

# 紫花苜蓿品种产量及营养品质对调亏灌溉的响应

南攀, 师尚礼\*

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**【目的】探索甘肃荒漠灌溉区最适宜的节水型苜蓿生产灌溉技术。【方法】以12份不同品种紫花苜蓿为试验材料, 设置中度水分胁迫(T1: 田间持水量的45%~55%)、轻度水分胁迫(T2: 田间持水量的55%~65%)和充分灌溉(T3: 田间持水量的65%~75%)3个灌溉梯度。以充分灌溉为对照, 观测不同水分处理下各品种产量与营养指标的差异, 筛选适宜该区域节水苜蓿生产的品种与灌溉技术。【结果】水分生产力总体表现为: 轻度水分胁迫(23.01 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)) > 充分灌溉(20 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)) > 中度水分胁迫(18 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)), 轻度水分胁迫水分生产力提高了15%, 中度水分胁迫降低了10%。品种间相比, WL319HQ在3个水分处理下水分生产力均达到最高。其中WL319HQ的水分生产力在轻度水分胁迫条件下最高, 较其它两种水分处理分别提升3.8、5.7 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)。充分灌溉、轻度水分胁迫下WL319HQ的产量均显著高于其它供试品种。中度水分胁迫下苜蓿总体产量显著低于其它两种水分处理( $P < 0.05$ ), 其中产量最高的为甘农3号。所有试验组中, WL319HQ在轻度水分胁迫时, 粗蛋白含量与粗脂肪含量最高, 酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维含量最低, 相对饲喂价值显著高于其他水分胁迫处理。【结论】甘肃荒漠灌溉区在轻度水分胁迫(田间持水量的55%~65%)下种植WL319HQ有利于提高灌区草地生态生产力。

**关键词:** 紫花苜蓿; 调亏灌溉; 产量; 营养

**中图分类号:** S541.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)04-0009-10

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cycp.2024.04.002



随着我国近年来对畜牧业的重视和发展, 草产业呈现出强劲的发展势头, 有“牧草之王”美称的紫花苜蓿(*Medicago sativa*)也随之备受关注与青睐, 其种植面积逐年增加。甘肃作为全国优质牧草产品的主产区和国家“粮改饲”重点区域, 全省人工种草面积仅次于内蒙古, 居全国第2位, 其中紫花苜蓿种植面积占全国1/3, 尤其在金昌、张掖和酒泉等河西地区形成了苜蓿主产区<sup>[1-3]</sup>。然而, 甘肃地居内陆, 降水时期分布极不均匀, 尤其以甘肃陇东、陇中、河西走廊多处于干旱

区域。其中, 河西走廊荒漠绿洲区年降水量少、蒸发量巨大, 灌溉地区内, 水分大量无效蒸发, 未能被紫花苜蓿吸收与利用, 造成紫花苜蓿对水分的利用率降低, 水资源大量浪费。因此, 优化农业用水配置和水资源的有效利用对于该地区紫花苜蓿高产十分重要。

调亏灌溉(Regulated Deficit Irrigation)是国际上在20世纪70年代中后期由澳大利亚的某农业研究机构率先提出的一种新型节水灌溉技术, 是一种囊括经济效益和生态效益的灌溉方法, 对水资源短缺或用水成本较高的地区极度适用<sup>[4]</sup>。其作用机理就是基于作物生理生化过程中受遗传特性和生长特性的影响, 在作物生长发育的某些阶段人为控水, 施加给作物一定的水分胁迫, 从而影响光合同化产物向不同组织器官的分配, 来调节作物的生长进程, 达到节水高效、高产优质和提高水分利用效率为目的的非充分灌溉技

收稿日期: 2022-11-17; 修回日期: 2023-04-06

基金资助: 甘肃省教育厅产业支撑项目(2021CYZC-20)

作者简介: 南攀(1998-), 男, 甘肃会宁人, 硕士研究生。

E-mail: 2846574006@qq.com

\*通信作者。E-mail: shishl@gsau.edu.cn

术<sup>[5-6]</sup>。该理论提出之后,相关试验主要聚焦于果树等水果作物的调亏研究,而关于粮食及蔬菜作物的研究试验相对较少<sup>[7-8]</sup>。直到上个世纪末期,国内外的科研人员才逐渐开始将粮食及蔬菜等作物作为研究对象进行调亏灌溉一系列科研试验,研究结果取得了一定的成效,证实了该理论对大田作物同样适用且效益匪浅<sup>[9-10]</sup>。调亏灌溉从生物学角度出发,挖掘生物用水机理,减少非必要水分流失,提高水分利用率,是一种更科学、更有效的新灌溉策略<sup>[11]</sup>。有研究表明<sup>[12,14]</sup>,调亏灌溉之所以能够节约农业水效益,其关键在于作物的根系可以感知到土壤水分的缺失,同时将胁迫信号及时传递至作物地上部分,从而诱导关闭气孔。康兴奎<sup>[15]</sup>研究发现,在20%节水灌溉处理下,苜蓿具有较大株高,较大茎叶总重,最小茎叶比及最高干草产量,不但保证了营养生长,而且促进了生殖生长。不同灌水量下紫花苜蓿的株高、产量等性状有明显的差异,紫花苜蓿的株高和茎粗随灌水量的降低而减小,在不同生育时期的净光合速率、蒸腾速率日变化趋势相似<sup>[16-17]</sup>。王泽义等<sup>[18]</sup>认为对作物进行调亏灌溉时,其根系便会受到水分的胁迫作用,作物便会调整光合产物在根冠间的分配比,其中较多的同化产物被根系利用,对其生长产生有利作用,此时作物冠层部分的生长就会受到抑制,叶面积减小,作物蒸腾作用减弱,从而引起作物需水量的下降。郭相平<sup>[19]</sup>在调亏灌溉一节水灌溉的新思路中发现,调亏灌溉还能减小作物的棵间蒸发,有效减少了水分的浪费。董国峰<sup>[20]</sup>研究表明,轻度水分亏缺(土壤含水量为田间持水量的60%~65%)的苜蓿干草产量较充分灌溉(土壤含水量为田间持水量的65%~70%)下有所降低,

但差异不显著,而轻度水分亏缺下苜蓿水分利用效率和粗蛋白含量显著提高。目前,调亏灌溉条件下旱区灌区牧草种植效益的研究尚属空缺,牧草节水品种与调亏灌溉的耦合机制鲜少关注,该方面研究仅聚焦于大田、经济作物<sup>[21-22]</sup>。

因此,本研究立足于甘肃荒漠灌溉区紫花苜蓿产业发展需求,对甘肃灌区苜蓿在不同调亏灌溉处理下的产量、水分生产力及品质进行了研究,探究苜蓿种植效益最佳时的土壤水分亏缺水平,旨在为提高灌区农牧业生产效益,优化农业用水配置和水资源的有效利用,因地制宜发展草畜产业和提高灌区草地生态生产力提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地设置于甘肃农业大学草业生态系统教育部重点实验室兰州野外试验基地,地处黄土高原西部,年平均气温9.1℃,属温带半干旱大陆性气候;海拔1595 m,年平均降水量451.6 mm,年蒸发量1664 mm,平均日照时长 $\geq 10$  h;地势平坦,肥力均匀,土壤类型为砂壤土,黄土层较薄。测地下1 m深度土壤有机质含量为0.96%,田间持水量为29.65%,碱解氮含量为65.92 mg/kg,速效钾含量为104.21 mg/kg,速效磷含量为10.06 mg/kg。

### 1.2 试验材料

供试紫花苜蓿材料有12份,分别为WL525HQ、WL168HQ、甘农9号、SG401、SG501、WL298HQ、WL363HQ、WL343HQ、WL319HQ、SG601、甘农3号、WL354HQ。

表1 供试苜蓿品种及来源

Table 1 The origins of *M. sativa* L. varieties in test

编号	品种	种子来源	编号	品种	种子来源
1	WL168HQ	北京正道种业有限公司	7	甘农3号	甘肃农业大学
2	WL298HQ	北京正道种业有限公司	8	WL525HQ	北京正道种业有限公司
3	WL363HQ	北京正道种业有限公司	9	WL319HQ	北京正道种业有限公司
4	甘农9号	甘肃农业大学	10	WL343HQ	北京正道种业有限公司
5	SG401	北京正道种业有限公司	11	WL354HQ	北京正道种业有限公司
6	SG501	北京正道种业有限公司	12	SG601	北京正道种业有限公司

### 1.3 试验设计

试验地于2021年4月15日采用土培盆栽进行试验,运用双因素完全随机设计法,因素A为12种不同紫花苜蓿品种(表1);因素B为不同水分处理,分别为T1(中度水分胁迫,即田间持水量的45%~55%)、T2(轻度水分胁迫,即田间持水量的55%~65%)和T3(充分灌溉,即田间持水量的65%~75%),试验地共设3组试验小区,每组小区内12个苜蓿品种随机排列,共36盆。选用28 cm(高)×25 cm(盆底直径)塑料盆作为试验用盆,每盆装均匀混合10%营养土的基地土壤12 kg,深埋于基地小区内,测定盆栽充分灌溉时的耗水量,将试验地盆栽浇水至充分灌溉状态,隔天将挑选出的40粒饱满、均匀、无病虫害的苜蓿种子进行播种。播种后,待长出两片真叶时进行间苗,每盆留苗25株。在苜蓿出苗后第45 d开始水分调亏处理,利用土壤水分仪(无锡科赛瑞仪器设备有限公司)每天监测土壤含水量,当水分低于各处理下限后进行水分补充,直至各处理上限。初花期进行紫花苜蓿各指标测量工作。

### 1.4 测定指标

1.4.1 产量及营养指标的测定 地上部分鲜草产量测定:在初花期进行齐地刈割后,以盆为单位立即称取鲜质量;然后在烘箱中先以105℃杀青5 min,再以65℃烘干至恒质量,记为干质量。

营养成分含量测定:苜蓿干草样品经粉碎过40目筛后供测定营养成分使用。

用凯氏定氮法测定粗蛋白质(crude protein, CP)<sup>[23]</sup>;用索氏脂肪浸提法测定粗脂肪(ether extract, EE)含量<sup>[24]</sup>;中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)测定参照GB/T20806—2006标准进行<sup>[25]</sup>,酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)测定参照NY/T1459—2007标准进行<sup>[26]</sup>。

相对饲喂价值(RFV)计算公式如下:

$$RFV = \frac{DMI \times DDM}{1.29}$$

式中:DMI(Dry Matter Intake)为单位体重家畜粗饲料干物质的随意采食量(%BW);DDM(Digestible Dry Matter)为可消化的干物质占干物质总量的比例(%DM)。DMI与DDM的预测模型分别为:

$$DMI = \frac{120}{NDF}$$

$$DDM = 88.9 - 0.779 \times ADF$$

式中:NDF为中性洗涤纤维,ADF为酸性洗涤纤维。

1.4.2 灌溉记录及计算 试验期间各处理的灌溉量和具体灌溉次数见表2。水分生产力计算公式为:灌溉水分生产力(kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>)= $\frac{\text{紫花苜蓿年产量(kg·hm}^{-2}\text{)}}{\text{总灌溉量(mm)}}$

表2 试验期间各处理的灌溉量和具体灌溉次数

Table 2 Irrigation quantity and specific irrigation times of each treatment during the test

处理	盆数	灌溉次数	灌溉总量/mm
T1	36	11	327
T2	36	10	381.9
T3	36	9	445.6

### 1.5 数据分析

采用Microsoft Excel 2010进行数据整理,SPSS26.0统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分调亏对不同品种紫花苜蓿地上部分鲜重的影响

与充分灌溉相比,轻度水分胁迫处理下各品种紫花苜蓿地上部分鲜重有所下降但相差较小,中度水分胁迫处理与充分灌溉处理相比各品种紫花苜蓿鲜重均低于充分灌溉处理,各品种鲜重都体现为充分灌溉>轻度水分胁迫>中度水分胁迫(图1)。相同品种不同水分处理下,轻度水分胁迫、充分灌溉处理下的鲜重均显著大于中度水分胁迫处理( $P<0.05$ )。其中充分灌溉处理下WL319HQ的鲜重最高,为33 820 kg/hm<sup>2</sup>,比轻度水分胁迫与中度水分胁迫处理分别增产了224 kg/hm<sup>2</sup>、9 120 kg/hm<sup>2</sup>,其次为甘农3号和WL525HQ,鲜重分别为32 560 kg/hm<sup>2</sup>、32 382 kg/hm<sup>2</sup>,其产量均显著高于其它品种鲜草产量( $P<0.05$ )。

### 2.2 水分调亏对不同品种紫花苜蓿地上部分干重的影响

干重的趋势与鲜重的变化趋势近乎一致(图2),与充分灌溉相比,轻度水分胁迫处理下各品种紫花苜蓿的干重有所下降但差异不显著( $P>0.05$ ),中度水分胁迫与充分灌溉处理相比,中度水分胁迫处理下,

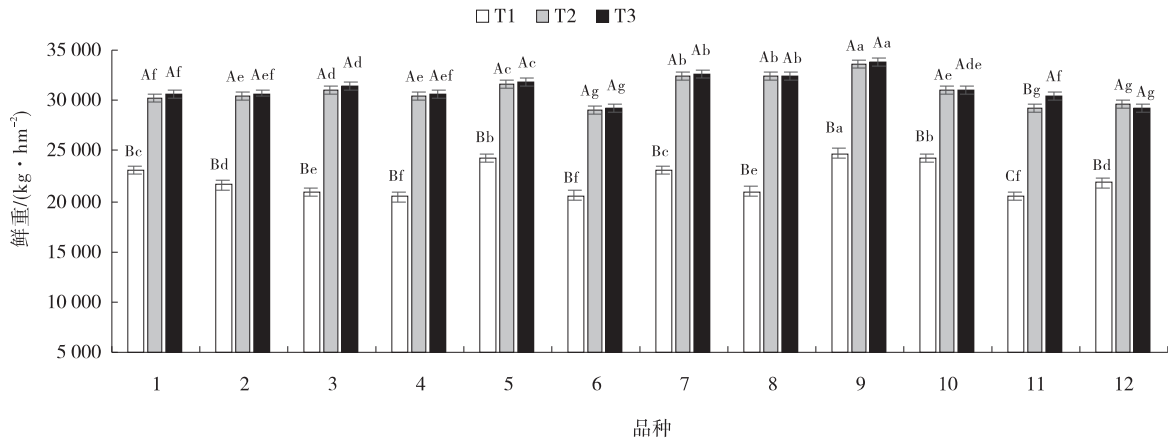


图1 不同水分处理对紫花苜蓿地上部分鲜重的影响

Fig. 1 Effects of different water treatments on the quality of fresh grass in alfalfa

注:数字1—12表示苜蓿品种,分别是WL168HQ, WL298HQ, WL363HQ, 甘农9号, SG401, SG501, 甘农3号, WL525HQ, WL319HQ, WL343HQ, WL354HQ, SG601。不同大写字母代表品种间差异显著,不同小写字母代表水分处理间差异显著,显著性水平均为 $P<0.05$ ,下同。

各品种紫花苜蓿干重均低于充分灌溉处理,水分调亏程度过低时各品种紫花苜蓿的干重有下降的趋势。轻度水分胁迫与充分灌溉处理下各品种紫花苜蓿的干重均显著高于( $P<0.05$ )中度水分胁迫处理。其中充分灌溉处理下 WL319HQ 干重最高,为 10 132 kg/

hm<sup>2</sup>,较轻度水分胁迫与中度水分胁迫处理分别增产了 4 kg/hm<sup>2</sup>、3 326 kg/hm<sup>2</sup>,其次为 WL525HQ 和甘农 3 号,干重分别为 10 108 kg/hm<sup>2</sup>、9 936 kg/hm<sup>2</sup>,其干草产量均显著高于其它品种( $P<0.05$ )。

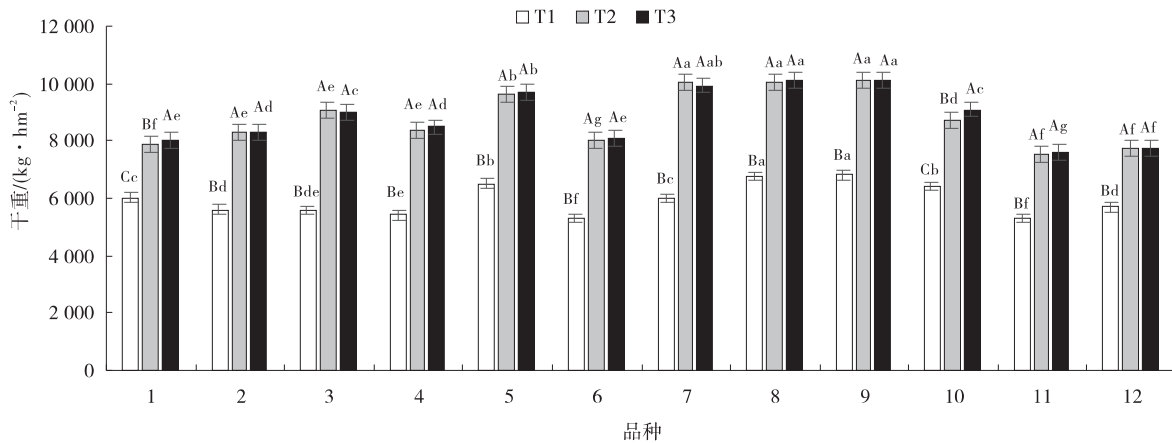


图2 不同水分处理对紫花苜蓿干重的影响

Fig. 2 Effects of different water treatments on hay yield of alfalfa

### 2.3 水分调亏对不同品种紫花苜蓿粗蛋白含量的影响

紫花苜蓿粗蛋白含量随水分增加先增加后降低(图3)。与充分灌溉处理相比,轻度水分胁迫处理可使紫花苜蓿粗蛋白含量提高,但中度水分胁迫处理与充分灌溉处理相比,中度水分胁迫处理下,紫花苜蓿粗蛋白含量皆低于充分灌溉处理。中度水分胁迫处理时各品种粗蛋白含量有下降的趋势,轻度水分胁迫处理下各品种粗蛋白含量均显著高于充分灌溉处理

( $P<0.05$ )。其中,轻度水分胁迫处理下粗蛋白含量最高的是 WL319HQ,为 24.93%。其次为甘农 3 号和 WL525HQ,粗蛋白含量分别为 24.82%、24.55%。相同品种不同水分胁迫处理下, WL319HQ 在轻度水分胁迫处理下粗蛋白含量较其它处理分别提升了 3.13%、4.11%。

### 2.4 水分调亏对不同品种紫花苜蓿粗脂肪含量的影响

与充分灌溉处理相比,轻度水分胁迫处理均可促

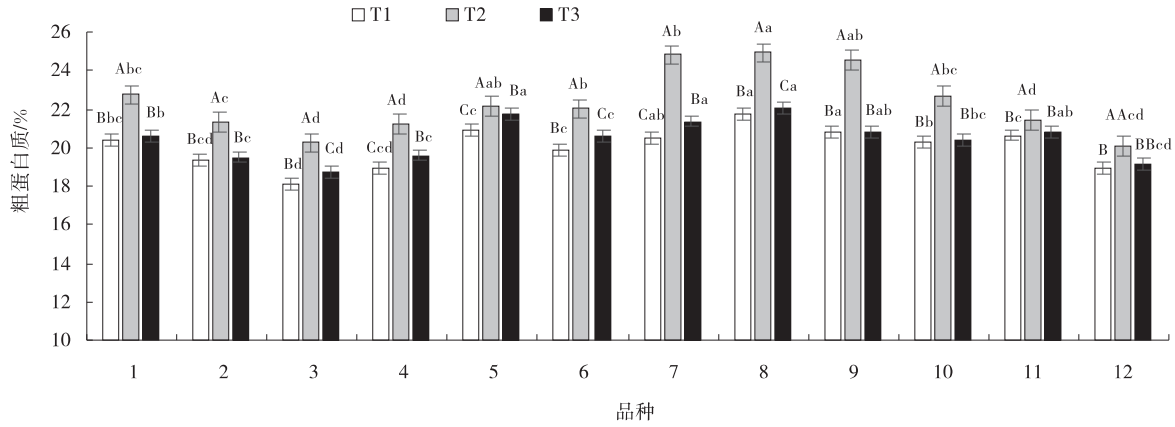


图3 不同水分处理对紫花苜蓿粗蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of different water treatments on crude protein content of alfalfa

进各品种紫花苜蓿粗脂肪含量的提升,但中度水分胁迫处理却达不到提升粗脂肪含量的效果,各品种紫花苜蓿粗脂肪含量普遍低于充分灌溉处理,出现下降的趋势(图4)。在轻度水分胁迫处理下各品种紫花苜蓿

的粗脂肪含量均显著高于充分灌溉处理( $P < 0.05$ )。其中,轻度水分胁迫处理下WL319HQ的粗脂肪含量最高,且较充分灌溉处理下粗脂肪含量提升也最多,其次为甘农3号和WL525HQ。

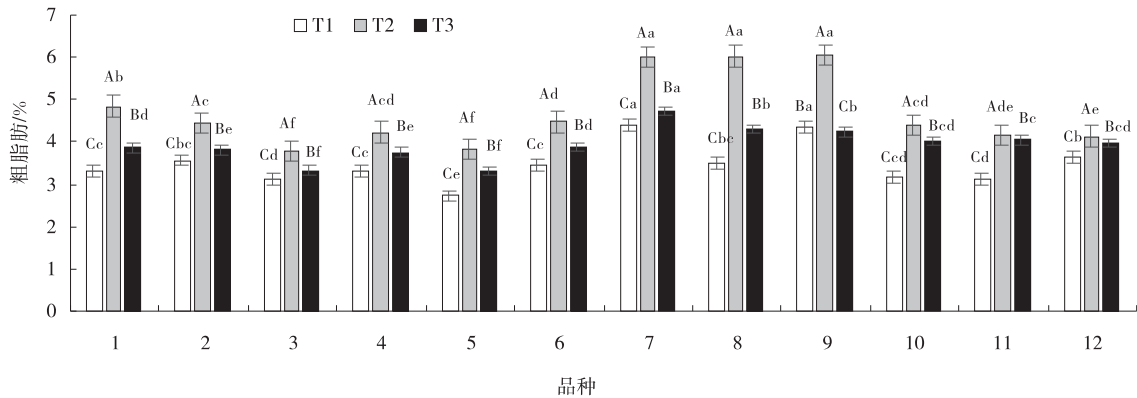


图4 不同水分处理对紫花苜蓿粗脂肪含量的影响

Fig. 4 Effects of different water treatments on crude fat content of alfalfa

## 2.5 水分调亏对不同品种紫花苜蓿酸性洗涤纤维的影响

与充分灌溉处理相比,轻度水分胁迫处理可使各品种紫花苜蓿的酸性洗涤纤维含量降低且差异显著( $P < 0.05$ )(图5)。但中度水分胁迫处理与充分灌溉处理相比,各品种酸性洗涤纤维含量普遍高于充分灌溉处理,且当水分胁迫梯度过低时酸性洗涤纤维含量呈上升趋势。在轻度水分胁迫处理下各品种紫花苜蓿的酸性洗涤纤维含量均显著低于充分灌溉处理( $P < 0.05$ ),WL319HQ最低,酸性洗涤纤维含量为26.42%,且较充分灌溉处理减少了4.75%,其次为甘农3号和WL525HQ,酸性洗涤纤维含量的降低量均高于轻度水分胁迫处理下的其它品种。

## 2.6 水分调亏对不同品种紫花苜蓿中性洗涤纤维的影响

与充分灌溉处理相比,轻度水分胁迫处理可使各品种紫花苜蓿的中性洗涤纤维含量降低,各品种中性洗涤纤维含量均与充分灌溉处理差异显著( $P < 0.05$ )(图6)。但中度水分胁迫处理与充分灌溉处理相比,各品种紫花苜蓿中性洗涤纤维含量普遍高于充分灌溉处理,各品种随水分胁迫加剧中性洗涤纤维含量上升趋势。在轻度水分胁迫处理下各品种紫花苜蓿的中性洗涤纤维含量均显著低于充分灌溉处理( $P < 0.05$ )。其中,WL319HQ的中性洗涤纤维含量最低,为35.26%。且较充分灌溉减少了3.9%,其次为甘农3号和WL525HQ,其中性洗涤纤维含量的降低量均高

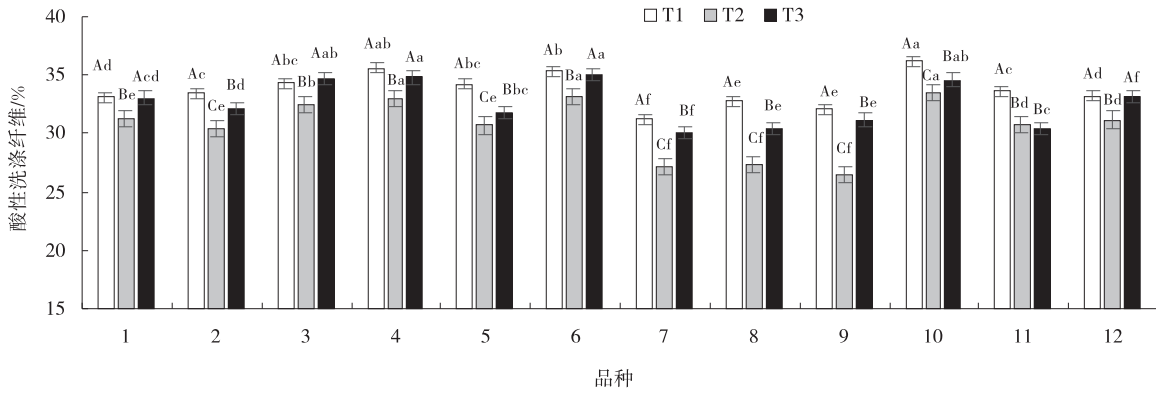


图5 不同水分处理对紫花苜蓿酸性洗涤纤维的含量的影响

Fig. 5 Effect of different water treatments on the content of acid detergent fiber of alfalfa

于轻度水分胁迫处理下的其它品种。

### 2.7 水分调亏对不同品种紫花苜蓿相对饲用价值的影响

与充分灌溉处理相比,轻度水分胁迫处理显著提高了各品种紫花苜蓿的相对饲用价值( $P < 0.05$ ),中度水分胁迫处理与充分灌溉处理相比,各品种紫花苜蓿相对饲用价值均低于充分灌溉处理,各品种在调亏

程度过低时相对饲用价值呈降低趋势(图7)。在轻度水分胁迫处理下各品种紫花苜蓿的相对饲用价值均显著高于充分灌溉处理( $P < 0.05$ )。其中,WL319HQ的相对饲用价值最高,为177.85%。且较充分灌溉增加了29.47%,其次为WL525HQ和甘农3号,其相对饲用价值增加量均高于轻度水分胁迫处理下的其它品种。

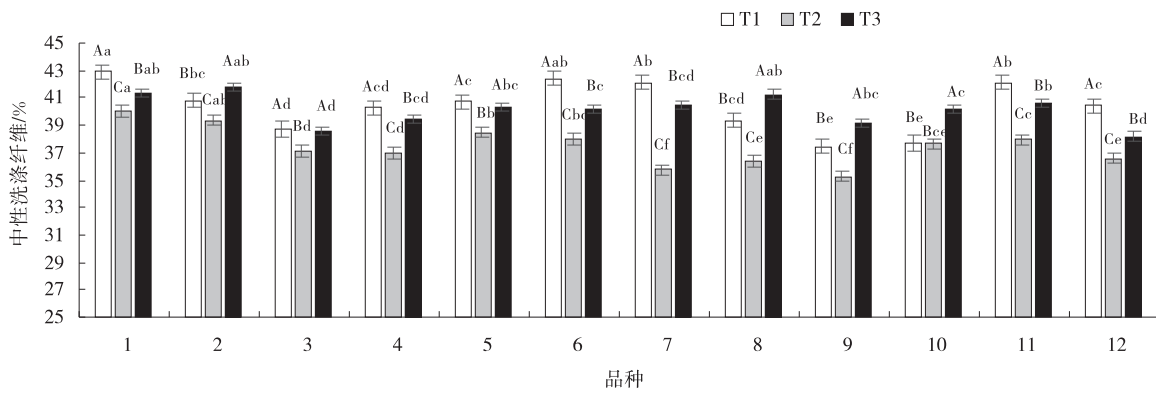


图6 不同水分处理对紫花苜蓿中性洗涤纤维的含量的影响

Fig. 6 Effects of different water treatments on the content of neutral detergent fibers in alfalfa

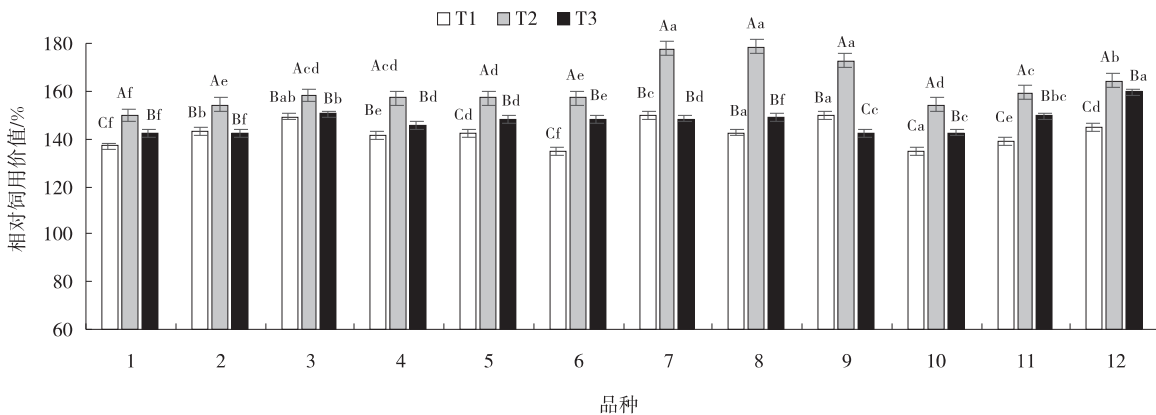


图7 不同水分处理对紫花苜蓿相对饲用价值的影响

Fig. 7 Effects of different water treatments on relative feeding value of alfalfa

## 2.8 水分调亏对不同品种紫花苜蓿水分生产力的影响

灌溉量、苜蓿品种及其交互作用均显著影响着灌溉水分生产力( $P < 0.05$ ) (图8)。灌溉水分生产力总体表现为:轻度水分胁迫处理( $23.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ) > 充分灌溉处理( $19.9 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ) > 中度水分胁迫处理( $18.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ )。轻度水分胁迫处理下,水分生产力提高了15%,中度水分胁迫处理下降了10%。轻度水分胁迫处理下水分生产力变化范围为 $19.8 \sim 26.5 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,其中水分生产力最小的为WL354HQ,水分生产力最大的为WL319HQ;充分灌

溉处理下水分生产力变化范围为 $17.0 \sim 22.7 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,其中水分生产力最小的为WL354HQ,水分生产力最大的为WL319HQ与WL525HQ,中度水分胁迫处理下水分生产力变化范围为 $16.2 \sim 20.8 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,其中水分生产力最小的为SG401,水分生产力最大的为WL319HQ。各品种均在轻度水分胁迫处理下灌溉水分生产力最高,且灌溉水分生产力随着灌溉量的增加呈现先增加后降低的变化趋势,其中WL319HQ的灌溉水分生产力在轻度水分胁迫处理下达到峰值,较其它两种水分处理分别提升3.8、5.7  $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。

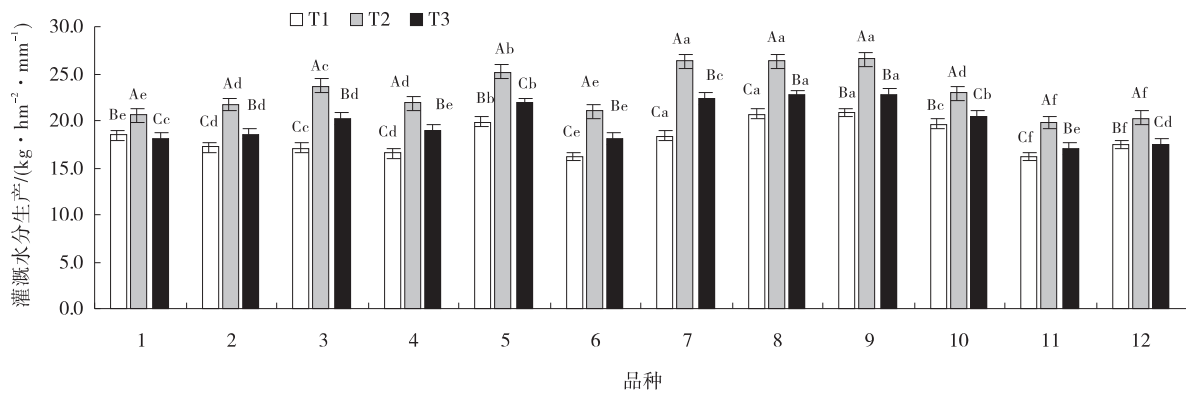


图8 水分调亏对不同品种紫花苜蓿水分生产力的影响

Fig. 8 Effects of water regulation deficit on water productivity of different alfalfa varieties

## 3 讨论

紫花苜蓿生长对水分响应较大,土壤中水分的分布不仅影响紫花苜蓿的生长指标,还影响着紫花苜蓿的根系生长,决定着紫花苜蓿对养分的吸收能力,引起紫花苜蓿植株中养分的变化,进而影响植物的产量<sup>[27]</sup>。袁淑芬等<sup>[28]</sup>对小麦(*Triticum aestivum*)的水分胁迫试验和韩占江等<sup>[29]</sup>对春玉米(*Zea mays*)水分胁迫试验结果均发现适度的水分胁迫能有效提高作物生产力。王艳等<sup>[30]</sup>发现玉米生物量与水分呈正相关关系。白伟等<sup>[31]</sup>研究表明适宜水分灌溉能够增加大豆(*Glycine max*)生物量。唐梅等<sup>[32]</sup>对施用相同磷钾肥的盆栽大豆进行亏水试验,结果表明,苗期轻度水分胁迫处理可提高大豆干物质的积累,而中度和重度亏水则会显著降低其干物质积累。这一结果与本研究相同。本研究结果显示,在不同水分处理下,同一品种紫花苜蓿干草产量大小一般表现为充分灌溉处理 > 轻度水分胁迫处理 > 中度水分胁迫处理,中度水分

胁迫处理下紫花苜蓿干草产量显著低于轻度水分胁迫处理与充分灌溉处理,表明适量的水分亏缺有利于紫花苜蓿干物质的积累,这与乌兰等<sup>[33]</sup>的研究结果相近。同一品种紫花苜蓿的鲜草产量在充分灌溉处理下均高于轻度水分胁迫处理和中度水分胁迫处理,但充分灌溉处理与轻度水分胁迫处理下的紫花苜蓿鲜草产量差异不显著,这表明轻度水分胁迫处理不会显著抑制紫花苜蓿鲜草产量,但中度水分胁迫处理会严重影响紫花苜蓿鲜草产量,轻度水分胁迫处理有利于促进紫花苜蓿的物质积累。其中WL319HQ鲜、干草产量在充分灌溉与轻度水分胁迫处理下均最高。此外,水分生产力是评估节水效果的有力指标,是节水灌溉技术发展的首要任务。本研究结果显示,轻度水分胁迫处理使灌溉水分生产力有显著提升,不同苜蓿品种均在轻度水分胁迫处理下灌溉水分生产力最高,苜蓿品种相同时,水分生产力随着灌溉量的增加呈现先增加后降低的变化趋势,其中WL319HQ的水分生产力在轻度水分胁迫处理下达到峰值,因此,

WL319HQ在轻度水分胁迫处理表现出良好的产量特性,表明WL319HQ在轻度水分胁迫处理下更有利于生产种植。

紫花苜蓿生态与栽培条件的最终表现是营养品质,但也受遗传与环境共同作用。紫花苜蓿营养品质的综合价值由其营养成分的种类和数量决定,粗蛋白与纤维含量对营养品质有决定性作用,牧草粗蛋白含量反映牲畜食用牧草时牧草所能提供的养份与能量价值,纤维含量影响牧草的采食量与瘤胃降解率,纤维含量越高牧草适口性越差。目前在美国市场上出售的豆科牧草(苜蓿),主要根据其粗蛋白质含量进行等级划分,按质论价<sup>[34]</sup>。另外,粗脂肪也是决定紫花苜蓿营养品质的重要指标,是牲畜不可或缺的热能来源。董国峰等<sup>[35]</sup>发现,田间持水量在60%~65%时紫花苜蓿营养价值最高。姜渊博等<sup>[36]</sup>对混播草地水分调亏的研究中发现适当降低水分能提高牧草粗蛋白含量。本研究结果表明,同一品种紫花苜蓿在不同水分处理下粗蛋白与粗脂肪含量大小表现出轻度水分胁迫处理>充分灌溉处理>中度水分胁迫处理,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量却与之相反。这与文霞等<sup>[37]</sup>和杨建军等<sup>[38]</sup>对水分调亏处理下紫花苜蓿营养品质的研究结果一致。中度水分胁迫(土壤含水量为田间持水量的40%~50%)会使植物水分缺失严重,生长发育受阻,营养得不到富集,甚至停止生长进入休眠状态<sup>[39]</sup>。寇丹等<sup>[40]</sup>发现滴灌下紫花苜蓿粗蛋白含量随水分亏缺加剧逐渐增大,虽与本试验结论有所出入,但都能表明适当的降低灌溉水分能提高紫花苜蓿的营养价值。相对饲喂价值一般用来衡量牧草的饲用质量,而酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量直接决定着牧草相对饲喂价值的大小,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量越高,相对饲喂价值就越小,牧草可消化的干物质越低。就不同品种紫花苜蓿营养品质比较发现WL319HQ粗蛋白与粗脂肪含量在轻度水分胁迫处理下最高,纤维含量却显著低于其它处理,相对饲喂价值较高。随着水分胁迫的进一步加剧,中度水分胁迫处理可能会影响了作物正常生理代谢,延缓作物生长发育,因而酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量就会提高,紫花苜蓿的相对饲喂价值降低,不利于提高紫花苜蓿营养品质。因此,WL319HQ在轻度

水分胁迫处理(田间持水量的55%~65%)下能充分发挥灌区草地高产优质节水的综合效益。

## 4 结论

产量总体表现为:轻度水分胁迫处理>充分灌溉处理>中度水分胁迫处理,充分灌溉和轻度水分胁迫处理下产量最高的均为WL319HQ,中度水分胁迫处理下甘农3号的产量最高。WL319HQ在轻度水分胁迫时,粗蛋白、粗脂肪含量和相对饲喂价值最高,纤维含量低。此外,水分生产力大小总体表现为:轻度水分胁迫处理>充分灌溉处理>中度水分胁迫处理,轻度水分胁迫处理下水分生产力提高了15%,中度水分胁迫处理下降低了10%,轻度水分胁迫处理下,WL319HQ水分生产力在品种间达到最高。

因此,甘肃荒漠灌溉区在轻度水分胁迫(田间持水量的55%~65%)下种植WL319HQ有利于提高灌区草地生态生产力。

### 参考文献:

- [1] 南丽丽,师尚礼,郭全恩,等. 甘肃荒漠灌区播量和行距对紫花苜蓿营养价值的影响[J]. 草业学报,2019,28(1): 108-119.
- [2] 李凤民. 关于加快甘肃草产业发展的对策研究[J]. 发展,2021,364(2):38-46.
- [3] 吴芳,师尚礼,康文娟,等. 薊马取食诱导对紫花苜蓿次生代谢物含量及防御酶活性的影响[J]. 草原与草坪,2022,42(6):21-27.
- [4] 王和洲,张晓萍. 调亏灌溉条件下的作物水分生态生理研究进展[J]. 灌溉排水,2001(4):73-75.
- [5] 康绍忠,蔡焕杰. 作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [6] 刘小飞,费良军,段爱旺,等. 调亏灌溉对冬小麦产量和品质及其关系的调控效应[J]. 水土保持学报,2019,33(3): 276-282+291.
- [7] Chalmers D J. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning [Trickle irrigation][J]. Journal—American Society for Horticultural Science (USA),1981,106.
- [8] 曾德超. 果树调亏灌溉密植节水增产技术的研究与开发[M]. 北京:北京农业大学出版社,1994.
- [9] 蔡大鑫,沈能展,崔振才. 调亏灌溉对作物生理生态特征影响的研究进展[J]. 东北农业大学学报,2004(2):



- 239—243.
- [10] 张喜英,由懋正,王新元. 冬小麦调亏灌溉制度田间试验研究初报[J]. 生态农业研究,1998(3):35—38.
- [11] 刘法涛,杨志忠,条了汉. 地下水位与紫花苜蓿根深关系及其灌溉方法[J]. 中国草地,1995(3):48—49+73.
- [12] Chalmers D J, Burge G, Jerie P H, *et al.* The mechanism of regulation of 'Bartlett' pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*, 1986, 111(6):904—907.
- [13] Blackman P G, Davies W J. Root to Shoot Communication in Maize Plants of the Effects of Soil Drying [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1985(1):39—48.
- [14] Chalmers D J, Mitchell P D, Jerie P H. The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. [J]. *Acta Horticulturae*, 1984(146):143—150.
- [15] 康兴奎. 苜蓿营养生长和生殖生长对水分调控的响应[J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57(12):48—52+56.
- [16] 刘纯. 西北旱区紫花苜蓿耗水量对品质的影响[D]. 北京林业大学, 2021
- [17] 刘纯,王亚东,崔鹏飞,等. 西北旱区不同灌水下限对紫花苜蓿生长与光合特征的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(4):1—12.
- [18] 王泽义. 河西绿洲冷凉灌区板蓝根对膜下滴灌水分调亏的响应[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2019.
- [19] 郭相平,康绍忠. 调亏灌溉—节水灌溉的新思路[J]. 西北水资源与水工程, 1998(4):22—26.
- [20] 董国锋. 调亏灌溉对苜蓿生长、生理指标及其产量效应的影响研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2006.
- [21] 孟兆江,刘安能,庞鸿宾,等. 夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究[J]. 农业工程学报, 1998(4):94—98.
- [22] 海涛,陆猛,周文杰,等. 基于LPWAN物联网与专家系统的果园精准灌溉研究[J]. 中国农村水利水电, 2021(9):128—133.
- [23] 中国国家标准化管理委员会. 饲料粗蛋白质测定方法 GB 6432—94[S]. 北京:中国标准出版社, 2000.
- [24] Guitjens J C. Erratum: "Alfalfa Irrigation during Drought" (November/December, 1993, Vol. 119, No. 6 [J]. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, 1994, 120(4): 836—836.
- [25] 杨秀芳,梁庆伟,娜日苏,等. 年刈割次数对科尔沁沙地不同休眠级紫花苜蓿品种产量、品质和越冬率的影响[J]. 草地学报, 2019, 7(3):637—643.
- [26] 徐丽君,杨桂霞,陈宝瑞,等. 不同苜蓿(品)种营养价值的比较[J]. 草业科学, 2013, 30(4):566—570.
- [27] Wissuwa M, Smith S E. Morphological and Physiological Characteristics Associated with Tolerance to Summer Irrigation Termination in Alfalfa [J]. *Crop Science*, 1997, 37.
- [28] 袁淑芬,陈源泉,闫鹏,等. 水分胁迫对华北春玉米生育进程及物质生产力的影响[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(5):22—28.
- [29] 韩占江,于振文,王东,等. 调亏灌溉对冬小麦耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11):2671—2677.
- [30] 王艳,张佳宝,张丛志,等. 不同灌溉处理对玉米生长及水分利用效率的影响. 灌溉排水学报, 2008, 27(5): 41—44.
- [31] 白伟,孙占祥,刘晓晨,等. 苗期调亏灌溉对大豆生长发育和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 50—53.
- [32] 唐梅,李伏生,张富仓,等. 不同磷钾条件下苗期适度水分亏缺对大豆生长及干物质积累的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006(5):109—114.
- [33] 乌兰,石晓华,杨海鹰,等. 苗期水分亏缺对马铃薯产量形成的影响[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(2):80—84.
- [34] 张春梅,王成章,胡喜峰,等. 紫花苜蓿的营养价值及应用研究进展[J]. 中国饲料, 2005(1):15—17.
- [35] 董国锋,成自勇,张自和,等. 调亏灌溉对苜蓿水分利用效率和品质的影响. 农业工程学报, 2006, 22(5): 201—203.
- [36] 姜渊博,齐广平,银敏华,等. 水分调控与种植模式对人工草地土壤水分及产量品质的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36(6):260—270.
- [37] 文霞,侯向阳,穆怀彬. 灌水量对京南地区紫花苜蓿生产能力的影晌[J]. 草业科学, 2010, 27(04):73—77.
- [38] 杨建军. 苜蓿经济性状与水分生态环境关系研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2004.
- [39] Bauder J W, Bauer A, Ramirez J M, *et al.* Alfalfa Water Use and Production on Dryland and Irrigated Sandy Loam [J]. *Agronomy Journal*, 1978, 70(1):95—99.
- [40] 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.

# Effects of regulated deficit irrigation on biomass and nutrient quality of different alfalfa varieties

NAN Pan, SHI Shang-li\*

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** **[Objective]** In order to explore the most suitable water-saving irrigation technology for alfalfa production in the desert irrigation area of Gansu province, this study examined the effects of regulated deficit irrigation on above-ground biomass, nutrient quality, and water productivity of different varieties of alfalfa, focusing on the triple goals of high yield, high quality and efficient water conservation. **[Method]** Twelve alfalfa varieties were selected as experimental materials and subjected to three irrigation treatments: moderate water stress (T1: 45%~55% of field water capacity), mild water stress (T2: 55%~65% of field water capacity) and full irrigation (T3: 65%~75% field water capacity). Full irrigation was used as the control. Differences in yield and nutrient indices of the different varieties under these water treatments were observed to identify suitable varieties and irrigation techniques for water-saving alfalfa production in this region. **[Result]** The results indicated that water productivity followed this pattern: mild water stress [23.01 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)] > full irrigation [20 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)] > moderate water stress [18 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)]. Water productivity under mild water stress increased by 15%, while it decreased by 10% under moderate water stress. Among the varieties, WL319HQ achieved the highest water productivity under all three water treatments, with the highest productivity under mild water stress, outperforming the other two treatments by 3.8 and 5.7 kg/(hm<sup>2</sup>·mm), respectively. Under full irrigation and mild water stress, WL319HQ also had significantly higher yields compared to the other tested varieties. However, under moderate water stress, the total yield of alfalfa was significantly lower than under the other two treatments ( $P < 0.05$ ), with Gannong 3 achieving the highest yield under these conditions. Across all experimental groups, WL319HQ had the highest crude protein and crude fat contents, the lowest acid detergent fiber and neutral detergent fiber contents, and the highest relative feeding value, significantly outperforming other varieties under other water stress treatments. **[Conclusion]** Planting WL319HQ under mild water stress (55%~65% of field water capacity) in the desert irrigation areas of Gansu was beneficial for improving grassland ecological productivity.

**Key words:** *Medicago sativa*; adjusted deficit irrigation; yield; nutrients

(责任编辑 康宇坤)