

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.01.035

引用格式:于焱,唐芳,徐静,等.不同栽培措施对达乌里黄耆牧草产量及品质的影响[J].草地学报,2026,34(1):366—376  
YU Yao, TANG Fang, XU Jing, et al. The Impact of Different Cultivation Measures on the Yield and Quality of *Astragalus dahuricus* Forage[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(1):366—376

## 不同栽培措施对达乌里黄耆牧草产量及品质的影响

于焱<sup>1</sup>, 唐芳<sup>1\*</sup>, 徐静<sup>2\*</sup>, 伊风艳<sup>3</sup>, 于浩浩<sup>1</sup>, 黄伟业<sup>1</sup>, 杜柯<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学草业学院/内蒙古自治区草原保护生态学重点实验室/农业部饲草栽培、加工与高效利用重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010010; 2. 内蒙古自治区林业和草原种苗总站, 内蒙古呼和浩特 010020; 3. 内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古呼和浩特 010031)

**摘要:**为优化达乌里黄耆 [*Astragalus dahuricus* (Pall.) DC.] 人工栽培模式, 本研究以内蒙古浑善达克沙地野生驯化种为材料, 采用三因素四水平正交试验设计, 探究行距 (40, 50, 60, 70 cm)、播种量 (10, 15, 20, 25 kg·hm<sup>-2</sup>) 和氮磷钾复合肥施用量 (105, 210, 315, 420 kg·hm<sup>-2</sup>) 对其产量及品质的影响。结果表明, 行距对草产量的效应最大 (行距 > 播种量 > 施肥量), 由正交试验极差分析筛选出最优草产量栽培组合为, 40 cm 行距、25 kg·hm<sup>-2</sup> 播种量和 315 kg·hm<sup>-2</sup> 施肥量, 在此组合下鲜干草产量最高; 不同栽培措施对中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗蛋白、粗灰分、茎叶比及粗脂肪含量无显著影响。但鉴于牧草品质在生产实践中的重要性, 通过熵权法综合评价品质指标与草产量, 最终筛选出 50 cm 行距、25 kg·hm<sup>-2</sup> 播种量和 420 kg·hm<sup>-2</sup> 施肥量为兼顾产量与品质的最优栽培模式。本研究为达乌里黄耆规模化种植提供了科学依据, 对提升北方沙地牧草生产效益具有重要意义。

**关键词:**达乌里黄耆; 行距; 播种量; 施肥量; 草产量; 草品质

中图分类号:S54

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)01-0366-11

## The Impact of Different Cultivation Measures on the Yield and Quality of *Astragalus dahuricus* Forage

YU Yao<sup>1</sup>, TANG Fang<sup>1\*</sup>, XU Jing<sup>2\*</sup>, YI Feng-yan<sup>3</sup>, YU Hao-jie<sup>1</sup>, HUANG Wei-ye<sup>1</sup>, DU Ke<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Key Laboratory of Grassland Protection Ecology, Key Laboratory of Forage Cultivation, Processing and High Efficient Utilization of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Grassland Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 2. Forestry and Grassland Seedling Station of Inner Mongolia Autonomous region, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China; 3. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China)

**Abstract:** To optimize the artificial cultivation model of *Astragalus dahuricus* (Pall.) DC., this study used a wild domesticated variety from the Hunshandak Sandy Land in Inner Mongolia as material, and employed a three-factor four-level orthogonal experimental design to investigate the effects of row spacing (40, 50, 60, 70 cm), seeding rate (10, 15, 20, 25 kg·hm<sup>-2</sup>), and the application amount of nitrogen-phosphorus-potassium compound fertilizer (105, 210, 315, 420 kg·hm<sup>-2</sup>) on yield and quality. Results showed that row spacing had the greatest effect on forage yield, with the order of influence being row spacing > seeding rate > fertilizer application rate. The orthogonal experiment range analysis identified the optimal cultivation combination for forage yield as 40 cm row spacing, 25 kg·hm<sup>-2</sup> seeding rate, and 315 kg·hm<sup>-2</sup> fertilizer application rate, under which the fresh and dry forage yields were the highest. Different cultivation measures had no significant effects on the

收稿日期:2025-02-17; 修回日期:2025-04-14

基金项目:中央草原生态保护修复治理补助项目“浑善达克野生草品种培育和生产抚育”(RZ2200002252); 内蒙古重点实验室开放课题“优质饲草种质资源鉴定评价与新种质创制”(2025KYPT0148); 内蒙古农业大学高层次人才引进科研启动项目(NDGCC2016-18)资助

作者简介:于焱(2000-), 男, 汉族, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事牧草种质资源与育种研究, E-mail: 15147013551@163.com; \*通信作者 Author for correspondence, E-mail: fta223@imau.edu.cn; cnnmglczxj@163.com

contents of Neutral detergent fiber, Acid detergent fiber, Crude protein, Coarse ash, Stem-Leaf Ratio and Ether extract content. However, given the critical role of forage quality in production systems, a comprehensive evaluation integrating quality indices and yield was performed using the entropy weight method. The optimal cultivation regime balancing yield-quality synergy was ultimately established as: 50 cm row spacing, 25 kg·hm<sup>-2</sup> seeding rate, and 420 kg·hm<sup>-2</sup> fertilization rate. This study provides a scientific basis for the large-scale cultivation of *A. dahuricus*, and is of significant importance for improving forage production efficiency in the sandy lands of northern China.

**Key words:** *Astragalus dahuricus*; Row spacing; Seeding rate; Fertilizer amount; Forage yield; Forage quality

在全球气候变化加剧和畜牧业转型升级的双重背景下,优质牧草的稳定生产已成为保障草食畜牧业可持续发展的关键<sup>[1]</sup>。豆科牧草因其高蛋白、高生物固氮能力<sup>[2]</sup>及改良土壤的生态功能<sup>[3]</sup>,在牧草产业中占据重要地位。达乌里黄耆[*Astragalus dahuricus* (Pall.) DC.],又名兴安黄耆,是豆科黄芪属一年或二年生草本植物,为我国北方草原区的优良乡土牧草之一。其植物富含蛋白质、矿物质和维生素,营养价值高,适口性好,全株皆可作饲料,深受家畜喜爱,因此有着“驴干粮”的别称<sup>[4-5]</sup>。尽管达乌里黄耆[*A. dahuricus* (Pall.) DC.]在内蒙古浑善达克沙地等区域具有广泛的天然分布,但目前尚未建立系统化的人工种植技术体系。现有研究多集中于其药用价值<sup>[6-7]</sup>,而关于其作为牧草的产量潜力与饲用品质的研究近乎空白。

与紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、箭筈豌豆(*Vicia sativa* L.)等豆科牧草相比,达乌里黄耆[*A. dahuricus* (Pall.) DC.]的生长习性、资源竞争策略及品质形成机制尚不明确。例如,其是否通过密植实现高产而不显著牺牲品质?何种栽培措施可以实现高产?这些问题亟待通过系统试验予以解答。此外,达乌里黄耆的短生命周期(一至二年生)对栽培管理的时效性提出了更高要求,如何在有限生长周期内实现产量与品质的最优配置,是实际生产中的核心难点。

现有研究表明,牧草的产量和品质受到众多因素的综合影响,品种特性<sup>[8]</sup>、种植密度<sup>[9]</sup>和施肥量<sup>[10]</sup>等都是其中的关键因素。牧草产量方面,在箭筈豌豆(*V. sativa* L.)的研究中显示高播量、窄行距有利于获得较高的鲜草产量<sup>[11-12]</sup>,在蒙古黄耆[*A. membranaceus* var. *Mongholicus* (Bunge) P. K. Hsiao]的研究中氮肥施用量与鲜草产量和干草产量之间均呈抛物线关系<sup>[13]</sup>。品质方面,紫花苜蓿的行距配置显著影响粗蛋白含量,但对粗纤维、粗脂肪等营养指标无显著影响<sup>[14]</sup>;而“草原三号”杂花苜蓿的种植密度仅对粗蛋白,中性洗涤纤维含量影响显著,对

粗脂肪、粗灰分亦未产生显著影响<sup>[15]</sup>。这些结果为达乌里黄耆栽培研究提供了重要参考,但物种特异性差异仍需进一步的研究。

本研究以内蒙古浑善达克沙地的达乌里黄耆野生驯化种为研究对象,利用三因素四水平正交试验设计,探究不同行距、不同播量及不同施肥量对达乌里黄耆牧草产量和品质的影响,旨在确定达乌里黄耆牧草生产的最佳栽培技术措施,为达乌里黄耆的推广利用提供配套栽培技术体系。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于内蒙古赤峰市喀喇沁旗东南部西桥镇,内蒙古赤峰农牧科学研究所试验示范基地内。地处41°51'N,119°08'E。该地属于大陆性季风气候,无霜期130 d左右,年有效积温2900~3100℃,年平均气温为6.5℃,年降雨量约为400 mm。土壤为栗钙土,pH值7.98,有机质含量11.2 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量为0.7 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮、速效磷和速效钾含量分别为49.0 mg·kg<sup>-1</sup>,21.3 mg·kg<sup>-1</sup>和92.0 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验材料

试验材料为内蒙古浑善达克地区的达乌里黄耆野生驯化种,种子由克什克腾旗绿丰草业中心提供。

### 1.3 试验设计

试验采取三因素四水平正交试验设计,三因素为行距、播种量和施肥量。行距设置为40 cm,50 cm,60 cm和70 cm,播种量为10 kg·hm<sup>-2</sup>,15 kg·hm<sup>-2</sup>,20 kg·hm<sup>-2</sup>和25 kg·hm<sup>-2</sup>,施肥处理为105 kg·hm<sup>-2</sup>,210 kg·hm<sup>-2</sup>,315 kg·hm<sup>-2</sup>和420 kg·hm<sup>-2</sup>(表1),共16个处理(表2),每处理3个重复。试验小区面积为15 m<sup>2</sup>(3 m×5 m),共48个小区,各小区随机排列。

表 1 正交试验信息表

Table 1 Information of orthogonal test

| 水平<br>Level    | 因素 Factor         |                                         |                                              |
|----------------|-------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
|                | 行距 Row spacing/cm | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |
| K <sub>1</sub> | 40                | 10                                      | 105                                          |
| K <sub>2</sub> | 50                | 15                                      | 210                                          |
| K <sub>3</sub> | 60                | 20                                      | 315                                          |
| K <sub>4</sub> | 70                | 25                                      | 420                                          |

试验始于 2022 年 8 月上旬,深耕整地施入底肥后进行播种。试验选用鲁西化工集团股份有限公司生产的复合肥作为底肥,N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 为 12-18-15,总养分≥45%。采用人工开沟的方式,按照设定播种量进行条播,播深为 1 cm 左右。播种当年初霜时,在所有试验小区覆盖草席子,保证所有幼苗安全越冬。2023 年 4 月初在达乌里黄耆返青时,及时去除草席子,保障返青幼苗正常生长发育。

2023 年 6 月 10 日,在达乌里黄耆现蕾期进行施肥处理。施肥时,在行间靠近达乌里黄耆根部 10 cm 处开沟,沟深 5~10 cm,依据设定施肥量进行条施。肥料为史丹利化肥股份有限公司生产的复合肥,N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 为 18-18-18,总养分≥54%。

表 2 L<sub>16</sub>(4<sup>3</sup>)正交试验设计表Table 2 L<sub>16</sub>(4<sup>3</sup>)Design table of orthogonal test

| 试验号<br>Test number | 因素 Factor                |                                                |                                                     |
|--------------------|--------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                    | 行距<br>Row spacing/<br>cm | 播种量<br>Seeding rate/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 施肥量<br>Fertilizer amount/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) |
| T <sub>1</sub>     | 40                       | 10                                             | 105                                                 |
| T <sub>2</sub>     | 40                       | 15                                             | 210                                                 |
| T <sub>3</sub>     | 40                       | 20                                             | 315                                                 |
| T <sub>4</sub>     | 40                       | 25                                             | 420                                                 |
| T <sub>5</sub>     | 50                       | 10                                             | 210                                                 |
| T <sub>6</sub>     | 50                       | 15                                             | 105                                                 |
| T <sub>7</sub>     | 50                       | 20                                             | 420                                                 |
| T <sub>8</sub>     | 50                       | 25                                             | 315                                                 |
| T <sub>9</sub>     | 60                       | 10                                             | 315                                                 |
| T <sub>10</sub>    | 60                       | 15                                             | 420                                                 |
| T <sub>11</sub>    | 60                       | 20                                             | 105                                                 |
| T <sub>12</sub>    | 60                       | 25                                             | 210                                                 |
| T <sub>13</sub>    | 70                       | 10                                             | 420                                                 |
| T <sub>14</sub>    | 70                       | 15                                             | 315                                                 |
| T <sub>15</sub>    | 70                       | 20                                             | 210                                                 |
| T <sub>16</sub>    | 70                       | 25                                             | 105                                                 |

## 1.4 测量指标

**1.4.1 生长指标的测量** 株高:现蕾期和初花期在各小区随机选取 10 株材料,用卷尺测定从地面至叶尖或花序顶端的自然高度,取其平均值,作为现

蕾期和初花期的株高。

鲜草产量:初花期时(2023 年 6 月 16 日),去除边行效应,在试验小区内部进行刈割,随机选取 3 个长度为 1 m 的样段,收割后立即称取重量为鲜重数据。

干草产量:在收割后的鲜草中随机选取 1000 g 的样品,自然阴干后在称量其干重,等比例计算达乌里黄耆干重。

**1.4.2 草品质相关指标的测定** 初花期,在每小区收割后的鲜草中随机取样 500 g 左右,将样品带回实验室后置于烘箱 105℃杀青,随后在温度为 65℃条件下烘干至恒重,将烘干后的草样分别粉碎成 40 目与 100 目后用于测定各项营养指标,3 次重复。

采用全自动杜马斯氧化燃烧定氮法测定粗蛋白(Crude protein,CP)含量,采用 ANKOM A220 型纤维分析仪测定中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber,NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber,ADF)含量<sup>[16]</sup>,采用 550℃燃烧法测定粗灰分(Coarse ash,CA)含量<sup>[17]</sup>,采用 VELP SER148/6 脂肪测试仪测定粗脂肪(Ether extract,EE)含量<sup>[18]</sup>,茎叶比(Stem-leaf ratio,SLR)测量采用在收割牧草中取约 1000 g 鲜草,将茎、叶(含花序)风干后分别称重,计算茎和叶的比值。

## 1.5 熵权法

熵权法是一种客观赋权方法,能够确定各指标的权重,提高评价结果的客观性和准确性,达到综合评价的目的<sup>[19]</sup>。本研究首先通过整理草产量及品质实验数据构建正交直观分析表,计算各因素四个水平下对应的指标均值,随后计算其熵值,确定各指标数据携带的有效信息量,进而得到差异系数和熵权,最后基于熵权对各指标进行综合量化,计算出每个因素各水平的综合得分。本试验将达乌里黄耆的鲜草产量与粗蛋白(CP)含量、粗脂肪(EE)含量正向标准化,中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、粗灰分(CA)以及茎叶比(SLR)

进行逆向标准化,具体步骤如下:

(1)数据标准化

$$\text{正向指标: } z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } z_{ij} = \frac{\min(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

(2)指标比重

$$p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (3)$$

(3)熵值计算

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (4)$$

(4)差异系数

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

(5)指标权重

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (6)$$

(6)综合得分

$$S_{ij} = \sum_{j=1}^m z_{ij} \times \omega_j \quad (7)$$

式(1)~(7)中,  $x_{ij}$ 表示第  $i$  个评价对象中  $j$  项评

价指标数值,  $\max(x_j)$ 和  $\min(x_j)$ 分别表示所有水平中第  $j$  项评价指标的最大值和最小值,  $n$ 为即评价对象的个数,  $m$ 为所有评价指标的总个数。

## 1.6 数据分析

使用 SAS 9.4 进行正交设计方差分析。连续变量以均值±标准差(Mean±SD)表示,显著性水平设定为  $\alpha=0.05$ ,图表通过 Origin 2024 绘制,采用 Excel 进行计算综合评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培措施对达乌里黄耆现蕾期和初花期株高的影响

16个处理间,达乌里黄耆的株高存在差异。由图 1A 可知,现蕾期的株高在  $T_4$  处理下最高,为 43.73 cm,显著高于  $T_5 \sim T_{16}$  处理( $P<0.05$ );而在  $T_{13}$  处理下株高最小,仅为最高株高的 57.32%。通过图 1B 可知,在初花期时,  $T_3$  处理的株高最高,为 74.10 cm;  $T_{13}$  处理的株高最低,仅为 38.33 cm,约为最高的 51.73%,并显著低于其他处理( $P<0.05$ )。

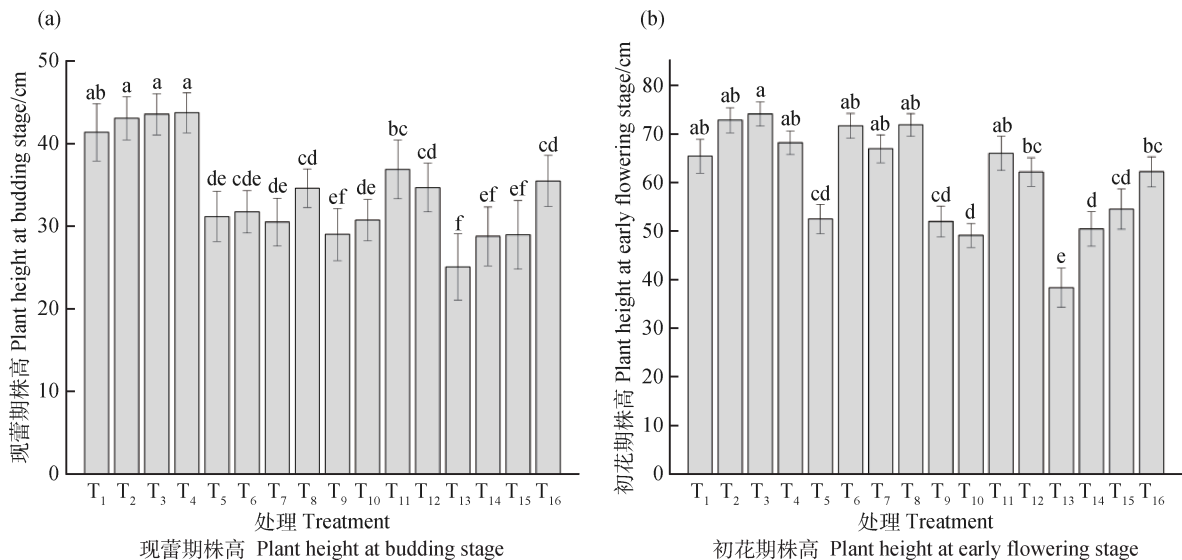


图1 不同栽培处理下达乌里黄耆现蕾期与初花期株高

Fig. 1 Plant height of Astragalus dauricus at bud stage and early flowering stage under different cultivation treatments

注:不同字母表示处理之间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different letters indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

达乌里黄耆现蕾期、初花期株高在不同栽培因子水平处理下存在差异。由表3可知,随行距的不断增大,株高呈现出下降趋势,在40 cm时现蕾期与初花期株高最高,显著高于其他水平( $P<0.05$ );随播种量的增加株高呈现出上升趋势,播种量为  $25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,现蕾期与初花期的株高最高,分别为

37.12 cm 和 66.10 cm,显著高于其他播量处理( $P<0.05$ );随着施肥量的增大,株高呈现出下降趋势,在  $105 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,株高最高,在  $420 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  施肥量时,株高最低。通过极差  $R$  值可知,各因素对达乌里黄耆现蕾期与初花期株高的效应强弱依次为行距>播种量>施肥量。

表 3 达乌里黄耆现蕾期与初花期株高的极差分析和多重比较

Fig.3 Range analysis and multiple comparisons of the plant heights of *Astragalus dahuricus* at the bud stage and early flowering stage

| 因素 Factor                | 水平 Level       | 现蕾期株高<br>Plant height at budding stage/cm | 初花期株高<br>Plant height at early flowering stage/cm |
|--------------------------|----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 行距<br>Row spacing        | K <sub>1</sub> | 42.94±0.50 <sup>a</sup>                   | 70.13±2.03 <sup>a</sup>                           |
|                          | K <sub>2</sub> | 32.00±0.90 <sup>bc</sup>                  | 65.74±4.57 <sup>a</sup>                           |
|                          | K <sub>3</sub> | 32.82±1.80 <sup>b</sup>                   | 57.31±4.03 <sup>b</sup>                           |
|                          | K <sub>4</sub> | 29.56±2.16 <sup>c</sup>                   | 51.37±4.98 <sup>c</sup>                           |
|                          | R              | 13.37                                     | 18.75                                             |
| 播种量<br>Seeding rate      | K <sub>1</sub> | 31.65±3.48 <sup>c</sup>                   | 52.04±5.53 <sup>b</sup>                           |
|                          | K <sub>2</sub> | 33.58±3.22 <sup>bc</sup>                  | 61.01±6.50 <sup>a</sup>                           |
|                          | K <sub>3</sub> | 34.97±3.34 <sup>ab</sup>                  | 65.39±4.05 <sup>a</sup>                           |
|                          | K <sub>4</sub> | 37.12±2.21 <sup>a</sup>                   | 66.10±2.38 <sup>a</sup>                           |
|                          | R              | 5.47                                      | 14.06                                             |
| 施肥量<br>Fertilizer amount | K <sub>1</sub> | 36.36±1.99 <sup>a</sup>                   | 66.32±1.97 <sup>a</sup>                           |
|                          | K <sub>2</sub> | 34.46±3.10 <sup>ab</sup>                  | 60.50±4.61 <sup>bc</sup>                          |
|                          | K <sub>3</sub> | 33.99±3.47 <sup>ab</sup>                  | 62.09±6.31 <sup>bc</sup>                          |
|                          | K <sub>4</sub> | 32.51±3.96 <sup>b</sup>                   | 55.63±7.23 <sup>c</sup>                           |
|                          | R              | 3.85                                      | 10.69                                             |

注:表中数据为平均值±标准差,不同小写字母表示同一因素的不同水平之间差异显著( $P<0.05$ )。R为水平中最大值与最小值的差值Note: Data in the table are presented as mean±standard deviation. Different lowercase letters indicate significant differences among different levels of the same factor ( $P<0.05$ ). R represents the difference between the maximum and minimum values among the levels

不同栽培措施对达乌里黄耆现蕾期与初花期株高的影响程度存在差异。由表 4 可知,行距对现蕾期株高有极显著影响( $P<0.01$ ),播种量对现蕾期株高有显著

影响( $P<0.05$ ),施肥量对现蕾期株高并无显著影响,行距和播种量对初花期株高有极显著影响( $P<0.01$ ),施肥量对初花期株高有显著影响( $P<0.05$ )。

表 4 达乌里黄耆现蕾期与初花期株高方差分析表

Table 4 Variance analysis table of *Astragalus dauricus* height at bud stage and early flowering stage

| 株高<br>Forage yield                                   | 变异来源<br>Variation source                        | 自由度<br>Degree of freedom | Anova 平方和<br>Anova sum of squares | 均方<br>Mean square | F 值    | P       |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------|---------|
| 现蕾期株高<br>Plant height at<br>budding stage            | 行距 Row spacing/cm                               | 3                        | 417.967                           | 139.322           | 59.010 | <0.0001 |
|                                                      | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )         | 3                        | 63.675                            | 21.225            | 8.990  | 0.0122  |
|                                                      | 施肥量<br>Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 30.316                            | 10.105            | 4.280  | 0.0616  |
|                                                      | 误差 Error                                        | 6                        | 14.166                            | 2.361             |        |         |
|                                                      | 校正合计 Total correction                           | 15                       | 526.123                           |                   |        |         |
| 初花期株高<br>Plant height at<br>early flowering<br>stage | 行距 Row spacing/cm                               | 3                        | 847.669                           | 282.556           | 29.710 | 0.0005  |
|                                                      | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )         | 3                        | 501.884                           | 167.295           | 17.590 | 0.0022  |
|                                                      | 施肥量<br>Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 233.823                           | 77.941            | 8.200  | 0.0152  |
|                                                      | 误差 Error                                        | 6                        | 57.064                            | 9.511             |        |         |
|                                                      | 校正合计 Total correction                           | 15                       | 1640.440                          |                   |        |         |

## 2.2 不同栽培措施对达乌里黄耆鲜干草产量的影响

16个处理间,达乌里黄耆的鲜干草产量存在差异。由图 2A 可知,T<sub>3</sub>处理鲜草产量最高,为 34 204.80 kg·hm<sup>-2</sup>,显著高于 T<sub>13</sub>处理( $P<0.05$ ),且 T<sub>13</sub>处理鲜草产量最低,仅为最高产量的 18.54%;T<sub>4</sub>处理下干草产量最高,为 5997.93 kg·hm<sup>-2</sup>,T<sub>3</sub>处理次之,产量为 5952.21 kg·hm<sup>-2</sup>,T<sub>13</sub>处理干草产量最低。

达乌里黄耆鲜草、干草产量在不同栽培因子水平处理下存在差异。由表 5 可知,随行距的增加,鲜干草产量呈下降趋势,在 40 cm 行距处理下鲜干草产量最高,显著高于其他行距处理( $P<0.05$ );随播种量的增加,鲜干草产量呈上升趋势,25 kg·hm<sup>-2</sup>播种量时,鲜干草产量最高,显著高于 10 kg·hm<sup>-2</sup>播种量( $P<0.05$ );施肥量在 315 kg·hm<sup>-2</sup>时的鲜干草产量最高,显著高于最

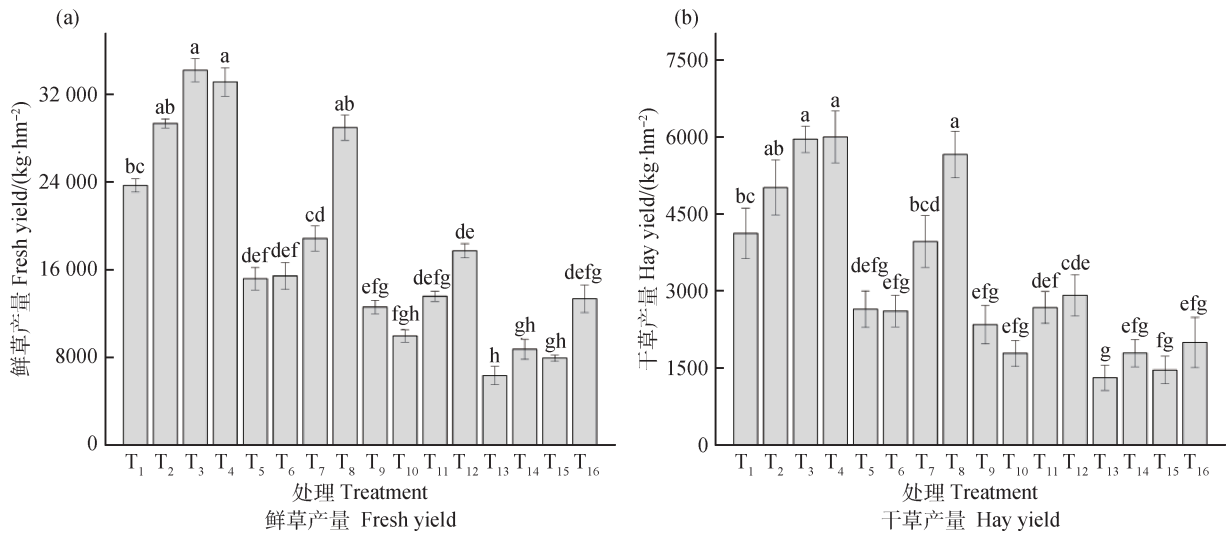


图 2 不同栽培处理下达乌里黄耆鲜草与干草产量

Fig. 2 Fresh and hay yield of *Astragalus dahuricus* under different cultivation treatments

注:不同字母表示处理之间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

低处理  $105\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  施肥量 ( $P<0.05$ )。通过极差 R 值可知,各因素对达乌里黄耆鲜干草产量的影响程度存在差异。根据表 6 方差分析结果表明,行距和播种量对达乌里黄耆的鲜草和干草产量有极显著影响 ( $P<0.01$ ),施肥量对鲜草和干草产量影响显著 ( $P<0.05$ )。

表 5 不同栽培因子对达乌里黄耆鲜干草产量的极差分析和多重比较

Table 5 Range analysis and multiple comparisons of the fresh and hay yields of *Astragalus dahuricus* under different cultivation factors

| 因素 Factor                | 水平 Level       | 鲜草产量 Fresh grass yield/( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) | 干草产量 Hay yield/( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) |
|--------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 行距<br>Row spacing        | K <sub>1</sub> | 30 091.28±2376.77 <sup>a</sup>                            | 5270.95±445.73 <sup>a</sup>                       |
|                          | K <sub>2</sub> | 19 604.81±3231.40 <sup>b</sup>                            | 3717.48±719.37 <sup>b</sup>                       |
|                          | K <sub>3</sub> | 13 458.86±1615.54 <sup>c</sup>                            | 2429.65±244.68 <sup>c</sup>                       |
|                          | K <sub>4</sub> | 9090.37±1504.25 <sup>d</sup>                              | 1639.36±155.58 <sup>d</sup>                       |
|                          | R              | 21 000.90                                                 | 3631.60                                           |
| 播种量<br>Seeding rate      | K <sub>1</sub> | 14 446.55±3593.34 <sup>c</sup>                            | 2604.73±580.14 <sup>b</sup>                       |
|                          | K <sub>2</sub> | 15 867.17±4723.39 <sup>bc</sup>                           | 2798.82±763.21 <sup>b</sup>                       |
|                          | K <sub>3</sub> | 18 637.98±4647.50 <sup>b</sup>                            | 3512.74±860.34 <sup>a</sup>                       |
|                          | K <sub>4</sub> | 23 293.63±3644.46 <sup>a</sup>                            | 4141.14±893.92 <sup>a</sup>                       |
|                          | R              | 8847.08                                                   | 1536.41                                           |
| 施肥量<br>Fertilizer amount | K <sub>1</sub> | 16 508.84±2436.17 <sup>b</sup>                            | 2849.59±450.05 <sup>b</sup>                       |
|                          | K <sub>2</sub> | 17 544.1±4448.38 <sup>b</sup>                             | 3007.78±739.49 <sup>b</sup>                       |
|                          | K <sub>3</sub> | 21 125.51±4483.54 <sup>a</sup>                            | 3936.23±1086.35 <sup>a</sup>                      |
|                          | K <sub>4</sub> | 17 066.86±5964.34 <sup>b</sup>                            | 3263.84±1078.88 <sup>ab</sup>                     |
|                          | R              | 4616.67                                                   | 1086.64                                           |

注:表中数据为平均值±标准差,不同字母表示同一因素的不同水平之间差异显著( $P<0.05$ )。R 为水平中最大值与最小值的差值

Note: Data in the table are presented as mean±standard deviation. Different lowercase letters indicate significant differences among different levels of the same factor ( $P<0.05$ ). R represents the difference between the maximum and minimum values among the levels

不同栽培措施对达乌里黄耆鲜草与干草产量的影响程度存在差异。根据表 6 方差分析结果表明,行距和播种量对达乌里黄耆的鲜草和干草产量有极显著影响 ( $P<0.01$ ),施肥量对鲜草和干草产量影响显著 ( $P<0.05$ )。

### 2.3 不同栽培措施对达乌里黄耆营养品质的影响

16 个处理间,达乌里黄耆的营养指标均存在差

异。由图 3 可知,达乌里黄耆在 T<sub>16</sub> 处理下 CP 含量最高,含量为 23.34%,T<sub>4</sub> 处理含量最低;EE、ADF 和 NDF 含量在不同处理间无显著差异;T<sub>11</sub> 处理下 CA 含量最高,达到了 13.30%;T<sub>4</sub> 处理的含量最低;在 T<sub>2</sub> 处理下 SLR 最高,达到 1.57,T<sub>15</sub> 处理下的 SLR 最低。

由表 7 可知,不同水平间的达乌里黄耆的 NDF,ADF,CP,EE 含量差异并不显著。通过极差

表 6 达乌里黄耆鲜草与干草产量方差分析表

Table 6 Analysis of variance table for the fresh hay yield and dry-to-fresh ratio of *Astragalus dahuricus*

| 草产量<br>Forage yield       | 变异来源<br>Variation source                     | 自由度<br>Degree of freedom | Anova 平方和<br>Anova sum of squares | 均方<br>Mean square | F 值    | P        |
|---------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------|----------|
| 鲜草产量<br>Fresh grass yield | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 995 050 960.70                    | 331 683 653.60    | 117.21 | <0.000 1 |
|                           | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 182 361 752.60                    | 60 787 250.90     | 21.48  | 0.001 3  |
|                           | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 52 223 738.60                     | 17 407 912.90     | 6.15   | 0.029 2  |
|                           | 误差 Error                                     | 6                        | 16 978 756.00                     | 2 829 793.00      |        |          |
|                           | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 1 246 615 207.00                  |                   |        |          |
| 干草产量<br>Hay yield         | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 30 276 449.52                     | 10 092 149.84     | 66.06  | <0.000 1 |
|                           | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 5 929 103.01                      | 1 976 367.67      | 12.94  | 0.005    |
|                           | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 2 757 118.14                      | 919 039.38        | 6.02   | 0.030 6  |
|                           | 误差 Error                                     | 6                        | 916 650.76                        | 152 775.13        |        |          |
|                           | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 39 879 321.42                     |                   |        |          |

R 值可知,各因素对达乌里黄耆 CP 含量和 EE 含量的效应强弱从大到小依次为播种量>施肥量>行距,对 ADF 和 NDF 含量的效应强弱不从大到小依次为播种量>行距>施肥量,对 CA 含量效应强弱从大到小依次为施肥量>行距>播种量,对 SLR 的效应强弱依次为行距>施肥量>播种量。

表 7 不同栽培因子对达乌里黄耆牧草品质的极差分析和多重比较

Table. 7 Range analysis and multiple comparisons of the effects of different cultivation factors on the forage quality of *Astragalus dahuricus*

| 因素<br>Factor             | 水平<br>Level    | 粗蛋白<br>Crude protein/%    | 粗脂肪<br>Ether extract/%   | 中性洗涤纤维<br>Neutral detergent fiber /% | 酸性洗涤纤维<br>Acid detergent fiber /% | 粗灰分<br>Coarse ash/%        | 茎叶比<br>Stem-leaf ratio    |
|--------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 行距<br>Row spacing        | K <sub>1</sub> | 21.653±0.850 <sup>a</sup> | 2.540±0.068 <sup>a</sup> | 41.675±0.897 <sup>a</sup>            | 37.266±1.162 <sup>a</sup>         | 11.433±0.336 <sup>a</sup>  | 1.478±0.045 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>2</sub> | 22.354±0.381 <sup>a</sup> | 2.578±0.097 <sup>a</sup> | 40.967±1.032 <sup>a</sup>            | 35.477±1.742 <sup>a</sup>         | 12.260±0.185 <sup>a</sup>  | 1.235±0.044 <sup>ab</sup> |
|                          | K <sub>3</sub> | 22.237±0.358 <sup>a</sup> | 2.480±0.004 <sup>a</sup> | 39.932±1.455 <sup>a</sup>            | 35.549±1.086 <sup>a</sup>         | 12.055±0.444 <sup>a</sup>  | 1.154±0.011 <sup>b</sup>  |
|                          | K <sub>4</sub> | 22.715±0.323 <sup>a</sup> | 2.523±0.095 <sup>a</sup> | 39.785±0.483 <sup>a</sup>            | 36.346±0.955 <sup>a</sup>         | 12.140±0.394 <sup>a</sup>  | 1.270±0.107 <sup>ab</sup> |
|                          | R              | 1.062                     | 0.098                    | 1.891                                | 1.789                             | 0.827                      | 0.324                     |
| 播种量<br>Seeding rate      | K <sub>1</sub> | 22.682±0.270 <sup>a</sup> | 2.430±0.038 <sup>a</sup> | 40.167±0.867 <sup>a</sup>            | 35.838±1.298 <sup>a</sup>         | 11.905±0.363 <sup>a</sup>  | 1.328±0.064 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>2</sub> | 22.704±0.236 <sup>a</sup> | 2.488±0.035 <sup>a</sup> | 40.772±1.030 <sup>a</sup>            | 34.538±1.181 <sup>a</sup>         | 11.888±0.156 <sup>a</sup>  | 1.270±0.107 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>3</sub> | 22.139±0.364 <sup>a</sup> | 2.565±0.096 <sup>a</sup> | 39.648±1.116 <sup>a</sup>            | 35.912±1.093 <sup>a</sup>         | 12.415±0.371 <sup>a</sup>  | 1.234±0.117 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>4</sub> | 21.434±0.823 <sup>a</sup> | 2.638±0.068 <sup>a</sup> | 41.772±1.063 <sup>a</sup>            | 38.351±0.607 <sup>a</sup>         | 11.680±0.495 <sup>a</sup>  | 1.305±0.059 <sup>a</sup>  |
|                          | R              | 1.270                     | 0.208                    | 2.124                                | 3.814                             | 0.735                      | 0.058                     |
| 施肥量<br>Fertilizer amount | K <sub>1</sub> | 22.871±0.415 <sup>a</sup> | 2.525±0.08 <sup>a</sup>  | 40.920±1.171 <sup>a</sup>            | 35.612±1.545 <sup>a</sup>         | 12.455±0.371 <sup>a</sup>  | 1.246±0.073 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>2</sub> | 22.465±0.328 <sup>a</sup> | 2.470±0.014 <sup>a</sup> | 40.712±1.281 <sup>a</sup>            | 36.582±1.170 <sup>a</sup>         | 12.213±0.31 <sup>ab</sup>  | 1.250±0.125 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>3</sub> | 21.995±0.278 <sup>a</sup> | 2.530±0.026 <sup>a</sup> | 40.211±1.078 <sup>a</sup>            | 36.434±1.182 <sup>a</sup>         | 11.920±0.135 <sup>ab</sup> | 1.306±0.076 <sup>a</sup>  |
|                          | K <sub>4</sub> | 21.628±0.802 <sup>a</sup> | 2.595±0.122 <sup>a</sup> | 40.516±0.869 <sup>a</sup>            | 36.010±1.353 <sup>a</sup>         | 11.300±0.368 <sup>b</sup>  | 1.334±0.077 <sup>a</sup>  |
|                          | R              | 1.243                     | 0.125                    | 0.709                                | 0.970                             | 1.155                      | 0.087                     |

注:表中数据为平均值±标准差,不同字母表示同一因素的不同水平之间差异显著(P<0.05)。R 为水平中最大值与最小值的差值

Note: Data in the table are presented as mean±standard deviation. Different letters indicate significant differences among different levels of the same factor (P<0.05). R represents the difference between the maximum and minimum values among the levels

根据表 8 方差分析结果表明,行距、播种量和施肥量对达乌里黄耆的 CP,EE,NDF,ADF,CA 以及 SLR 均无显著影响。

## 2.4 综合评价

通过熵权法计算,由表 9 可知行距为 K<sub>2</sub>(50 cm),播种量为 K<sub>4</sub>(25 kg·hm<sup>-2</sup>)以及施肥量为 K<sub>4</sub>(420 kg·hm<sup>-2</sup>)时综合排名第一。

## 3 讨论

株高是影响牧草产量和其利用方式的主要因素,是衡量牧草生长发育状况的重要标准,同时也是反映草地生产能力的生产指标<sup>[20]</sup>。在人工栽培条件下,尽管水肥供应能够满足植物基本生长需求,但栽培措施的精准调控仍对群体结构优化和资源高效利用具有关键作用<sup>[21]</sup>。本研究结果表明,随着种植密度

表 8 达乌里黄耆品质指标方差分析表  
Table 8 *Astragalus dahuricus* quality index variance analysis table

| 品质指标<br>Quality index             | 变异来源<br>Variation source                     | 自由度<br>Degree of freedom | Anova 平方和<br>Anova sum of squares | 均方<br>Mean square | F 值   | P     |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------|-------|
| 粗蛋白 Crude protein                 | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 2.333                             | 0.778             | 0.860 | 0.509 |
|                                   | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 4.280                             | 1.426             | 1.590 | 0.288 |
|                                   | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 3.532                             | 1.177             | 1.310 | 0.355 |
|                                   | 误差 Error                                     | 6                        | 5.395                             | 0.899             |       |       |
|                                   | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 15.539                            |                   |       |       |
| 粗脂肪 Ether extract                 | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 0.020                             | 0.007             | 0.270 | 0.846 |
|                                   | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 0.098                             | 0.033             | 1.340 | 0.346 |
|                                   | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 0.031                             | 0.010             | 0.430 | 0.740 |
|                                   | 误差 Error                                     | 6                        | 0.147                             | 0.024             |       |       |
|                                   | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 0.296                             |                   |       |       |
| 中性洗涤纤维<br>Neutral detergent fiber | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 9.605                             | 3.202             | 0.490 | 0.705 |
|                                   | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 9.985                             | 3.328             | 0.500 | 0.693 |
|                                   | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 1.092                             | 0.364             | 0.060 | 0.981 |
|                                   | 误差 Error                                     | 6                        | 39.561                            | 6.594             |       |       |
|                                   | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 60.244                            |                   |       |       |
| 酸性洗涤纤维<br>Acid detergent fiber    | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 8.392                             | 2.797             | 0.370 | 0.776 |
|                                   | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 30.397                            | 10.132            | 1.350 | 0.344 |
|                                   | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 2.306                             | 0.769             | 0.100 | 0.956 |
|                                   | 误差 Error                                     | 6                        | 45.019                            | 7.503             |       |       |
|                                   | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 86.113                            |                   |       |       |
| 粗灰分 Coarse ash                    | 行距 Row spacing/cm                            | 3                        | 1.636                             | 0.545             | 1.770 | 0.252 |
|                                   | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 1.173                             | 0.391             | 1.270 | 0.366 |
|                                   | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 2.982                             | 0.994             | 3.230 | 0.103 |
|                                   | 误差 Error                                     | 6                        | 1.844                             | 0.307             |       |       |
|                                   | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 7.635                             |                   |       |       |
| 茎叶比 Stem-leaf ratio               | 行距<br>Row spacing/cm                         | 3                        | 0.228                             | 0.076             | 3.210 | 0.104 |
|                                   | 播种量 Seeding rate/(kg·hm <sup>-2</sup> )      | 3                        | 0.020                             | 0.007             | 0.290 | 0.834 |
|                                   | 施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 3                        | 0.022                             | 0.007             | 0.310 | 0.816 |
|                                   | 误差 Error                                     | 6                        | 0.142                             | 0.024             |       |       |
|                                   | 校正合计 Total correction                        | 15                       | 0.413                             |                   |       |       |

表 9 基于熵权法的综合排名因素整合表  
Table 9 Table of integrated comprehensive ranking factors based on entropy weight method

| 行距<br>Row spacing | 综合得分<br>Scores | 排名<br>Ranking | 播种量<br>Seeding rate | 综合得分<br>Scores | 排名<br>Ranking | 施肥量<br>Fertilizer amount | 综合得分<br>Scores | 排名<br>Ranking |
|-------------------|----------------|---------------|---------------------|----------------|---------------|--------------------------|----------------|---------------|
| k <sub>1</sub>    | 0.6854         | 2             | k <sub>1</sub>      | 0.4123         | 4             | k <sub>1</sub>           | 0.5123         | 3             |
| k <sub>2</sub>    | 0.7921         | 1             | k <sub>2</sub>      | 0.5347         | 3             | k <sub>2</sub>           | 0.5872         | 2             |
| k <sub>3</sub>    | 0.3218         | 4             | k <sub>3</sub>      | 0.6892         | 2             | k <sub>3</sub>           | 0.4568         | 4             |
| k <sub>4</sub>    | 0.5532         | 3             | k <sub>4</sub>      | 0.7215         | 1             | k <sub>4</sub>           | 0.6234         | 1             |

增加,达乌里黄耆株高显著上升,高密度种植通过加剧植株间光资源竞争,触发茎秆伸长以增强冠层的光截获效率<sup>[22]</sup>,这一机制与紫花苜蓿、草木樨[*Melilotus officinalis* (L.) Lam.]等豆科植物对遮荫环境的适应性响应相似<sup>[23]</sup>。同时在花生(*Arachis hypogaea* L.)的株型研究中显示,密植或弱光条件下呈现

直立型株型,但疏植或强光条件下,呈现半直立甚至匍匐型形态<sup>[24]</sup>,这与田间试验观察结果相似,低密度种植达乌里黄耆呈现“粗壮的直立型”,高密度种植时呈现“瘦长直立型”。施肥量对现蕾期株高无显著影响,对初花期株高有显著影响,其原因可能是选择在现蕾期进行施肥,养分并未作用到植株。

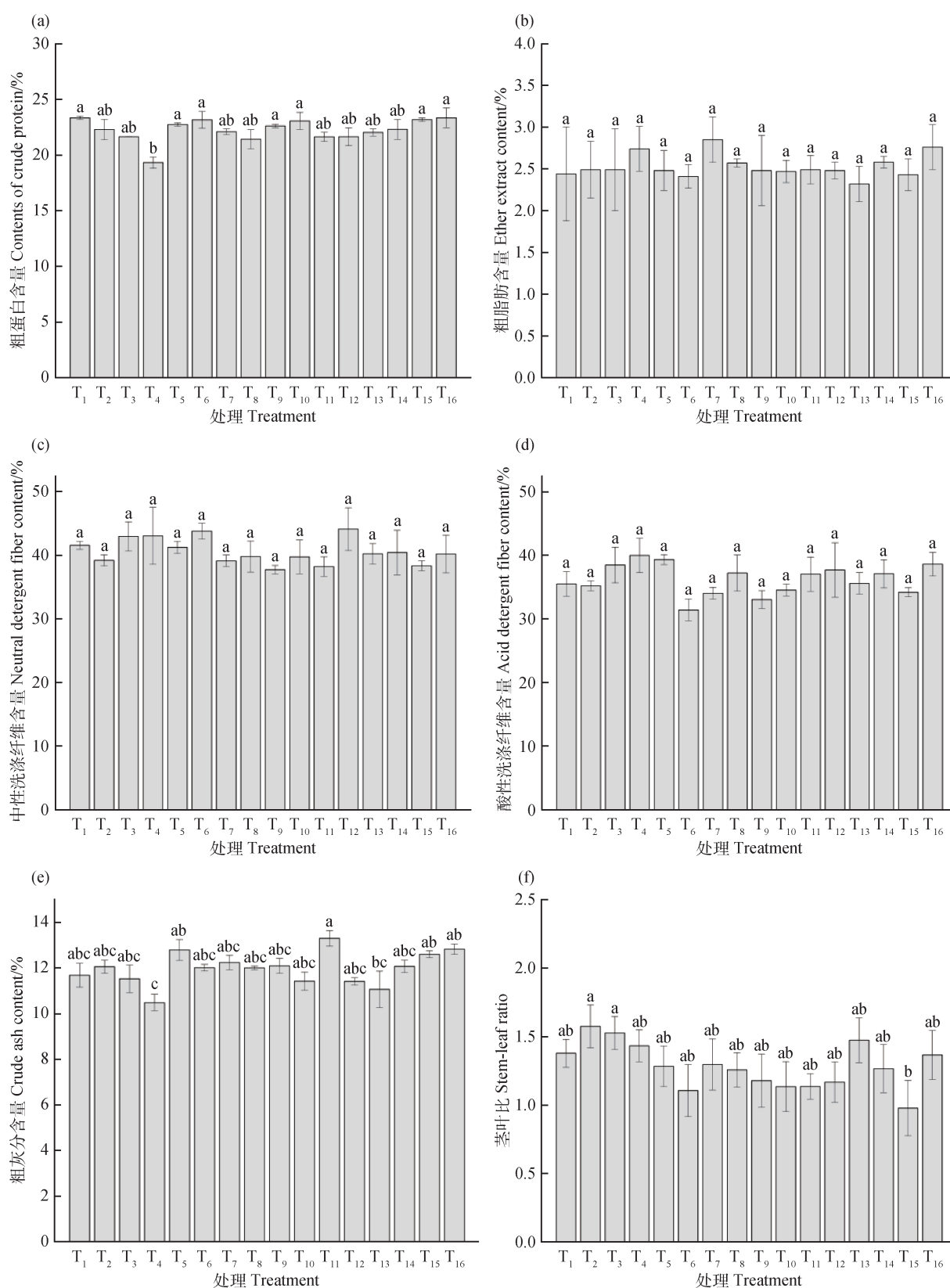


图 3 不同栽培处理下达乌里黄耆品质指标

Fig. 3 Influence of different cultivation factors quality indicators of *Astragalus dahuricus*

注: A, 粗蛋白含量; B, 粗脂肪含量; C, 中性洗涤纤维含量; D, 酸性洗涤纤维含量; E, 粗灰分含量; F, 茎叶比不同字母表示处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: A, Crude protein content; B, Ether extract content; C, Neutral detergent fiber content; D, Acid detergent fiber content; E, Crude ash content; F, Stem-leaf ratio. Different letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ )

牧草产量形成不仅受遗传特性调控,也依赖于环境因子与栽培措施的协同作用<sup>[14]</sup>。豆科牧草的种植过程中有研究表明,采用高密度窄行距的种植策略,可以获得更高的草产量<sup>[25]</sup>。与此同时,Kumagai<sup>[26]</sup>的研究表示,较高的种植密度可以增加冠层截留的太阳辐射量,从而提高了产量。本试验中,达乌里黄耆栽培密度为行距40 cm与播种量25 kg·hm<sup>-2</sup>时鲜草产量最高,该结果进一步证明了高密度窄行距的栽培模式对牧草产量有积极作用。施肥对草产量的促进作用大小在本研究中表现在行距和播种量之后,但最优组合中315 kg·hm<sup>-2</sup>的施肥量仍不可或缺。尽管豆科植物可通过根瘤固氮机制降低对氮肥的依赖程度,但磷、钾等矿质元素的合理补充,对促进根系形态建成及提升抗逆性能具有不可替代的作用<sup>[27]</sup>,磷素对根系分生组织发育、根系表面积扩展及根瘤结构优化具有调控作用<sup>[28-29]</sup>;钾素则通过维持细胞渗透压、激活抗氧化酶系统及促进光合产物运输,增强植株对于旱、盐渍等逆境的适应能力<sup>[30]</sup>。本研究中施肥量对产量的显著影响,可能与复合肥中磷、钾元素协同改善根系功能及抗逆性有关,尽管其效应强度低于种植密度相关因子,但仍是构建高产栽培模式的必要组成部分。

牧草营养品质是畜牧业生产的关键指标。已有研究表明,在紫花苜蓿栽培中,种植密度与氮磷钾配比施肥可显著调控CP含量、NDF及ADF等营养指标<sup>[31-33]</sup>。然而,本试验中行距、播种量与施肥量对达乌里黄耆营养品质的影响未达显著水平,这一差异可能与物种特异性及环境互作效应有关<sup>[34-35]</sup>,对于达乌里黄耆的营养品质其自身特异性可能为主导地位。同时孟凯等<sup>[15]</sup>的研究中指出,虽然种植密度的变化对细胞形态产生了影响,但这种影响并没有改变植物内部脂肪和矿物质氧化物或盐类的含量,最终导致三种不同的栽培措施对达乌里黄耆营养品质影响并不显著。

本研究的试验数据基于2022—2023年单一年份的田间观测,通过正交设计优化了栽培措施的筛选效率,但短期研究可能引入以下不确定性,牧草产量与品质易受年际气候差异(如病虫害、温度波动)的影响。但是在实际试验时,种植具备正常的栽培管理条件,可以进行相应的田间管理,因此对于赤峰南部地区种植达乌里黄耆具有一定的参考意义。

## 4 结论

通过极差分析,对各影响因素不同水平下的产

量均值展开比较,筛选出每个因素中使产量达到最高的水平并进行组合,从而得出:在达乌里黄耆初花期进行刈割测量时,当设置40 cm行距、25 kg·hm<sup>-2</sup>播种量、315 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量,其鲜草产量与干草产量均能达到最高水平,各因素对草产量的影响大小依次是行距>播种量>施肥量。由方差分析显示,不同栽培措施对中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分、茎叶比、粗蛋白及粗脂肪含量影响不显著;但粗灰分在施肥不同处理间、茎叶比在不同行距处理间呈显著差异。综合草产量以及相关营养品质得出50 cm行距、25 kg·hm<sup>-2</sup>播种量、420 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量为达乌里黄耆的最优栽培措施。

## 参考文献

- [1] 杨廷韬,杨云,何玲,等. 优质牧草在生态畜牧养殖中的应用探讨[J]. 农业灾害研究,2024,14(10):4-6  
YANG T T, YANG Y, HE L, et al. Analysis on the application of high-quality forages in ecological livestock farming[J]. Journal of Agricultural Disaster Research, 2024, 14(10):4-6
- [2] 赵小娜,王斌,王腾飞,等. 补播不同播量燕麦对退化苜蓿草地生产性能和营养品质的影响[J]. 中国草地学报,2024,46(12):67-74  
ZHAO X N, WANG B, WANG T F, et al. Effects of different seeding amounts of oat reseeded on production performance and nutritional quality of degraded alfalfa grassland[J]. Chinese Journal of Grassland, 2024, 46(12):67-74
- [3] 芦奕晓,牟乐,杨惠敏. 豆科与禾本科牧草混播改良土壤的研究进展[J]. 中国草地学报,2019,41(1):94-100  
LU Y X, MU L, YANG H M. Research progress on soil improvement by legume and gramineous forage mixed sowing[J]. Chinese Journal of Grassland, 2019, 41(1):94-100
- [4] 杜辰阳,赵鑫蕊,沈凤英,等. 小五台山野生植物资源调查与利用[J]. 现代园艺,2024,47(19):54-58  
DU C Y, ZHAO X R, SHEN F Y, et al. Investigation and utilization of wild plant resources in Xiaowutai Mountain[J]. Modern Horticulture, 2024, 47(19):54-58
- [5] 陈传顺,王雨荪. 优良牧草——达呼里黄耆[J]. 植物杂志,1986(4):17  
Chen C S, Wang Y S. Excellent Forage—*Astragalus dahuricus*[J]. Plants, 1986(4):17
- [6] 常晶茹,姚莹航,张雪薇,等. 黄耆属植物DNA条形码与聚类分析的研究[J]. 中草药,2022,53(22):7201-7206  
CHANG J R, YAO X H, ZHANG X H, et al. Study on DNA barcoding and clustering analysis of *Astragalus* plants[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(22):7201-7206
- [7] 常晶茹. 吉林省黄耆属10种植物光合特性、药效成分及DNA条形码的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2022:3-4  
CHANG J R. Study on photosynthetic characteristics, medicinal components and DNA barcoding of 10 species of *Astragalus* in jilin province[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2022:3-4
- [8] 赵牧其尔. 紫花苜蓿品质和储能物质对其生产过程关键因素的响应机制[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2025:99-100  
ZHAO M Q E. Response mechanism of *Alfalfa* quality and storage substances to key factors in its production process[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2025:99-100
- [9] 王银柳,耿倩倩,黄建辉,等. 氮肥和种植密度对达乌里胡枝子的生长与生物固氮的影响[J]. 植物生态学报,2021,45(1):13-22  
WANG Y L, GENG Q Q, HUANG J H, et al. Effects of nitro-

- gen fertilizer and planting density on growth and biological nitrogen fixation of *Lespedeza daurica* [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2021, 45(1):13-22
- [10] YSULAT R I, MIGALBIN J R, TORRES R O. Impact of fertilization on productivity and nutritional quality of Aapier varieties in Southern Mindanao, Philippines [J]. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2024, 36(10):318-328
- [11] 王雁丽, 郑敏娜. 播种行距和灌水量对春箭筈豌豆种子产量及其构成因素的影响 [J]. *中国农学通报*, 2014, 30(26):6-10  
WANG Y L, ZHENG M N. Influence of row spacing and irrigation rate on seed yield of *Vicia sativa* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(26):6-10
- [12] 郑春风, 刘春增, 张济世, 等. 播量和行距对箭筈豌豆农艺结实性状及产量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2024(6):215-221  
ZHENG C F, LIU C Z, ZHANG J S, et al. Effects of different sowing rates and row spacings on agronomic traits, seed setting traits and yield of *Vicia sativa* [J]. *Soils and Fertilizers in China*, 2024(6):215-221
- [13] 周巧梅, 田伟, 吴志明, 等. 氮肥施用量对蒙古黄芪生长发育及产量的影响 [J]. *河北农业科学*, 2007(2):88-90  
ZHOU Q M, TIAN W, WU Z M, et al. Effects of nitrogen fertilizer application rate on growth and yield of *Astragalus membranaceus* var. *mongolicus* [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2007(2):88-90
- [14] 肖燕子, 徐丽君, 孙林, 等. 不同行距配置对紫花苜蓿产量及营养品质的影响 [J]. *呼伦贝尔学院学报*, 2021, 29(5):105-109  
XIAO Y Z, XU L J, SUN L, et al. Effects of different row spacing on the yield and nutritional quality of *Alfalfa* [J]. *Journal of Hulunbuir University*, 2021, 29(5):105-109
- [15] 孟凯, 李星月, 贾振宇, 等. 种植密度对内蒙古中部地区苜蓿生长、饲草产量及营养品质影响 [J]. *草业学报*, 2019, 28(7):73-81  
MENG K, LI X Y, JIA Z Y, et al. Effects of planting density on growth, forage yield and nutritional quality of *Alfalfa* in Central Inner Mongolia [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(7):73-81
- [16] 李博, 张丹丹, 程景, 等. 不同方法测定饲料中的中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维含量分析 [J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(12):187-190  
LI B, ZHANG D D, CHENG J, et al. Analysis of neutral detergent fiber and acid detergent fiber contents in feeds determined by different methods [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(12):187-190
- [17] 袁玖, 万欣杰, 孙烈涛, 等. 不同降温方法对饲料中粗灰分测定的影响 [J]. *中国饲料*, 2014(18):35-37  
YUAN J, WAN X J, SUN L T, et al. Effects of different cooling methods on determination of crude ash in feeds [J]. *China Feed*, 2014(18):35-37
- [18] 余培芝, 陈志, 冯璐. 祁连县沼泽化高寒草甸亚类优势牧草粗脂肪含量分析 [J]. *青海草业*, 2015, 24(1):11-12  
YU P Z, CHEN Z, FENG L. Analysis of crude fat content in dominant forages of swampy alpine meadow subtype in Qilian County [J]. *Qinghai Prataculture*, 2015, 24(1):11-12
- [19] 毛璐璐. 数字信息消费水平的时空特征及其影响因素 [J]. *经济地理*, 2024, 44(10):145-154.  
MAO L L. spatiotemporal characteristics and influencing factors of digital information consumption level [J]. *Economic Geography*, 2024, 44(10):145-154
- [20] 孙小富, 杨红文, 赵丽丽, 等. 毕节地区不同紫花苜蓿品种适应性评价与筛选 [J]. *种子*, 2025, 44(1):147-154  
SUN X F, YANG H W, ZHAO L L, et al. Adaptability evaluation and screening of different alfalfa varieties in Bijie Area [J]. *Seed*, 2025, 44(1):147-154
- [21] 王斌, 杨雨琦, 李满有, 等. 不同播种量下行距配置对紫花苜蓿产量及品质的影响 [J]. *草业学报*, 2022, 31(2):147-158  
WANG B, YANG Y Q, LI M, et al. Effects of row-spacing configurations under different sowing rates on yield and quality of *Alfalfa* [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(2):147-158
- [22] PANTAZOPOULOU C K, BONGERS F J, PIERIK R. Reducing shade avoidance can improve arabidopsis canopy performance against competitors [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2021, 44(4):1130-1141
- [23] 张哲, 杜桂娟, 马凤江, 等. 遮阴对5种豆科牧草形态和生理指标影响的初探 [J]. *草业科学*, 2011, 28(7):1296-1300  
ZHANG Z, DU G J, MA F J, et al. Preliminary study on the effects of shading on the morphological and physiological indexes of five leguminous forages [J]. *Prataculture Science*, 2011, 28(7):1296-1300
- [24] 杨永庆, 马晓蕾, 李玉荣, 等. 不同光源条件下与花生株高变化相关基因的转录组分析 [J]. *四川农业大学学报*, 2024, 42(1):19-27  
YANG Y Q, MA X L, LI Y R, et al. Transcriptome analysis of genes related to peanut plant height variation under different light sources [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2024, 42(1):19-27
- [25] BAATH G S, SARKAR S, SAPKOTA R B, et al. Forage yield and nutritive value of summer legumes as affected by row spacing and harvest timing [J]. *Farming System*, 2024, 2(1):100069
- [26] KUMAGAI E. Agronomic responses of soybean cultivars to narrow intra-row spacing in a cool region of northern japan [J]. *Plant Production Science*, 2021, 24(1):29-40
- [27] SOLANGI F, ZHU X Y, SOLANGI A K, et al. Responses of soil enzymatic activities and microbial biomass phosphorus to improve nutrient accumulation abilities in leguminous species [J]. *Scientific Reports*, 2024, 14(1):11139
- [28] SONG J, LIU Y, CAI W X, et al. Unregulated GmAGL82 due to phosphorus deficiency positively regulates root nodule growth in soybean [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, 25(3):1802
- [29] ZHU S, LUO L, ZHANG X, et al. Study on the relationship of root morphology and phosphorus absorption efficiency with phosphorus uptake capacity in 235 peanut (*Arachis hypogaea* L.) germplasm [J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10:855815
- [30] RAGAB T S, SELEIMAN M F, MAJED A, et al. Exogenous Potassium treatments elevate salt tolerance and performances of Glycine max L. by boosting antioxidant defense system under actual saline field conditions [J]. *Agronomy*, 2020, 10(11):1741
- [31] 刘艳楠, 刘晓静. 施肥对两个紫花苜蓿品种生产性能及营养品质的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2014, 49(1):111-115  
LIU Y N, LIU X J. Effects of fertilization on production performance and nutritional quality of two *Alfalfa* varieties [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2014, 49(1):111-115
- [32] 何飞, 赵忠祥, 康俊梅, 等. 氮磷钾配施对紫花苜蓿草产量及品质的影响 [J]. *中国草地学报*, 2019, 41(5):24-32  
HE F, ZHAO Z X, KANG J M, et al. Effects of N, P and K Fertilizer on Alfalfa Hay Yield and Quality [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(5):24-32
- [33] 屈洋, 马雯, 刘晓婷, 等. 种植密度和喷施乙烯利对大豆产量和品质的影响 [J]. *安徽农学通报*, 2024, 30(9):20-24  
QU Y, MA W, LIU X T, et al. Effects of planting density and spraying ethylene on soybean yield and quality [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2024, 30(9):20-24
- [34] 孟祥君, 俞慧云, 付萍, 等. 不同种植区陇东苜蓿营养价值的比较研究 [J]. *中国饲料*, 2021(17):95-99  
MENG X J, YU H Y, FU P, et al. comparative study on nutritional value of Longdong *Alfalfa* in different planting areas [J]. *China Feed*, 2021(17):95-99
- [35] 南攀, 师尚礼. 紫花苜蓿品种产量及营养品质对调亏灌溉的响应 [J]. *草原与草坪*, 2024, 44(4):9-18  
NAN P, SHI S L. response of yield and nutritional quality of *Alfalfa* varieties to deficit irrigation [J]. *Grassland and Turf*, 2024, 44(4):9-18