响尚不明确，在人工牧草方面基于土壤基质势的浅埋地下滴灌灌溉制度的研究较少。

【拟解决的关键问题】鉴于此，本研究以苜蓿为研究对象，通过控制滴头正下方 10 cm 深度处的土壤基质势下限，研究浅埋地下滴灌不同土壤基质势条件下的土壤水分分布、苜蓿产量、灌溉水利用效率，确定苜蓿适宜的土壤基质势下限，为苜蓿浅埋地下滴灌灌溉制度制定提供理论依据。

表 1 土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil

土层深度/cm	土壤体积质量/(g·cm <sup>-3</sup> )	饱和含水率/(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> )	pH 值	硝态氮量/(mg·L <sup>-1</sup> )	铵态氮量/(mg·L <sup>-1</sup> )	速效磷量/(mg·L <sup>-1</sup> )
0~10	1.64	0.35	7.30	9.92	0.89	0.13
10~20	1.47	0.40	7.32	19.14	0.87	0.14
20~30	1.58	0.41	7.22	18.79	0.89	0.12
30~40	1.53	0.40	7.17	17.48	0.90	0.20
40~50	1.57	0.42	7.30	14.93	0.88	0.13
50~60	1.51	0.41	7.36	11.26	0.84	0.10
60~70	1.68	0.32	7.34	7.04	0.84	0.13
70~80	1.68	0.34	7.45	6.56	0.82	0.10
80~90	1.70	0.32	7.47	4.90	0.85	0.11
90~100	1.69	0.33	7.48	4.22	0.99	0.12

## 1.2 试验材料与农艺措施

供试苜蓿品种为龙牧 806。苜蓿于 2020 年 6 月 5 日播种，8 月 19 日测产。2021 年仅进行第二茬试验，7 月 28 日灌溉返青水，9 月 28 日测产。2022 年 5 月 25 日进行第一茬返青水灌溉，7 月 3 日测产；8 月 12 日进行第二茬返青水灌溉，9 月 27 日测产。试验小区规格为 5.0 m×5.4 m。采用人工行播，行距为 30 cm，每个小区的播种量为 41.2 g，滴灌带铺设间距为 60 cm，埋设于距地表以下 10 cm 深度处的土壤中。

## 1.3 试验设计

试验设置 5 个不同土壤基质势处理，分别为控制滴头正下方 10 cm 深度处的土壤基质势下限为-10、-20、-30、-40、-50 kPa。每个处理设置 3 个重复。

播种后对每个处理立即进行 32 mm 的灌溉，苗期依据幼苗根系分布范围内的土壤墒情进行灌溉，每次灌水量为 3~4 mm。苗期后，按照设定的土壤基质势下限进行施肥和灌溉，每次灌水量为 8 mm，在刈割前 7 d 停止灌溉。为确保苜蓿顺利越冬和返青，设置冬灌和返青水灌溉的灌水量为 32 mm。依据当地苜蓿高产施肥方案的 90%（2020 年 70%）进行施肥。肥料选择水溶性较高的磷酸二氢钾和尿素，2020 年（仅收获一茬）施用磷酸二氢钾 149.10

## 1 试验与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2020—2022 年在中国科学院呼伦贝尔市草业工程实验室（东经 119°74′，北纬 49°07′）开展。试验区属于温带半干旱大陆性草原气候，年平均气温为-1.1℃，年平均降水量为 349.20 mm，降水量时空分布不均。试验区土壤类型为砂壤土，0~40 cm 土层的平均土壤体积质量和饱和含水率为 1.56 g/cm<sup>3</sup> 和 0.39 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>。0~40 cm 土层的土壤饱和泥浆提取液的平均 pH 值为 7.25，硝态氮、铵态氮和速效磷的平均质量浓度分别为 16.33、0.89 mg/L 和 0.15 mg/L。不同土层的土壤理化性质见表 1。

kg/hm<sup>2</sup>，尿素 66.15 kg/hm<sup>2</sup>；2021 年和 2022 年每茬施用磷酸二氢钾 191.70 kg/hm<sup>2</sup>，尿素 85.05 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.4 测定项目及方法

在苜蓿长势均匀的位置安装直径为 20 cm 的蒸发皿和雨量筒，每日记录水面蒸发量和降水量。在每个处理的田间首部安装水表，于每次灌水后计量灌水量。每个处理选取试验小区内苜蓿长势均匀的位置，在距离地表 20 cm（距离滴头正下方 10 cm）深度处设负压计，于每日 08:00 和 14:00 读数以指示灌溉。在苜蓿的分枝期采集土样，取样点位置为距离滴头水平 0、7.5、15、22.5、30 cm 处，取样深度为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60 cm 和 60~80 cm。采用铝盒烘干法测定土壤质量含水率。初花期在每个试验小区随机选取 13 株长势均匀的苜蓿，测量每株苜蓿的株高、茎粗（距地表以下 5 cm 处）和分枝数，并对叶（小叶、小叶柄、托叶、花序）和茎进行分离，称取鲜质量后放入信封中，烘干至恒质量后再次测定叶和茎的干质量。初花期在每个小区选取苜蓿长势均匀的 2 块地（规格为 1.0 m×1.2 m）进行测产，留茬高度为 5 cm，称量鲜草产量。

灌溉水利用效率（IWUE）的计算式为：

$$IWUE = \frac{Y}{I}, \quad (1)$$

式中： $Y$  为每一茬苜蓿的鲜草产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )； $I$  为每一茬生育期的总灌水量 ( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )。

### 1.5 数据处理

数据采用 Excel 2016 进行数据分析，采用 Surfer 20、Excel 2016 进行绘图，采用 IBM SPSS 26 进行显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验期间降水量、蒸发量和不同处理的灌水量

2020 年试验周期内的累积降水量为 205.90 mm，累积蒸发量为 314.10 mm。2021 年第二茬试验周期内累积降水量为 143.70 mm，累积蒸发量为 219.70 mm。2022 年第一茬试验周期内累积降水量为 78.10 mm，累积蒸发量为 258.90 mm。2022 年第二茬试验周期内累积降水量为 34.40 mm，累积蒸发量为 256.40 mm。按照干旱系数法的划分标准<sup>[10]</sup>，试验区 2020 年和 2021 年为丰水年，2022 年为干旱年。

不同处理的灌溉情况如表 2—表 5 所示。在 2020 年和 2021 年，除 2021 年的-50 kPa 处理外，苜蓿的灌水量总体上随土壤基质势的降低而减少，-10 kPa 处理的灌水量最多，不同处理间灌水量差异较小。2020 年是试验开始的第一年，为了保证出苗和幼苗生长，在播种后和苗期进行适度灌溉，灌溉周期相对较长，各处理的灌水量较高。在 2022 年（干旱年），随着土壤基质势的降低，2 茬苜蓿的灌水量呈先增加后减少的趋势，土壤基质势为-20 kPa 时灌水量最多，不同处理之间灌水量差异较大。

表 2 2020 年不同土壤基质势处理下的灌溉情况

Table 2 Irrigation situation of different soil matrix potential treatments in 2020

土壤基质势/kPa	灌水量/mm			累积灌水量/mm
	6月	7月	8月	
-10	48.00	98.54	9.83	156.37
-20	48.00	80.25	11.23	139.48
-30	48.00	74.54	10.86	133.41
-40	48.00	72.74	9.14	129.88
-50	48.00	68.54	10.12	126.67

表 3 2021 年不同土壤基质势处理下的灌溉情况

Table 3 Irrigation situation of different soil matrix potential treatments in 2021

土壤基质势/kPa	灌水量/mm			累积灌水量/mm
	7月	8月	9月	
-10	32.43	64.90	11.67	109.00
-20	28.84	59.57	13.20	101.60
-30	29.41	38.99	13.51	81.90
-40	26.86	39.20	13.93	79.99
-50	28.69	60.26	13.74	102.69

表 4 2022 年第一茬不同土壤基质势处理下的灌溉情况

Table 4 Irrigation situation of different soil matrix potential treatments in the first crop in 2022

土壤基质势/kPa	灌水量/mm			累积灌水量/mm
	5月	6月	7月	
-10	47.10	103.33	-	150.44
-20	39.92	132.24	-	172.17
-30	35.39	105.26	-	140.65
-40	32.15	102.25	-	134.40
-50	8.14	75.92	-	84.06

表 5 2022 年第二茬不同土壤基质势处理下的灌溉情况

Table 5 Irrigation situation of different soil matrix potential treatments in the second crop in 2022

土壤基质势/kPa	灌水量/mm			累积灌水量/mm
	7月	8月	9月	
-10	-	55.46	73.29	128.75
-20	-	63.10	94.27	157.37
-30	-	43.46	70.63	114.09
-40	-	36.90	53.94	90.84
-50	-	35.29	43.89	79.18

### 2.2 苜蓿生长期 20 cm 深度处土壤基质势的变化规律

不同降水年型苜蓿生长阶段土壤基质势的变化存在显著差异（图 1）。2020 年降水充足且分布均匀，不同处理土壤基质势的波动幅度较小，且不同处理间土壤基质势差异不显著，-10、-20、-30、-40、-50 kPa 处理的土壤平均基质势分别为-7.57、-6.79、-8.80、-13.16、-7.79 kPa，其中-30 kPa 和-50 kPa 处理的土壤基质势未降低到设定的灌溉阈值。2021 年不同处理土壤基质势的波动幅度较大，但均低于设定阈值，-10、-20、-30、-40、-50 kPa 处理的土壤平均基质势分别为-6.62、-10.04、-13.08、-13.94、-22.28 kPa。2022 年不同处理间土壤基质势差异较大且波动剧烈。6 月 30 日和 9 月 25 日后，不同处理的土壤基质势显著低于设定阈值。-10、-20、-30、-40、-50 kPa 处理的第一茬土壤平均基质势分别为-8.85、-15.50、-18.80、-26.43、-31.18 kPa，第二茬分别为-9.15、-18.88、-21.44、-23.14、-36.03 kPa。

### 2.3 苜蓿分枝期土壤含水率空间变化规律

苜蓿分枝期生长迅速，耗水强度大，这一时期的土壤水分状况对苜蓿产量具有显著影响<sup>[11]</sup>。由于个别试验小区在 40~60 cm 深度及以下区域为砂石层，因此部分处理未能获得 0~80 cm 全部土层的土壤含水率空间分布。

无论是在 2021 年（丰水年）还是 2022 年（干旱年），浅埋地下滴灌灌溉条件下，随着土层深度的增加，土壤含水率均显著降低。土壤基质势阈值显著影响土壤含水率的空间分布，滴头正下方 10 cm 深度处的土壤基质势阈值越高，0~30 cm 土层的土壤

含水率则越高(图2)。其中,2021年-10、-20、-30、-40 kPa和-50 kPa处理下的0~30 cm土层的平均土壤含水率分别为12.74%、11.65%、12.20%、11.81%和10.84%,约为田间持水率(砂壤土田间持水率按照文献[12]的标准计算)的91%、83%、87%、84%和

77%;40~80 cm土层的土壤含水率显著降低。2022年-10、-20、-30、-40 kPa和-50 kPa处理0~30 cm土层的平均土壤含水率分别为9.35%、8.29%、7.10%、9.09%和6.87%,约为田间持水率的67%、59%、51%、65%和49%。

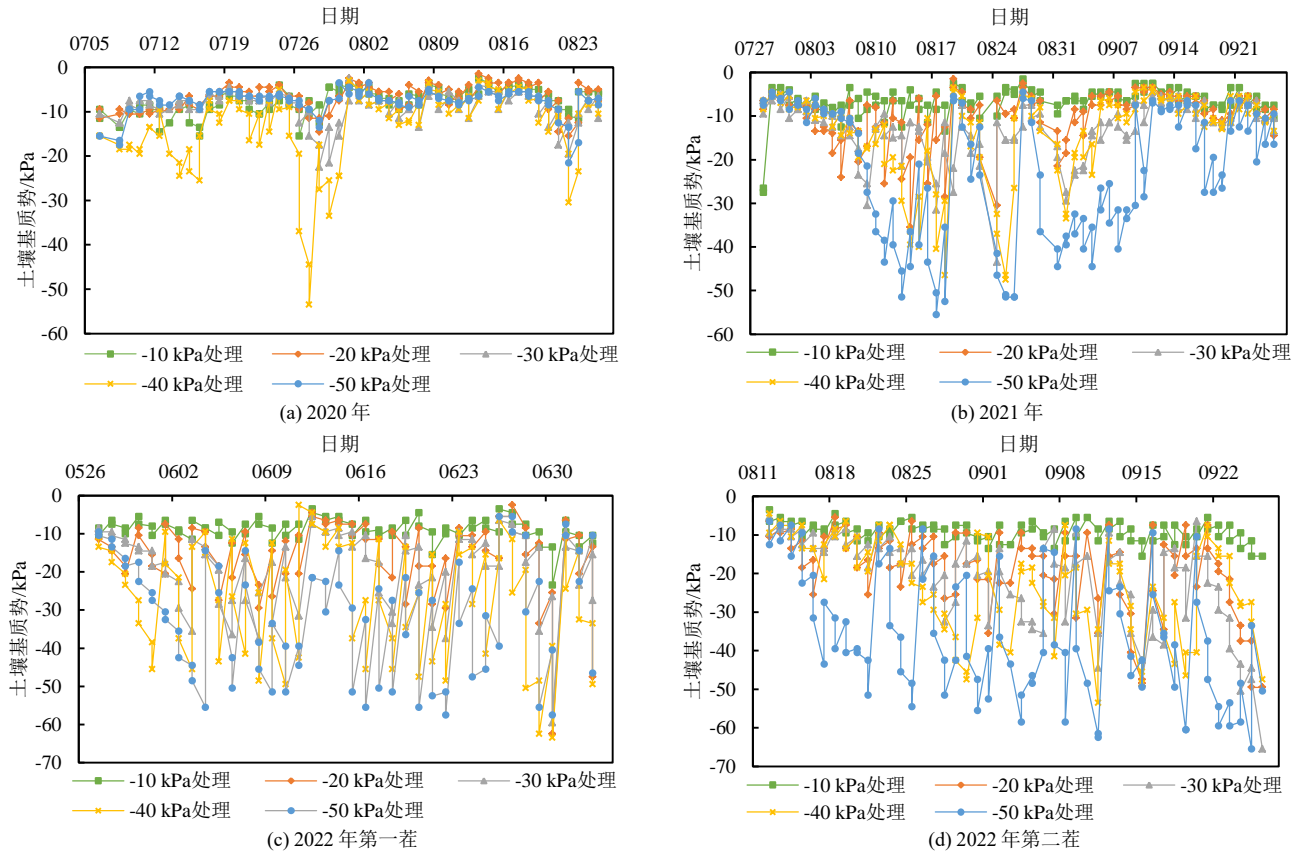


图1 不同处理苜蓿生长阶段土壤基质势变化

Fig.1 Changes of soil matrix potential in alfalfa growth stages under different treatments.

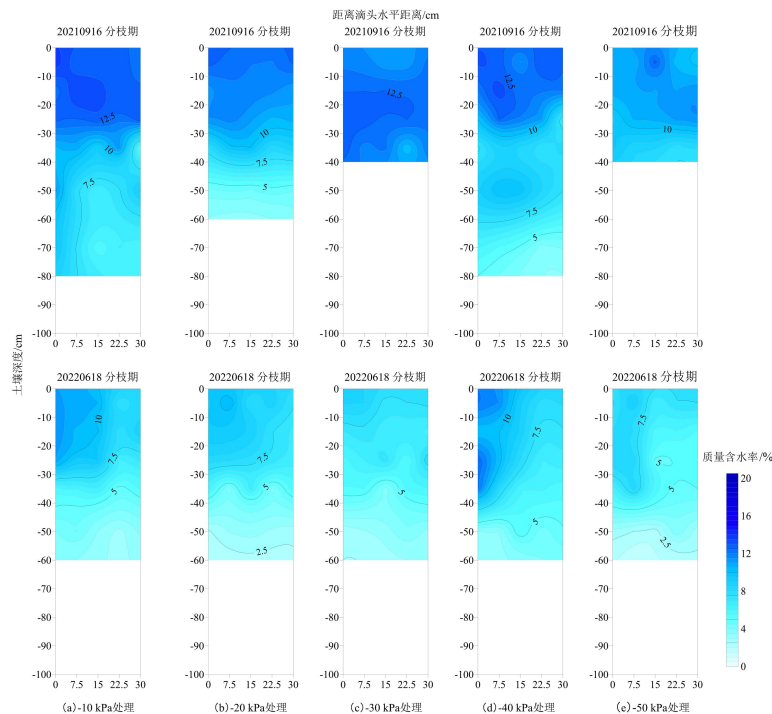


图2 2021年和2022年第一茬苜蓿分枝期不同处理土壤含水率分布

Fig.2 Distribution of soil moisture content under different treatments during alfalfa branching period in 2021 and 2022 (the first crop)

## 2.4 苜蓿初花期生长指标

由于 2020 年-30 kPa 和-50 kPa 处理的土壤基质势未降低到灌溉阈值，因此仅分析-10、-20、-40 kPa 处理。由表 6 可知，2020 年苜蓿的株高、茎粗和分枝数随着土壤基质势的降低先增加后降低，均在-20 kPa 处理下达到最高；不同处理间的茎叶比没有显著差异。2021 年苜蓿的株高随着土壤基质势的降低先增加后降低，-10 kPa 和-20 kPa 处理下的平均株高显著高于-30、-40 kPa 和-50 kPa 处理；茎粗、分枝数和干鲜比在不同处理间没有显著差异。2022 年第一茬苜蓿的株高随着土壤基质势的降低先增加后降低，在-20 kPa 处理下达到最高；茎粗、分枝数和茎叶比在不同处理间没有显著差异。第二茬苜蓿的株高、茎粗和分枝数均随着土壤基质势的降低先增加后降低，在-20 kPa 处理下达到最高，但处理间没有显著差异。

表 6 不同土壤基质势苜蓿初花期生长指标

Table 6 Growth index of alfalfa at early flowering stage with different soil matrix potential

年份	土壤基质势/kPa	株高/cm	茎粗/mm	分枝数/个	茎叶比	干鲜比
2020 年	-10	59.65a	2.91a	11.20b	1.14a	0.22a
	-20	63.48a	3.09a	12.98a	1.10a	0.21b
	-40	56.30b	2.66b	11.00b	1.10a	0.22a
2021 年	-10	60.70a	2.96a	8.00a	1.36a	0.27a
	-20	60.95a	2.97a	8.05a	1.36a	0.27a
	-30	53.95b	2.94a	8.05a	0.98ab	0.27a
	-40	53.89b	2.90a	7.96a	1.23b	0.27a
	-50	55.75b	2.98a	7.95a	1.10b	0.28a
2022 年第一茬	-10	86.55ab	3.70a	11.65a	1.58a	0.23b
	-20	89.60a	3.80a	12.55a	1.60a	0.25b
	-30	84.15b	3.56a	11.25a	1.50a	0.27a
	-40	82.30b	3.72a	12.50a	1.47a	0.26ab
	-50	81.55b	3.68a	11.20a	1.58a	0.26ab
2022 年第二茬	-10	55.50a	2.86a	6.00a	-	-
	-20	60.75a	3.30a	7.38a	-	-
	-30	53.25a	2.79a	6.13a	-	-
	-40	55.13a	2.86a	5.38a	-	-
	-50	53.50a	2.64a	6.00a	-	-

注 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.5 苜蓿鲜草产量

由表 7 可知，除了 2022 年第二茬-50 kPa 处理的苜蓿鲜草产量显著低于其他处理外，其余处理间的鲜草产量均无显著差异，但总体上鲜草产量随着土壤基质势的降低呈先增加后降低的趋势，在-20 kPa 处理下达到最高。其中，2020—2022 年-20 kPa 处理的苜蓿鲜草平均产量为 18 795.14 kg/hm<sup>2</sup>，相比-10、-30、-40 kPa 和-50 kPa 处理的分别提高 9.40%、

11.19%、14.73%和 27.95%。相比以往研究中地面灌溉条件下的同一试验区的相同苜蓿品种<sup>[13]</sup>，本研究-20 kPa 处理下的苜蓿鲜草产量有显著提升。

表 7 2020—2022 年不同土壤基质势处理下的苜蓿鲜草产量

Table 7 Yield of fresh alfalfa treated with different soil matrix potential from 2020 to 2022

土壤基质势/kPa	鲜草产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			
	2020 年	2021 年	2022 年第一茬	2022 年第二茬
-10	14 125.00a	14 666.67a	25 263.89a	14 666.67a
-20	16 666.67a	16 416.67a	26 930.55a	15 166.67a
-30	-	13 488.10a	24 388.89a	12 833.33a
-40	16 104.17a	13 520.83a	24 125.00a	11 777.78a
-50	-	13 291.67a	22 500.00a	8 277.78b

## 2.6 灌溉水利用效率

由表 8 可知，不同处理的灌溉水利用效率介于 9.03~26.77 kg/m<sup>3</sup> 之间，-10、-20、-30、-40、-50 kPa 处理的平均灌溉水利用效率分别为 12.67、13.35、15.02、15.05、16.72 kg/m<sup>3</sup>。

表 8 2020—2022 年不同土壤基质势处理下的灌溉水利用效率

Table 8 Irrigation water use efficiency for different soil matrix potential treatments from 2020 to 2022

土壤基质势/kPa	灌溉水利用效率/(kg·m <sup>-3</sup> )			
	2020 年	2021 年	2022 年第一茬	2022 年第二茬
-10	9.03	13.46	16.79	11.39
-20	11.95	16.16	15.64	9.64
-30	-	16.47	17.34	11.25
-40	12.40	16.90	17.95	12.97
-50	-	12.94	26.77	10.45

## 3 讨论

浅埋地下滴灌条件下，控制滴头正下方 10 cm 深度（距离滴头横向距离 0 cm、地表以下 20 cm 深度处）处的土壤基质势下限可以显著影响土壤含水率的空间分布，该点土壤基质势阈值越高，0~30 cm 土层的土壤含水率则越高。苜蓿株高、鲜草产量和灌溉水利用效率与该点土壤基质势存在密切关系，这与康跃虎等<sup>[8]</sup>在地表滴灌条件下的研究结论一致。地表滴灌条件下，控制滴头正下方的土壤基质势可以有效控制作物根系分布范围内的土壤水分状况，且作物的生长、产量、耗水特征与该点土壤基质势关系密切，可以通过监控该点的土壤基质势来制定地表滴灌的灌溉制度<sup>[14-15]</sup>。本试验区的土壤为砂壤土，保水能力差且土层厚度较小（在 40~60 cm 深度及以下为砂石层），该土壤条件下苜蓿根系分布区储存的水量有限，在苜蓿需水高峰期（苜蓿全生长季的需水强度为 3~7 mm/d，短期极端最高需水强度可

达到 14 mm/d<sup>[16]</sup>), 如果土壤基质势较低, 则无法及时补充根系主要分布区消耗的土壤水分, 苜蓿易遭受水分胁迫。在干旱年, -50~-10 kPa 处理 0~30 cm 土层的平均土壤含水率在 6.87%~9.35%之间, 约为田间持水率的 49%~67%, 而寇丹<sup>[17]</sup>推荐的田间持水率为 60%。因此, 考虑到苜蓿的高产和稳产, 当耕作层土壤保水能力较差且土层浅薄时, 苜蓿浅埋地下滴灌滴头正下方 10 cm 深度处土壤基质势下限建议为-20 kPa, 以防苜蓿在需水关键期遭受干旱, 造成大幅度减产。这与李森等<sup>[18]</sup>推荐的土壤基质势下限较为接近。

当耕作层土壤保水能力较好且土层深厚时, 在缺水地区考虑到水资源的高效利用, 苜蓿浅埋地下滴灌滴头正下方 10 cm 深度处的土壤基质势下限建议为-40 kPa, 以提高灌溉水利用效率。这与 Hanson 等<sup>[19]</sup>推荐的土壤基质势阈值基本一致。

## 4 结论

1) 浅埋地下滴灌条件下, 控制滴头正下方 10 cm 深度处的土壤基质势下限可以显著影响土壤含水率空间分布, 该点土壤基质势阈值越高, 0~30 cm 土层的平均土壤含水率则越高。

2) 随着土壤基质势的降低, 苜蓿的株高和鲜草产量呈先增加后降低的趋势, 当土壤基质势下限为-20 kPa 时, 苜蓿的株高和鲜草产量最高。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

## 参考文献:

[1] 王宇, 冯晓杰, 张志海, 等. 浅谈呼伦贝尔草原退化及治理措施[J]. 内蒙古草业, 2003, 15(4): 63-65.

[2] 闫玉龙. 不同人工草地产量及品质对灌溉的响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2016.

YAN Yulong. Response of different artificial grassland yield and quality to irrigation[D]. Huhhot: Inner Mongolia University, 2016.

[3] WANG Yadong, LIU Chun, CUI Pengfei, et al. Effects of partial root-zone drying on alfalfa growth, yield and quality under subsurface drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2021, 245: 106-118.

[4] 郭克贞, 赵淑银, 徐冰, 等. 毛乌素沙地紫花苜蓿灌溉节水增产机理与调控技术[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

[5] 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.

TONG Bingwei, ZHANG Na, BAO Ziyun. Effects of different water and fertilizer treatments on growth and yield of alfalfa under subsurface drip irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(3): 35-40.

[6] 蔡伟. 水肥耦合对宁夏引黄灌区苜蓿生产性能及品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2018.

CAI Wei. Effect of water and fertilizer coupling on production performance and quality of Yellow River irrigation area in Ningxia[D].

Yinchuan: Ningxia University, 2018.

[7] 郭少磊, 蒋树芳, 万书勤, 等. 马铃薯地下滴灌灌溉计划的拟定方法研究[J]. 节水灌溉, 2015(8): 11-14, 19.

GUO Shaolei, JIANG Shufang, WAN Shuqin, et al. Schedule of underground drip irrigation for potato[J]. Water Saving Irrigation, 2015(8): 11-14, 19.

[8] 康跃虎. 实用型滴灌灌溉计划制定方法[J]. 节水灌溉, 2004(3): 11-12, 15.

KANG Yuchu. Applied method for drip irrigation scheduling[J]. Water Saving Irrigation, 2004(3): 11-12, 15.

[9] 万书勤, 李晓彬, 康跃虎. 基于土壤基质势的温室土壤墒情监测技术[J]. 农业工程技术, 2019, 39(13): 10-17.

[10] 张元红, 王瑞, 徐宗贵, 等. 不同降水年型下旱地玉米产量性状对种植密度和品种响应[J]. 农业工程学报, 2021, 37(22): 136-144.

ZHANG Yuanhong, WANG Rui, XU Zongui, et al. Responses of yield traits to planting density and cultivar of spring maize in drylands under different rainfall types[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(22): 136-144.

[11] 郭克贞, 佟长福, 郝和平, 等. 毛乌素沙地紫花苜蓿人工草地的水分转移与消耗研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(6): 44-48.

GUO Kezhen, TONG Changfu, HAO Heping, et al. Research on water consuming process in alfalfa in maowusu desert[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(6): 44-48.

[12] DAVID Goldberg, BILL Gornat, DAVID Rimon. Drip irrigation: principles, design and agricultural practices[M]. Israel: Kfar Shmaryahu (Israel) Drip Irrigation Scientific Pub, 1976: 273-289.

[13] 林双. 呼伦贝尔地区苜蓿引种及高产栽培技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2021.

[14] LIU Haijun, YANG Huiying, ZHENG Jianhua, et al. Irrigation scheduling strategies based on soil matric potential on yield and fruit quality of mulched-drip irrigated chili pepper in Northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2012, 115: 232-241.

[15] 张超, 康跃虎, 万书勤, 等. 滴灌条件下土壤基质势对豇豆产量和灌溉水利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4): 30-33.

ZHANG Chao, KANG Yuchu, WAN Shuqin, et al. Effects of soil matric potential on cowpea yield and irrigation water use efficiency under drip irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(4): 30-33.

[16] 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.

SUN Hongren, LIU Guorong, ZHANG Yingjun, et al. Water requirement, water consumption, water requirement rate, water consumption rate and water use efficiency of alfalfa[J]. Pratacultural Science, 2005, 22(12): 24-30.

[17] 寇丹. 西北旱区地下滴灌对苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 产量、品质及耗水量的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.

KOU Dan. Effect of regulated deficit and subsurface drip irrigation on alfalfa (*Medicago sativa* L.) yield, quality and water consumption in arid area of Northwest China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.

[18] 李森, 刘淑慧, 郭建忠. 滴灌控制土壤基质势对土壤水分分布和苜蓿生长的影响[J]. 节水灌溉, 2017(4): 6-10.

LI Sen, LIU Shuhui, GUO Jianzhong. Effect of drip-irrigation control soil matrix potential on alfalfa growth and soil moisture distribution[J]. Water Saving Irrigation, 2017(4): 6-10.

[19] HANSON B R, BALI K M, SANDEN B L. Irrigating alfalfa in arid regions[M]. Berkeley: University of California Division of Agriculture and Natural Resources, 2008.

## Effects of Matric Potential Threshold Used for Control of Shallow Drip Irrigation on Growth and Yield of Alfalfa

LI Rongcheng<sup>1,2</sup>, WAN Shuqin<sup>1\*</sup>, LI Xiaobin<sup>1</sup>, KANG Yuehu<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes,

Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** **【Objective】** Matric potential measured at a position below the emitter is often used as a threshold to control drip irrigation. In this paper we investigate the effect of the threshold on growth and yield of alfalfa irrigated by shallow drip irrigation. **【Method】** The field experiment was conducted in Hulunbeier area in Inner Mongolia, with the variety Longmu 806 used as the model plant. We compared five matrix potential thresholds measured at the depth of 10 cm below the emitter: -10, -20, -30, -40 kPa and -50 kPa, to study their effects on soil moisture distribution, growth and fresh grass yield, as well as water use efficiency of the alfalfa. **【Result】** The matrix potential threshold significantly affected spatial distribution of soil moisture; the higher the soil matrix potential threshold was, the higher the soil water content in the 0~30 cm soil layer was. With the decrease in the matrix potential, the plant height and fresh grass yield of the alfalfa increased first and then declined; the highest plant height and fresh grass yield were achieved when the soil matrix potential was -20 kPa. The average irrigation water use efficiency of the alfalfa increased with the decrease in soil matrix potential, and the highest irrigation water use efficiency was when the soil matrix potential was between -50 kPa and -40 kPa. **【Conclusion】** In order to maintain high and stable grass yield, for 1~3 year old alfalfa, the soil matrix potential threshold at the depth of 10 cm underneath the emitter of the shallow subsurface drip irrigation should be -20 kPa, when water holding capacity of the soil in the tillage layer is poor and the roots of the alfalfa are shallow.

**Key words:** artificial grassland; shallow subsurface drip irrigation; irrigation schedule; soil matrix potential; irrigation water use efficiency

责任编辑：韩洋