

## 不同灌溉量对蒙古黄芪土壤水分、 生长发育及产量品质的影响

胡力文<sup>1</sup>, 纪晓玲<sup>1</sup>, 韩翠<sup>2</sup>, 张雄<sup>1</sup>, 杨腾<sup>1</sup>, 曹敏杰<sup>1</sup>, 毛端<sup>1</sup>, 商志盈<sup>1</sup>, 高亚梅<sup>2</sup>

(1. 榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000; 2. 榆林市中药材品质鉴定与检测检验重点实验室, 陕西 榆林 719000)

**摘要:**为明确陕北旱区蒙古黄芪高产优质栽培的灌溉制度, 探究不同灌溉量对蒙古黄芪品质及产量的影响, 以蒙古黄芪为试验材料, 设置灌溉量分别为 5 240(W1)、4 190(W2)、3 140(W3)、2 090(W4)、1 040(W5)、0 (CK) m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 共 6 个处理, 分析土壤含水量及蒙古黄芪的干物质量及根冠比、农艺性状、产量、品质的差异性变化。结果表明, 0~60 cm, W1、W2、W3、W4、W5 处理下的土壤含水量较 CK 分别提高 50.1%、30%、19.8%、19.6%、14.6%; W2、W3、W5 处理下的收获期根冠比较 CK 分别提高 61%、38%、36%; 荚果期蒙古黄芪株高、茎粗、冠幅随灌溉量的增加而增加, 在 W2 处理时达到最高, 随后开始下降; W2 处理产量较 CK 显著提高 53%; 在黄芪品质方面, W3 处理黄芪甲苷含量为 0.131%, 毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量为 0.22%, 均高于其他处理。相关性分析结果发现, 根干质量、根鲜质量、茎叶干质量、冠幅均与产量呈显著正相关。综上, 陕北旱区平栽蒙古黄芪高产优质的适宜灌溉量为 3 140~4 190 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 蒙古黄芪; 灌溉量; 膜际栽培; 土壤含水量; 产量; 品质

中图分类号: R282.71

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)05-0044-08

### The Influence of Different Irrigation Amounts on Soil Moisture, Growth and Development, Yield, and Quality of *Astragalus mongholicus*

HU Liwen<sup>1</sup>, JI Xiaoling<sup>1</sup>, HAN Cui<sup>2</sup>, ZHANG Xiong<sup>1</sup>, YANG Teng<sup>1</sup>,

CAO Minjie<sup>1</sup>, MAO Duan<sup>1</sup>, SHANG Zhiying<sup>1</sup>, GAO Yamei<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences, Yulin University, Yulin 719000, China; 2. Yulin Key Laboratory of

Quality Appraisal and Testing of Traditional Chinese Medicine, Yulin 719000, China)

**Abstract:** In order to clarify the irrigation system of high yield and high quality cultivation of *Astragalus mongholicus* in arid regions in northern Shaanxi, explore the influence of different irrigation amounts on the quality and yield of *Astragalus mongholicus*. In this study, with *Astragalus mongholicus* as the experimental material, six treatments of irrigation amounts including 5 240(W1), 4 190(W2), 3 140(W3), 2 090(W4), 1 040(W5), and 0(CK) m<sup>3</sup>/ha were set, and the differences in soil water content, dry matter mass, root crown ratio, agronomic traits, yield, and quality of *Astragalus mongholicus* were analyzed. The results indicated that 0-60 cm, the soil water content in the treatments of W1, W2, W3, W4, and W5 increased by 50.1%, 30%, 19.8%, 19.6%, and 14.6%, respectively compared with CK. Root crown ratio at harvest stage in the treatments of W2, W3, and W5 increased by 61%, 38% and 36% compared with CK, respectively. The plant height, stem thickness and crown amplitude of *Astragalus mongholicus* increased with the increase of irrigation amount, the values reached the maximum at W2 treatment, then declined. Yield in the treatments of W2 increased by 53% compared with CK. In terms of the quality of *Astragalus mongholicus*, in treatment W3, the Astragalus methylside content was 0.131%, the Myislavone glucoside content was 0.22%, they were higher than those in other treatments. The correlation analysis found that root dry weight, root fresh weight, stem and leaf dry weight, and crown amplitude were significantly positively correlated with yield. In conclusion, the suitable irrigation amounts of high yield and high quality of *Astragalus mongholicus* planted in the arid regions in northern Shaanxi was 3 140-4 190 m<sup>3</sup>/ha.

**Key words:** *Astragalus mongholicus*; irrigation amounts; intermembrane cultivation; soil water content; yield; quality

收稿日期: 2024-05-30

基金项目: 中央引导地方科技发展基金陕西省工程技术研究中心项目(2022ZY2-GCZX-05); 陕西省农业农村厅科技创新驱动项目(2022NYT01); 榆林市科技局产学研合作项目(CXY-2021-83); 府谷县旱作农业科技成果转移转化示范基地建设项目(H2023060049); 府谷县主要粮食作物膜际栽培技术推广项目(H2023060048)

作者简介: 胡力文(1995-), 男, 四川自贡人, 在读硕士, 研究方向: 中药材栽培生产。

通信作者: 纪晓玲(1971-), 女, 陕西榆林人, 教授, 硕士生导师, 主要从事旱作农业节水技术研究工作。

蒙古黄芪(*Astragalus membranaceus mongholicus*(Bge.)Hsiao)为豆科黄芪属植物,是常用的大宗药材,药用历史悠久,始载于《神农本草经》,应用广泛,素有“十药八芪”之称<sup>[1-2]</sup>。蒙古黄芪的主要产地分布在甘肃、内蒙古、宁夏等省份,这些省份大多属于半干旱区,自然降雨量较少。根类药材的生长与土壤中的水分有着十分密切的联系,水分的多少直接决定根类药材的生长及其有效成分的积累<sup>[3]</sup>。目前,蒙古黄芪在陕北地区的种植过程中缺乏合理的灌溉制度,灌溉的不合理不仅会造成水资源的浪费,而且影响品质与产量。因此,将合理的灌溉制度引入到中药材规范化生产的实际中去,能够有助于实现优质高效生产<sup>[4]</sup>。

已有研究表明,水分缺失会导致作物植株弱小,叶片萎靡,进而影响光合作用,对产量造成影响;水分过多会造成地上部分过度生长,延迟成熟,并引起根系病害<sup>[5-8]</sup>。李金娟等<sup>[9]</sup>在宁夏中宁县以2年生黄芪为试验对象,融合灌溉量、灌溉定额、灌溉次数、灌溉时期进行黄芪耗水量试验,发现宁夏地区灌溉量为 $1\ 125\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 时黄芪株高达到最大,灌溉量为 $5\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 时黄芪产量最高。杨祎辰<sup>[10]</sup>2014年在榆林横山县以蒙古黄芪为对象,在大田试验中采用抽水灌溉的方法研究蒙古黄芪的适宜灌溉量后,发现年灌溉量少于 $1\ 400\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 时会影响蒙古黄芪产量、农艺性状和有效物质含量。贾鑫<sup>[11]</sup>以蒙古黄芪为试验对象,于2013年在内蒙古大学采用盆栽种植研究持续性干旱胁迫对蒙古黄芪生长的影响时发现,干旱程度越重,黄芪生长越受到抑制,黄芪甲苷含量会随着干旱程度的增加而增加,并在12 d干旱时达到顶点,随后开始下降。榆

林全市水资源总量为 $3.201\times 10^9\ \text{m}^3$ ,可利用总量为 $1.207\times 10^9\ \text{m}^3$ ,人均水资源量为 $949.77\ \text{m}^3$ ,是我国平均水平的43%,低于世界公认的缺水线 $1\ 000\ \text{m}^3/\text{人}$ ,属资源型缺水地区。灌溉用水是用水大户,其用水量占全市总用水量的70%以上,但目前全市灌溉水利用系数平均仅为0.45,距用水效率规定红线0.55还有一定差距。在水资源缺乏的自然环境下,陕北旱区蒙古黄芪种植还未形成一个明确的灌溉规范,如何在有限的水资源下探索出一个合理的灌溉范围,使蒙古黄芪的规模化种植能够优质优产,是一个亟待解决的问题。因此,找出适合陕北旱区蒙古黄芪合理的灌溉机制变得尤为重要。

本研究通过探究榆林地区适合蒙古黄芪生长的灌溉量,并引入膜际栽培技术,在不同水分梯度下对土壤含水量及蒙古黄芪的干物质量、根冠比、农艺性状、产量、品质进行测定,旨在为陕北旱区的蒙古黄芪合理灌溉、并获得优质高产提供理论依据和数据支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验在陕西省榆林市榆阳区榆林国家现代农业科技示范园进行。试验区( $109^{\circ}79'61''\text{E}$ , $38^{\circ}38'08''\text{N}$ )平均海拔为 $1\ 200\ \text{m}$ ,年平均气温为 $8.5\ ^{\circ}\text{C}$ ,年降水量为 $411.35\ \text{mm}$ ,7—9月为主要降雨时期,年均蒸发量为 $1\ 211\ \text{mm}$ , $\geq 10\ ^{\circ}\text{C}$ 有效积温在 $2\ 100\ ^{\circ}\text{C}$ 以上,年平均日照时间为 $2\ 593.5\sim 2\ 914.4\ \text{h}$ ,气候为温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,日差较大,无霜期为 $134\sim 169\ \text{d}$ 。试验地土壤为黄绵土,土壤基础肥力特征详见表1。

表1 试验地的基础肥力特征  
Tab.1 The basic fertility characteristics of soil in experimental field

碱解氮/(mg/kg) Alkaline hydrolyzable nitrogen	有效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Avaliable potassium	有机质/(g/kg) Organic matter	pH
73.51	24.5	98.1	2.2	8.27

蒙古黄芪生育期5月1日至10月31日的气温和降雨量变化如图1所示。

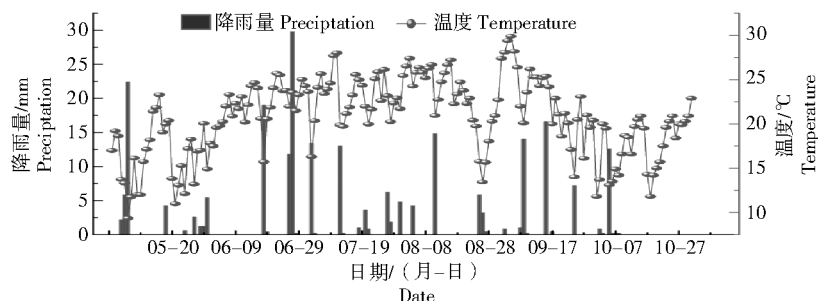


图1 试验地气温和降雨量变化  
Fig.1 Temperature and precipitation changes in the experimental sites

## 1.2 试验材料

普通白地膜采用厚度 0.01 mm、宽 50 cm 的聚乙烯农用地膜(靖边县华伟塑业有限公司)。试验材料为蒙古黄芪种苗,由陕西省榆林市广济堂中药开发有限责任公司提供。

## 1.3 试验设计

试验于 2023 年进行,设置 6 个不同灌溉量:5 240

(W1)、4 190(W2)、3 140(W3)、2 090(W4)、1 040(W5)、0(CK)m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,每个处理之间预留一条宽度 50 cm 的隔离带,3 次重复,小区面积 9 m<sup>2</sup>(3 m×3 m),24 个小区。行距 30 cm、株距 18 cm,施肥量为 N 103 kg/hm<sup>2</sup>、P 156 kg/hm<sup>2</sup>、K 132 kg/hm<sup>2</sup>。其余田间管理与当地保持一致。黄芪不同生育期各处理灌溉量见表 2。

表 2 蒙古黄芪各生育期的灌溉量  
Tab.2 Irrigation amount in each growth stage of *Astragalus mongholicus* m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

处理 Treatment	不同生育期灌溉量分配 Distribution of irrigation amount at different growth stages				合计 Total
	返青期 Seedling establishment stage	花期 Flowering stage	荚果期 Perpod stage	收获期 Harvest stage	
W1	1 049	1 574	2 098	524	5 245
W2	839	1 259	1 679	419	4 196
W3	629	944	1 259	314	3 146
W4	419	629	839	209	2 096
W5	209	314	419	104	1 046
CK	0	0	0	0	0

## 1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤含水量测定 返青期、花期、荚果期、收获期进行测量,每隔 15 d 测定一次,运用土钻法在 0~60 cm 深的土层,每隔 10 cm 取一次样。取样后用铝盒分装并称质量,后放入烘箱 105 ℃ 烘干,再称量。

$$W = (M1 - M2) / (M2 - M) \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $W$  为土壤含水量(%),  $M1$  为鲜土质量和铝盒质量之和(g),  $M2$  为干土质量和铝盒质量之和(g),  $M$  为铝盒质量(g)。

1.4.2 株高、茎粗和冠幅测定 株高用钢尺在返青期、花期、荚果期测定,间隔期为 15 d,每个处理选取 5 株长势一致的蒙古黄芪进行测定。茎粗用游标卡尺在返青期、花期、荚果期测定,每 15 d 测定一次,每个处理选取 5 株长势一致的蒙古黄芪进行测定。冠幅是用米尺或钢尺在返青期、花期、荚果期测定,每 15 d 测定一次,对蒙古黄芪苗的南北和东西方向宽度的平均值,每个处理选长势一致的 5 株苗进行测定。

1.4.3 茎叶鲜/干质量测定 于返青期、花期、荚果期、收获期 4 个时期取样,每个处理采样长势近似的 5 株,用塑封袋装,实验室内进行植株分离茎叶和根并称茎叶鲜质量。用烘干法测定干质量,将其装入牛皮纸袋放入烘箱,105 ℃ 杀青 1 h,再在 80 ℃ 下烘至恒质量,称量干质量。

1.4.4 根鲜/干质量测定 将蒙古黄芪根冲洗干

净,用吸水纸吸干表面的水分,称量根鲜质量,然后 105 ℃ 杀青 1 h,80 ℃ 烘至恒质量或自然阴干称量其干质量。

1.4.5 产量测定 整个试验田按照处理进行分类采样,每个处理取 3 个小区的产值,计算平均值作为对应处理的产量。

1.4.6 品质测定 品质指标包括黄芪甲苷含量、毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量。将烘干的蒙古黄芪样品粉碎过 0.25 mm 筛。黄芪甲苷采用高效液相色谱法测定,以十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂,以乙睛-水(32:68)为流动相,然后利用蒸发光散射检测器检测。理论板数按黄芪甲苷峰计算应不低于 4 000,含黄芪甲苷不少于 0.080%。毛蕊异黄酮葡萄糖苷用紫外分光光度仪进行测定,波长为 260 nm,理论板数按照毛蕊异黄酮葡萄糖苷计算应不低于 3 000,含毛蕊异黄酮葡萄糖苷不得少于 0.020%。

## 1.5 数据处理与分析

采用 SPSS 23.0 单因素检验进行统计分析,双变量分析进行相关性分析;用 Origin 2022 进行折线图、柱状图绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉量对蒙古黄芪土壤含水量的影响

由表 3 可知,将 0~60 cm(将 3 个土层的土壤含水量数据进行综合比较分析),W1~W5 全生育期土壤含水量呈下降趋势,W1、W2、W3、W4、W5 处理较

CK分别增加50.1%、30%、19.8%、19.6%、14.6%,与各处理灌溉量趋势一致。0~20 cm,返青期、花期、荚果期各处理的土壤含水量间没有显著性差异,收获期W1、W2、W3、W4处理的含水量显著高于CK( $P<0.05$ )。20~40 cm,返青期、花期、收获期W1处理的土壤含水均显著高于CK( $P<0.05$ )。相比其他3个时期,荚果期各处理的土壤含水量偏低,可能是由于天气干旱,降雨量较少,水分无法渗入土壤深层。同时,返青期、花期、收获期相比同时期0~20 cm

的土壤含水量更高,原因是平栽蒙古黄芪根部吸水层在0~20 cm,且土壤更深,水分蒸发量相比0~20 cm更少。40~60 cm,返青期、花期W1处理的土壤含水量均显著高于CK( $P<0.05$ ),收获期W5处理的土壤含水量均显著高于CK( $P<0.05$ )。返青期—荚果期,各处理的土壤含水量呈下降趋势,收获期各处理的土壤含水量又开始升高,说明收获期蒙古黄芪耗水量减少。

表3 不同灌溉量下蒙古黄芪各生育期土壤含水量  
Tab.3 Soil water content of each growth stage of *Astragalus mongholicus* under different irrigation amounts %

土壤深度/cm Soil depth	处理 Treatment	返青期 Seedling establishment stage	花期 Flowering stage	荚果期 Perpod stage	收获期 Harvest stage
0~20	W1	11.6±0.010a	8.3±0.013a	7.8±0.004a	11.3±0.013a
	W2	11.4±0.012a	8.0±0.004a	7.5±0.006a	11.6±0.003a
	W3	8.3±0.030a	8.0±0.013a	6.3±0.012a	11.0±0.011a
	W4	11.0±0.020a	8.0±0.009a	6.7±0.007a	10.9±0.006a
	W5	8.6±0.030a	6.0±0.013a	7.6±0.013a	8.4±0.008ab
	CK	7.5±0.040a	6.8±0.008a	6.5±0.012a	6.5±0.010b
20~40	W1	12.8±0.011a	9.9±0.006a	4.5±0.013a	14.0±0.010a
	W2	12.6±0.013ab	8.4±0.004ab	6.9±0.008a	10.9±0.008a
	W3	12.0±0.004ab	7.2±0.007b	4.0±0.010a	11.5±0.012ab
	W4	11.0±0.010ab	8.9±0.002ab	4.0±0.005a	8.5±0.022ab
	W5	10.0±0.010ab	7.7±0.008b	4.2±0.008a	8.7±0.012b
	CK	9.3±0.003b	6.9±0.005b	4.6±0.012a	8.5±0.004b
40~60	W1	11.7±0.012a	8.6±0.013a	4.3±0.012a	7.8±0.011ab
	W2	7.9±0.010b	2.4±0.013b	3.0±0.010a	6.9±0.007ab
	W3	7.9±0.005b	6.1±0.012abc	2.4±0.012a	5.2±0.008ab
	W4	7.9±0.003b	6.5±0.007ab	2.0±0.005a	4.3±0.007b
	W5	7.8±0.007b	6.1±0.010abc	2.9±0.006a	8.0±0.010a
	CK	7.4±0.014b	4.1±0.010bc	2.7±0.014a	4.3±0.013b

注:不同小写字母表示处理间差异达到显著水平( $P<0.05$ )。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated that the differences among treatments reached the significant level( $P<0.05$ ). The same as below.

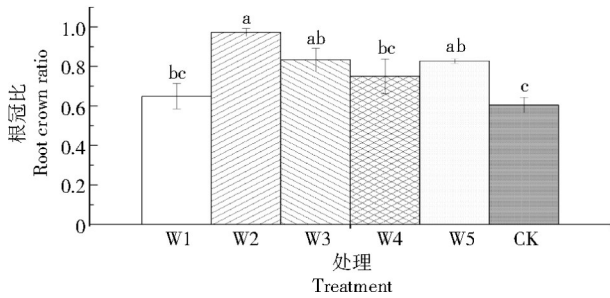
## 2.2 不同灌溉量对蒙古黄芪干物质质量及根冠比与农艺性状的影响

由表4可知,收获期根鲜质量、根干质量W1、W2、W3处理均与CK有显著性差异( $P<0.05$ ),与根系含水量趋势一致,W2处理对比CK分别增加

129%、155%、73%;茎叶鲜质量、茎叶干质量W1、W2处理与CK有显著性差异( $P<0.05$ ),其余处理与CK无显著性差异。从图2可以看出,根冠比W2、W3、W5处理对比CK分别显著增加61%、38%、36%( $P<0.05$ )。

表4 不同灌溉量下蒙古黄芪的干物质质量分析  
Tab.4 Analysis of dry matter mass of *Astragalus mongholicus* under different irrigation amounts g

处理 Treatment	单株根鲜质量 Root fresh weight	单株根干质量 Root dry weight	根系含水量 Root water content	单株茎叶鲜质量 Stem and leaf fresh weight	单株茎叶干质量 Stem and leaf dry weight
W1	175.90±19.78a	84.06±6.98a	91.84±7.85a	205.11±32.25a	70.69±4.61ab
W2	196.41±3.90a	94.82±3.13a	111.59±1.21a	206.71±23.43a	84.58±8.89a
W3	159.49±13.77ab	67.43±4.21b	92.06±10.01a	145.41±6.61ab	60.44±4.11bc
W4	132.71±12.70b	43.87±3.71c	88.84±10.33a	144.35±16.84ab	59.33±5.33bc
W5	94.22±1.24c	41.62±3.59c	52.59±3.77b	129.14±16.76b	52.85±4.19bc
CK	95.60±6.70c	37.17±4.11c	58.43±4.57b	134.51±3.00b	49.10±3.58c



不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著  
The different lowercase letters were significant differences between different treatments at the 0.05 level

图 2 不同灌溉量下蒙古黄芪的根冠比分析  
Fig.2 Root crown ratio analysis of *Astragalus mongholicus* under different irrigation amounts

从表 5 可以看出, 荚果期 W1、W2 处理与 CK 相比株高分别显著增加 14%、16% ( $P < 0.05$ ), 在返青期、花期、荚果期中, W2 处理株高均最高; 花期、荚果期 W1、W2、W3、W4、W5 处理茎粗与 CK 间均有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其中, 在荚果期比 CK 分别增加 41%、48%、35%、26%、24%; 各处理返青期 W1、W2、W3、W4 处理冠幅与 CK 间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 花期 W1、W5 处理冠幅与 CK 间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 荚果期 W2 处理冠幅比 CK 显著增加 21% ( $P < 0.05$ )。

表 5 不同灌溉量下蒙古黄芪的农艺性状分析  
Tab.5 Agronomic trait analysis of *Astragalus mongholicus* under different irrigation amounts

农艺性状 Agronomic trait	处理 Treatment	返青期 Seedling establishment stage	花期 Flowering stage	荚果期 Perpod stage
株高/cm Plant height	W1	19.33±0.57a	49.33±2.33b	69.66±0.33a
	W2	18.66±0.57ab	57.33±0.67a	70.33±0.33a
	W3	17.66±0.57bc	56.33±4.17ab	65.33±0.88ab
	W4	17.33±0.57c	54.66±2.02ab	63.00±1.52b
	W5	13.33±0.57d	50.66±1.20ab	60.33±2.02b
	CK	17.65±0.57bc	54.00±1.73ab	60.66±3.71b
茎粗/mm Stem thick	W1	2.73±0.13ab	3.59±0.04a	7.45±0.05a
	W2	2.97±0.04a	3.36±0.06ab	7.78±0.22a
	W3	2.79±0.27ab	3.21±0.17b	7.09±0.02b
	W4	2.78±0.038ab	3.07±0.06b	6.63±0.12c
	W5	2.55±0.02ab	3.14±0.20b	6.49±0.01c
	CK	2.38±0.23b	2.44±0.01c	5.25±0.04d
冠幅/cm Canopy	W1	16.33±0.72ab	55.83±2.20b	89.00±1.04ab
	W2	17.83±0.83a	60.00±1.40ab	97.66±5.24a
	W3	18.16±0.33a	60.00±1.40ab	88.00±4.16ab
	W4	16.50±0.28ab	61.83±0.30a	85.50±4.76ab
	W5	15.33±0.33bc	51.50±1.00c	86.00±3.12ab
	CK	14.33±0.88c	61.00±0.50a	80.66±0.66b

2.3 不同灌溉量对蒙古黄芪产量和品质的影响

从表 6 可以看出, W2 处理的黄芪产量对比 CK

显著增加 53% ( $P < 0.05$ )。W1、W3、W4、W5 处理的黄芪产量与 CK 无显著差异。

表 6 不同灌溉量下蒙古黄芪的产量和品质分析  
Tab.6 Yield and quality analysis of *Astragalus mongholicus* under different irrigation amounts

指标 Index	W1	W2	W3	W4	W5	CK
产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	6 472.2±956ab	9 166.6±773a	7 444.4±727ab	6 111.1±289b	5 722.2±1361b	5 972.2±924b
黄芪甲苷含量/% Astragalus methylside content	0.125	0.129	0.131	0.115	0.098	0.091
毛蕊异黄酮葡萄糖苷/% Myislavone glucoside content	0.038	0.141	0.225	0.098	0.038	0.014

随着灌溉量的减少, 蒙古黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量呈先增加后减少的趋势。其中, W3 处理含量最高, 黄芪甲苷含量为 0.131%, 毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量为 0.22%; 黄芪甲苷含量 W1、

W2、W3、W4、W5 处理对比 CK 分别增加 37%、41%、43%、26%、7%。这些结果表明适度的减少灌溉量可以促进黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷的累积。CK 黄芪甲苷含量为 0.091%, 毛蕊异黄酮葡

葡萄糖苷含量为0.014%,可知在蒙古黄芪生长过程中,不进行灌溉会对蒙古黄芪品质造成影响。

## 2.4 相关性分析

由表7可知,相关性分析发现根干质量、根鲜

质量、茎叶干质量、冠幅与产量均呈显著正相关( $P<0.05$ );茎叶鲜质量、冠幅、茎粗均与根鲜质量呈显著正相关( $P<0.05$ );根干质量、茎叶干质量、株高均根鲜质量呈极显著正相关( $P<0.01$ )。

表7 蒙古黄芪土壤水分、生长发育性状与产量的相关性分析  
Tab.7 Correlation analysis of soil moisture, growth and development traits, and yield of *Astragalus mongholicus*

指标	Index	YI	RCR	RFW	RDW	SLFW	SLDW	SWC	CA	PH	ST
YI		1									
RCR		0.472	1								
RFW		0.820*	0.296	1							
RDW		0.817*	0.244	0.959**	1						
SLFW		0.597	-0.137	0.872*	0.914*	1					
SLDW		0.853*	0.206	0.932**	0.941**	0.889*	1				
SWC		0.358	0.103	0.799	0.804	0.849*	0.71	1			
CA		0.890*	0.439	0.857*	0.888*	0.740	0.953**	0.614	1		
PH		0.715	0.112	0.970**	0.970**	0.961**	0.928**	0.877*	0.818*	1	
ST		0.695	0.483	0.894*	0.885*	0.766	0.876*	0.857*	0.897*	0.875*	1

注:\*在0.05级别(双尾),相关性显著,\*\*在0.01级别(双尾),相关性极显著。YI.产量;RCR.根冠比;RFW.根鲜质量;RDW.根干质量;SLFW.茎叶鲜质量;SLDW.茎叶干质量;SWC.土壤含水量;CA.冠幅;PH.株高;ST.茎粗。

Note: \* at 0.05(double tail), correlation was significant, \*\* at 0.01(double tail), extremely significant. YI. Yield; RCR. Root crown ratio; RFW. Root fresh weight; RDW. Root dry weight; SLFW. Stem leaf fresh weight; SLDW. Stem leaf dry weight; SWC. Soil water content; CA. Crown amplitude; PH. Plant height; ST. Stem thickness.

## 3 结论与讨论

灌溉量与土壤含水量有紧密联系。梁建萍等<sup>[12]</sup>用于干旱胁迫的方法对蒙古黄芪的生长及次生代谢进行研究,发现水分的缺失会降低蒙古黄芪的苗高及生物量,但会刺激根部生长和次生代谢物的积累。高佩等<sup>[13]</sup>通过研究冬小麦在不同干旱胁迫下的水分利用效率发现,冬小麦各生育阶段耗水量随干旱加重而减少,重旱减少趋势最显著。田清龙等<sup>[14]</sup>通过马铃薯水分试验发现,短时间地减少土壤含水量可以刺激马铃薯的根系活力,增加根系体积与根鲜质量。蒙古黄芪的耗水时期集中在花期至荚果期<sup>[15]</sup>。土壤含水量40~60 cm低于0~40 cm,原因是土壤逐渐由黄绵土转变为沙土,水分渗透速度快,保水能力低,田间持水量低<sup>[3]</sup>。0~60 cm全生育期土壤含水量与灌溉量趋势一致,W1处理灌溉量最多,土壤含水量最大,W3、W4处理灌溉量不同,土壤含水量相近,原因是吸水量随着干旱程度加深而减弱<sup>[13]</sup>。W2处理在产量上最高,W3处理可以刺激蒙古黄芪根系有效成分的累积,综合来看,适宜的灌溉量在3 140~4 190 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>的动态范围内。

水分胁迫会对植物的生理生态过程、生长、形态产生影响,水分匮乏将直接影响到植物的形态建成<sup>[16]</sup>。马凤江等<sup>[17]</sup>对紫花苜蓿进行干旱胁迫试验,

发现其株高、分枝数、叶面积、主根长度、根体积均呈现下降趋势,说明水分的缺失会严重影响紫花苜蓿的生长状态。杨平飞等<sup>[18]</sup>通过对天冬的水分胁迫试验发现,4个不同梯度水分胁迫处理下,株高、主茎粗、块根质量随水分胁迫时间的延长而升高,成正比关系。杨祎辰<sup>[10]</sup>通过对水分干旱胁迫试验发现,由干旱胁迫转变为正常供水,能够显著改善蒙古黄芪的株高、茎粗、根长、根粗。韩凯<sup>[19]</sup>通过设置三个梯度的蒙古黄芪水分胁迫试验发现,蒙古黄芪在35%~40%的田间持水量株高受到显著抑制,生物量在70%~75%的田间持水量最高。株高、茎粗和冠幅是蒙古黄芪重要的农艺性状指标,其干物质的积累与转运直接影响到蒙古黄芪的产量和品质<sup>[20]</sup>。说明适度的干旱胁迫可以促进蒙古黄芪生物量增加,使干物质质量、农艺性状得到提升。本试验中,W1、W2处理灌溉量多,农艺性状和干物质质量高于其余各处理;根冠比W2处理最高,W3处理仅次于W2处理;说明蒙古黄芪在水分充足的条件下,会促进地上部分的生长;适度的干旱胁迫,会促进地下部分的生长。

水分是重要的生态因子之一,是植物进行生理生化活动必需的介质<sup>[21]</sup>。中药材的种植和其他主要粮食作物如玉米、大豆的种植相比处于落后阶段。蒙古黄芪在我国虽然被作为主要经济中草药被

农户广泛种植,但和其他主要粮食作物和经济作物相比,产业化程度和科研基础设施仍有较大差距<sup>[22]</sup>。由于蒙古黄芪等中草药没有统一的生产管理制度,田间管理操作如灌溉不规范,导致蒙古黄芪的产量、质量不能达到高标准,蒙古黄芪种子也出现了混杂现象,使其品质逐渐退化,种植的农户无法有效确保蒙古黄芪品质<sup>[23-24]</sup>。蒙古黄芪成分黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷和蒙古黄芪总多糖是评价蒙古黄芪品质的指标性成分<sup>[25-26]</sup>。在植物生长发育期间,水分具有决定性作用,特别是对根系的生长发育具有调控作用;植物内部有效成分的积累与其所处环境的水分含量关系更为紧密<sup>[3]</sup>。在生长时给予适宜的灌溉量,有利于蒙古黄芪根系生长,产量高,但不利于药效成分的合成。适度的干旱胁迫可以诱导防御与适应机制,增强次生代谢,提高药效成分含量<sup>[27]</sup>。孟繁莹等<sup>[28]</sup>通过对西洋参的研究发现,土壤相对含水量在 80% 的时候对其根的生长最有利,高于(如 100%)或低于(如 40%~60%)这个值对根系的质量增加都有明显影响。李金娟等<sup>[9]</sup>、杨祎辰<sup>[10]</sup>、韩凯<sup>[19]</sup>分别通过盆栽试验和大田试验在榆林、宁夏等西北干旱地区进行不同水分梯度试验,结果表明蒙古黄芪的产量、品质与灌溉量呈正相关<sup>[29]</sup>。本试验中,产量与土壤含水量无相关性,原因是产量在 W2 处理处出现拐点,W1 处理灌溉量多,土壤含水量多,导致产量下降。不同灌溉量对蒙古黄芪品质和产量有明显影响。通过对蒙古黄芪产量统计分析可以得出,W2 处理高于各项处理,与 W4、W5、CK 有显著性差异,与农艺性状、干物质量趋势一致。当灌溉量超过 W2 处理时,土壤水分过多,对根部产生影响,造成产量下降。黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷作为蒙古黄芪品质的主要指标,由表 5 可知,W3 处理含量最高,在轻度干旱条件下,根系为了寻找水分,将生长中心下移到根部,促成了根系同化物的合成<sup>[30]</sup>。

本试验中,在不同的灌溉量下,蒙古黄芪的产量、品质、生长发育以及土壤水分呈现出不同的变化趋势。产量、农艺性状、干物质量、根冠比随着灌溉量的增加而增加,在 W2 处理(4 190 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)时达到最大,随后增加灌溉量则降低;干旱的环境有利于黄芪品质的积累,当灌溉量在 W3 处理(3 140 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)时,黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷的积累量高于其他各个处理;土壤含水量与灌溉量的趋势保持一致。综上,陕北旱区的黄芪种

植中,将灌溉量控制在 3 140~4 190 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的动态范围内,可以兼顾蒙古黄芪的产量与品质。

#### 参考文献:

- [1] 张星华. 黄芪应用的历史沿革[J]. 江西中医药, 2008, 39(2): 43. ZHANG X H. The history of Astragalus application[J]. Jiangxi Traditional Chinese Medicine, 2008, 39(2): 43.
- [2] 秦雪梅, 李震宇, 孙海峰, 等. 我国黄芪药材资源现状与分析[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(19): 3234-3238. QIN X M, LI Z Y, SUN H F, et al. Status and analysis of *Astragalus radix* resource in China[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2013, 38(19): 3234-3238.
- [3] 高扬, 梁宗锁. 水分对根类中药材根系生长及有效成分积累的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2004, 18(3): 10-15. GAO Y, LIANG Z S. Effect of water on root system growth of medicinal plants and accumulation of effective ingredient in their roots[J]. Research and Practice of Chinese Medicines, 2004, 18(3): 10-15.
- [4] 李隆云, 卫莹芳, 赵会礼, 等. 21 世纪初的中药栽培研究[J]. 中国中医药科技, 2000, 7(4): 246-248. LI L Y, WEI Y F, ZHAO H L, et al. Study on cultivation of traditional Chinese medicine in the early 21st century[J]. Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology, 2000, 7(4): 246-248.
- [5] ROUHI V, SAMSON R, LEMEURE R, et al. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 59(2): 117-129.
- [6] 信龙飞, 娄闯, 冀保毅, 等. 干旱胁迫对桔梗光合作用和生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(8): 69-77. XIN L F, LOU C, JI B Y, et al. Effects of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of *Platycodon grandiflorum*[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(8): 69-77.
- [7] SINGH S K, RAJA REDDY K. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata*[L.]Walp.) under drought[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2011, 105(1): 40-50.
- [8] 冯晓丽, 梁宗锁, 李国峰. 水分对玄参地上部生长及叶片保护酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(8): 229-234. FENG X L, LIANG Z S, LI G F. Effects of soil water content on the growth of the overground parts and antioxidant capability in leaves of *Scrophularia ningpoensis* Hems[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2008, 36(8): 229-234.
- [9] 李金娟, 陈鸿, 徐利岗. 干旱区黄芪耗水量及灌溉制度研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15645-15648. LI J J, CHEN H, XU L G. Research of *Astragalus mongholicus* water consumption and irrigation system in arid region[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(32): 15645-15648.
- [10] 杨祎辰. 榆林沙地蒙古黄芪耗水特性及生长发育的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. YANG Y C. Study on Water consumption characteristics and growth development of *Mongolia astragalus* in Yulin sandy

- land[D]. Yangling:Northwest A & F University, 2015.
- [11] 贾鑫. 蒙古黄芪对干旱胁迫的响应及分子应答机制研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2016.  
JIA X. The Study of the response and the molecular mechanisms of *Astragalus membranaceus* BGE. VAR. *mongolicus* (BGE.) to drought stress[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2016.
- [12] 梁建萍, 贾小云, 刘亚令, 等. 干旱胁迫对蒙古黄芪生长及根部次生代谢物含量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(14): 4415-4422.  
LIANG J P, JIA X Y, LIU Y L, et al. Effects of drought stress on seedling growth and accumulation of secondary metabolites in the roots of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): 4415-4422.
- [13] 高佩, 王怡宁, 吕海深, 等. 淮北地区干旱胁迫对冬小麦不同土壤中生长及水分利用效率影响与差异性分析[J]. 节水灌溉, 2023(6): 110-116.  
GAO P, WANG Y N, LÜ H S, et al. Effect and difference of drought stress on growth and water use efficiency of winter wheat in different soil in Huaibei area[J]. Water Saving Irrigation, 2023(6): 110-116.
- [14] 田清龙, 张新永, 包媛媛, 等. 不同土壤含水量对马铃薯块茎膨大期生理特性和部分抗逆基因的影响[J/OL]. 分子植物育种: 1-26.  
TIAN Q L, ZHANG X Y, BAO Y Y, et al. The effects of different soil water content on the physiological characteristics and some stress resistance genes of potato tubers[J/OL]. Molecular Plant Breeding: 1-26.
- [15] THOMAS S C, 刘春华. 土壤水分对西洋参生长的影响[J]. 特产研究, 2000, 22(4): 60-62.  
THOMAS S C, LIU C H. Effect of soil moisture on the growth of American ginseng[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2000, 22(4): 60-62.
- [16] 徐蓉蓉, 高静, 任炳浩, 等. 温度对干旱、盐胁迫下两种黄芪属种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 2930-2943.  
XU R R, GAO J, REN B H, et al. Effects of temperature on seed germination and seedling growth of two *Astragalus* species under drought and salt stresses[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(9): 2930-2943.
- [17] 马凤江, 杨姝, 李丽娜, 等. 6个紫花苜蓿品种种子萌发和生长对干旱胁迫的响应[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(18): 37-41, 45.  
MA F J, YANG S, LI L N, et al. Responses of seed germination and growth of six alfalfa cultivars to drought stress[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(18): 37-41, 45.
- [18] 杨平飞, 刘筱, 杨丽丽, 等. 水分胁迫与复水对天冬农艺性状的影响[J]. 农技服务, 2023, 40(10): 39-42.  
YANG P F, LIU X, YANG L L, et al. Effects of water stress and rehydration on agronomic traits of *Asparagus*[J]. Agricultural Technology Service, 2023, 40(10): 39-42.
- [19] 韩凯. 水分胁迫对3种黄芪抗旱特性及黄芪甲苷含量的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2010.  
HAN K. Physiological characteristics and Astragaloside IV of three provenances of *Astragalus* under water stress[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010.
- [20] 张英英, 施志国, 魏廷邦, 等. 河西干旱区蒙古黄芪干物质积累及养分吸收规律研究[J]. 中药材, 2021, 44(1): 13-18.  
ZHANG Y Y, SHI Z G, WEI T B, et al. Study on the rules of dry matter accumulation and nutrient absorption of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* in Hexi arid area[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2021, 44(1): 13-18.
- [21] 阎秀峰. 植物次生代谢生态学[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 639-640, 622.  
YAN X F. Ecology of plant secondary metabolism[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(5): 639-640, 622.
- [22] 高微微, 赵杨景, 王玉萍, 等. 我国药用植物栽培地的可持续利用研究[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(20): 1665-1669.  
GAO W W, ZHAO Y J, WANG Y P, et al. A review of research on sustainable use of medicinal plants cropland in China [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2006, 31(20): 1665-1669.
- [23] 王海平. 中草药黄芪栽培技术分析[J]. 农家参谋, 2021(3): 43-44.  
WANG H P. Analysis of cultivation techniques of Chinese herbal medicine *Astragalus membranaceus*[J]. The Farmers Consultant, 2021(3): 43-44.
- [24] 杨掌法. 黄芪种植中常见问题与改进策略[J]. 种子科技, 2021, 39(9): 54-55.  
YANG Z F. Common problems and improvement strategies in astragalus planting[J]. Seed Science & Technology, 2021, 39(9): 54-55.
- [25] 宋诗娟, 雷振宏, 郭旭等. 不同产地蒙古黄芪的非靶向代谢组学分析[J]. 山西农业科学, 2024, 52(1): 43-54.  
SONG S J, LEI Z H, GUO X, et al. Non-targeted metabolomics analysis of astragalus membranaceus var. mongholicus from different origins[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(1): 43-54.
- [26] 张璇. 不同生长方式对蒙古黄芪中异黄酮类成分积累的影响与机制研究[D]. 太原:山西大学, 2021.  
ZHANG X. Effects of different growth patterns on the accumulation of isoflavones in *Astragalus mongholicus* and its mechanism[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2021.
- [27] 胡娅婷, 徐志超, 田亚, 等. 大田不同水分条件对蒙古黄芪生长及品质的影响[J]. 世界中医药, 2020, 15(9): 1285-1290.  
HU Y T, XU Z C, TIAN Y, et al. Effects of different water contents in the field on the growth and quality of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*[J]. World Chinese Medicine, 2020, 15(9): 1285-1290.
- [28] 孟繁莹, 王铁生, 王化民, 等. 西洋参栽培生理研究: I. 西洋参水分生理特性的研究[J]. 中草药, 1993, 24(7): 365-368, 390.  
MENG F Y, WANG T S, WANG H M, et al. Studies on culture physiology of American ginseng (*Panax quinquefolius*) I. studies on characteristics of water physiology in American ginseng[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1993, 24(7): 365-368, 390.
- [29] 樊晓康. 春玉米耗水特性 产量及水分利用效率的相关性研究[J]. 农业技术与装备, 2021(12): 21-24, 26.  
FAN X K. Study on the correlation of water consumption characteristics yield and WUE of spring maize[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2021(12): 21-24, 26.
- [30] 李芳兰, 包维楷, 吴宁. 白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5406-5416.  
LI F L, BAO W K, WU N. Morphological and physiological responses of current *Sophora davidii* seedlings to drought stress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5406-5416.