

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0489

魏永鹏,南丽丽,于闯,付双军.种植密度和行距配置对紫花苜蓿群体产量及品质的影响.草业科学,2017,34(9):1898-1905.

Wei Y P, Nan L L, Yu C, Fu S J. Effects of row spacing and planting density on the yield and quality of *Medicago sativa*. Pratacultural Science, 2017, 34(9): 1898-1905.

种植密度和行距配置对紫花苜蓿 群体产量及品质的影响

魏永鹏,南丽丽,于闯,付双军

(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研究中心,甘肃兰州730070)

摘要:以甘肃省主栽品种甘农3号紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. Gannong No.3)为研究对象,研究了甘肃荒漠灌区播种量(12,16,20和24 kg·hm⁻²)和行距配置[3种等行距10,15和20 cm,2种宽窄行距6行×10 cm(窄)+40 cm(宽)和6行×10 cm(窄)+30 cm(宽)]对其干草产量、茎叶比及营养成分的影响。结果表明,不同的行距处理中,20 cm行距的首蓿干草产量显著高于15,10cm和两种宽窄行距($P<0.05$);不同的播种量处理中,播种量为16 kg·hm⁻²的首蓿年总干草产量显著大于20,24和12 kg·hm⁻²($P<0.05$)。播种量为16 kg·hm⁻²、行距为20 cm时,初花期首蓿粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙、磷含量分别为21.89%、3.59%、33.69%、30.98%、1.34%、0.11%,其粗蛋白含量和年干草产量(32 841.71 kg·hm⁻²)显著高于其它处理($P<0.05$)。从产量和营养品质综合考虑,该地区播种量为16 kg·hm⁻²、行距为20 cm是高产、稳产的最佳配置。本研究结果对首蓿的栽培与管理有一定的指导意义。

关键词:紫花苜蓿;行距配置;播种量;荒漠绿洲;灰色关联分析

中图分类号:S816;S541+.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0629(2017)09-1898-08*

Effect of row spacing and planting density on the yield and quality of *Medicago sativa*

Wei Yong-peng, Nan Li-li, Yu Chuang, Fu Shuang-jun

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

Abstract: This report describes the effects of seed sowing rate and row spacing on yield, stem : leaf ratio and nutrient composition of *Medicago sativa* cv. Gannong No. 3 grown in the arid desert region of Gansu. Total yield was the highest when row spacing was 20 cm, which was significantly higher than other spacing of 15, 10 cm, and two kinds of wide and narrow row spacing of planting rows. Total yield was also significantly higher at a seeding rate of 16 kg·ha⁻¹ compared to other seeding rates of 20, 24 and 12 kg·ha⁻¹. Crude protein, crude fat, neutral detergent fibre, acid detergent fibre, calcium, and phosphorus contents were 21.89%, 3.59%, 33.69%, 30.98%, 1.34%, and 0.11% at early flowering stage, respectively. Total yield was 3.28 t·ha⁻¹ and the total crude protein content was 21.89%, and both these were significantly higher at 16 kg·ha⁻¹ seeding rate and 20 cm row spacing compared to all other treatments. Therefore, this may be the optimal combination, as it scored the highest in grey relational analysis on the comprehensive evaluation of major nutrients. These results offer valuable guidance for cultivation and management of alfalfa.

* 收稿日期:2016-09-18 接受日期:2017-01-04

基金项目:农业部行业专项子课题(201403048-8);国家自然科学基金(31460630,41163002);甘肃省高等学校科研项目(2014A-055)

第一作者:魏永鹏(1989-),男,甘肃武威人,在读硕士生,主要从事牧草栽培与育种研究。E-mail:1543918501@qq.com

通信作者:南丽丽(1979-),女,甘肃天水人,副教授,博士,主要从事牧草栽培与育种研究。E-mail:nanll@gsau.edu.cn

Key words: *Medicago sativa*; row spacing; seeding rate; desert oasis; grey correlation analysis

Corresponding author: Nan Li-li E-mail: nanll@gsau.edu.cn

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是我国栽培草地种植面积最大的草种,喜温暖潮湿气候,抗寒、耐旱,根系发达,能吸收土壤深层的水分和养分,且具有草产量高、品质优良、营养全面,动物必需的氨基酸含量丰富等突出优势,很适宜在甘肃各地种植。目前紫花苜蓿在甘肃省种植面积为 55.67 万 hm^2 ,居全国第一,约占全国种植面积的 1/3,发展苜蓿草产业是改善当地生态环境和提高经济效益的有效途径^[1]。

紫花苜蓿产量的稳定增长离不开高产配套栽培措施,种植密度和行距配置就是其中的两个重要方面,它们在很大程度上影响紫花苜蓿的群体结构,进而影响群体的光能利用和干物质生产^[2]。种植密度决定群体的大小,而行距配置方式则决定群体的均匀性^[3]。有关种植密度对苜蓿草产量的影响已有报道^[4-5],针对荒漠绿洲灌区不同种植密度下如何确定合理的行距配置还鲜见报道。由于合理的行距可以改善冠层内的光照、温度、湿度和 CO_2 等微环境,影响群体的光合效率和作物产量。尤其在高密度条件下,宽窄行种植可扩大光合面积,充分利用不同层次的光资源,改善通风能力,提高中下层叶片的光合性能,更好地协调植株群体和个体的关系,使光能在植株群体冠层内的分布更加合理,提高植株群体的光能利用率,进而增加植株产量^[6]。为此,本试验对荒漠绿洲灌区不同种植密度及行距配置下紫花苜蓿群体产量和品质进行了研究,以期通过栽培措施的调

控,挖掘紫花苜蓿的生产潜力,为进一步实现紫花苜蓿的高产、质优提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

试验在甘肃农业大学武威牧草试验站进行,地理坐标为 $37^{\circ}55' \text{N}$, $102^{\circ}40' \text{E}$,海拔 1 530.88 m。试验区为温带干旱荒漠气候,年均温 7.2°C ,降水量 150 mm,蒸发量 2 019.9 mm,无霜期 154 d,土壤类型为沙壤土。0—20 cm 土层 pH 8.70,有机质含量 $10.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮含量 $7.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷含量 $3.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 88.2、13.24 和 $119.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验选取甘肃省主栽紫花苜蓿品种甘农 3 号 (*M. sativa* cv. Gannong No.3),设 4 个大田播种量,即 $12 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D_1)、 $16 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D_2)、 $20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D_3)、 $24 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D_4);5 种行距配置:3 种等行距播种,即 10 cm (S_1)、15 cm (S_2)、20 cm (S_3),2 种宽窄行播种,窄行行距设置为 10 cm,每 6 行设置 1 个 40 cm 宽行距 (S_4) 或 30 cm 宽行距 (S_5)。采用裂区设计(表 1),主区为密度处理,裂区为行距处理,重复 3 次,每个处理 20 m^2 ,于 2014 年 7 月 15 日人工开沟条播,播深 2 cm,8 月 1 日出苗。按照高产田进行田间管理,满足肥水供应。

表 1 试验设计

Table 1 Planting density and row spacing experimental design

处理 Treatment	播种量 Seeding rate/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	行距 Row spacing	处理 Treatment	播种量 Seeding rate/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	行距 Row spacing
$D_1 S_1$	12	10 cm	$D_2 S_1$	16	10 cm
$D_1 S_2$	12	15 cm	$D_2 S_2$	16	15 cm
$D_1 S_3$	12	20 cm	$D_2 S_3$	16	20 cm
$D_1 S_4$	12	$6 \times 10 \text{ cm} + 40 \text{ cm}$	$D_2 S_4$	16	$6 \times 10 \text{ cm} + 40 \text{ cm}$
$D_1 S_5$	12	$6 \times 10 \text{ cm} + 30 \text{ cm}$	$D_2 S_5$	16	$6 \times 10 \text{ cm} + 30 \text{ cm}$
$D_3 S_1$	20	10 cm	$D_4 S_1$	24	10 cm
$D_3 S_2$	20	15 cm	$D_4 S_2$	24	15 cm
$D_3 S_3$	20	20 cm	$D_4 S_3$	24	20 cm
$D_3 S_4$	20	$6 \times 10 \text{ cm} + 40 \text{ cm}$	$D_4 S_4$	24	$6 \times 10 \text{ cm} + 40 \text{ cm}$
$D_3 S_5$	20	$6 \times 10 \text{ cm} + 30 \text{ cm}$	$D_4 S_5$	24	$6 \times 10 \text{ cm} + 30 \text{ cm}$

1.3 测定项目及方法

1.3.1 测定株高及干草产量 分别于2015年6月12日(第1茬)、7月31日(第2茬)、9月12日(第3茬)初花期(小区内有20%植株开花)在每小区选取4个生长均匀的样方(2.0 m×2.0 m)进行刈割,刈割留茬高度5 cm,刈割后立刻称量鲜草产量;取刈割好的500 g鲜草于105℃杀青15 min,后置于65℃,24 h烘至恒重,重复4次,取平均值,计算干草产量。取刈割好的鲜草0.5 kg,分离茎和叶并烘干,分别测定叶片重和茎秆重,计算叶茎比,重复4次。每小区随机取10株单株测定其绝对高度,取平均值。

干草产量=鲜草产量×干草比率;

干草比率=鲜草的风干重量/鲜草×100%。

1.3.2 营养成分测定 在每小区第1茬草初花期采集紫花苜蓿鲜草样品1 kg。将该样品风干,然后粉碎,过0.425 mm筛,保存于样品袋中测定如下指标。粗蛋白质(crude protein, CP)含量采用半微量凯氏定氮法测定,中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量采用范氏洗涤纤维分析法测定,粗脂肪(crude extract, EE)含量采用索氏脂肪浸提法测定,钙(calcium, Ca)采用EDTA络合滴定法测定,磷(phosphorus, P)采用钼锑抗比色法测定^[7]。

1.4 统计分析

用Excel 2007进行试验数据处理后,采用SPSS 16.0统计软件进行方差分析和Duncan新复极差检验,应用灰色关联度对营养成分进行综合分析,关联系数($\xi_i(k)$)、关联度(r_i)、权重系数(W_i)和加权关联度(r'_i)计算公式^[8-9]如下:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (1)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (2)$$

$$W_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \quad (3)$$

$$r'_i = \sum_{k=1}^n W_i(k) \xi_i(k) \quad (4)$$

式中: $|X_0(k) - X_i(k)|$ 为绝对差值,记作 $\Delta_i(k)$, $\rho=0.5$ 。 n 为样本数。

最后用每个处理的加权关联度值进行比较,其值越大,苜蓿的品质越好。

2 结果与分析

2.1 苜蓿株高及干草产量比较

植株高度是衡量牧草生长状况的重要指标,与产量呈正相关关系,高植株通常有更高的相对产量潜力^[10]。苜蓿的株高是通过苜蓿的再生性实现的。种植密度、刈割时的留茬高度、刈割的时间和频率,刈割后的施肥、灌水等措施都影响苜蓿的再生。各茬苜蓿株高有显著差异,第2茬草的高度显著高于第1茬草和第3茬草($P<0.05$) (表2),表明第2茬草再生速度要快于第1茬草和第3茬草。不同处理间, D_2S_3 的株高最高,显著高于其它处理($P<0.05$)。

草产量是衡量牧草生产性能的主要指标。方差分析表明,苜蓿干草产量在种植密度间和种植密度与行距配置互作间均无显著差异($P>0.05$),仅在行距配置间存在显著差异($P<0.05$),说明行距配置对苜蓿干草产量的影响较大,且不存在明显的互作效应(表3)。苜蓿干草产量表现为第2茬>第1茬>第3茬;在 D_1 密度下, S_3 处理显著高于其它处理,年产量为 $30\,974.69 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,以后依次为 S_2 ($27\,566.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > S_5 ($27\,129.77 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > S_1 ($25\,617.47 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > S_4 ($24\,932.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);在 D_2 、 D_3 和 D_4 密度下,年产量均表现为 $S_3 > S_2 > S_1 > S_5 > S_4$,且各处理间差异显著。

2.2 种植密度和行距配置对苜蓿叶茎比的影响

苜蓿是以收获茎叶为主的牧草,而叶片中蛋白质含量又远高于茎,适口性又好,因此,叶茎比是衡量苜蓿品质的重要指标^[11]。通过对不同种植密度及行距配置下苜蓿叶茎比统计分析(图1), D_2S_3 、 D_1S_3 叶茎比最高,分别为51.21%和50.19%,其次为 D_2S_2 ,为49.33%, D_4S_5 最小,仅为33.64%,其余处理介于它们之间。相关分析表明,叶茎比与粗蛋白含量极显著正相关($P<0.05$),其相关系数为0.956。

2.3 种植密度和行距配置对苜蓿品质的影响

饲草粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量的高低直接关系到饲草品质的优劣。其中中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维是反映纤维品质好坏最直接的指标^[12],酸性洗涤纤维与动物消化率呈负相关关系,是指示饲草能量的关键,其含量越低,饲草的消化率越高,饲用价值越大^[13]。在相同行距下,苜蓿粗蛋白含量随着密度的增加呈先增加后减小趋势,在 D_2 时达到最大值,即行距为 S_1 、 S_5 时,粗蛋白含量为 $D_2 > D_3 > D_1 > D_4$,行距为 S_2 、 S_3 、 S_4 时,粗蛋白含量为 $D_2 > D_1 > D_3 > D_4$;同一种种植密度下,粗蛋白含量随着行距

表 2 种植密度和行距配置对苜蓿株高 (cm) 的影响
Table 2 Effect of planting density and row spacing on plant height (cm) of alfalfa

密度 Density	行距 Row spacing/cm	第 1 茬 1st cutting (2015-06-12)	第 2 茬 2nd cutting (2015-07-31)	第 3 茬 3rd cutting (2015-09-12)
D ₁	S ₁	89.7 ± 1.6dB	112.6 ± 1.5eA	87.8 ± 1.0bC
	S ₂	87.9 ± 1.2efB	118.1 ± 1.3cA	86.7 ± 1.4bcC
	S ₃	86.7 ± 1.3fB	116.8 ± 1.1cdA	85.9 ± 1.2cC
	S ₄	88.6 ± 2.0eB	120.1 ± 1.7bA	85.2 ± 1.45cC
	S ₅	89.2 ± 1.4deB	112.6 ± 1.9eA	84.3 ± 1.4dC
D ₂	S ₁	92.9 ± 1.0dB	116.8 ± 1.3cdA	82.4 ± 1.0eC
	S ₂	89.7 ± 2.0deB	120.4 ± 1.3bA	86.8 ± 1.4bcC
	S ₃	97.5 ± 1.2aB	124.6 ± 1.0aA	90.4 ± 1.3aC
	S ₄	91.6 ± 1.7dB	114.6 ± 1.8dA	87.1 ± 1.1bC
	S ₅	92.5 ± 1.7dB	111.9 ± 1.4eA	84.5 ± 1.4dC
D ₃	S ₁	95.8 ± 1.5bB	109.6 ± 1.7eA	88.4 ± 1.4bC
	S ₂	90.9 ± 1.9dB	115.5 ± 1.1dA	87.5 ± 1.2bC
	S ₃	89.9 ± 1.8deB	109.4 ± 1.5eA	85.7 ± 1.0cC
	S ₄	93.9 ± 1.1cB	111.8 ± 1.6eA	87.9 ± 1.3bC
	S ₅	94.1 ± 1.6cB	110.3 ± 1.0eA	84.1 ± 1.3dC
D ₄	S ₁	88.5 ± 2.0eB	112.3 ± 1.7eA	83.5 ± 1.3eC
	S ₂	95.1 ± 1.2bB	104.8 ± 1.9gA	87.2 ± 1.6bC
	S ₃	92.1 ± 1.3dB	112.3 ± 2.0dA	89.3 ± 1.1abC
	S ₄	94.1 ± 1.7cB	108.5 ± 1.4fA	90.2 ± 1.3aC
	S ₅	95.9 ± 1.3bB	109.6 ± 1.6eA	87.9 ± 1.4bC

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 同行不同大写字母表示不同茬次间差异显著 ($P < 0.05$), D₁D₄ 和 S₁S₅ 同表 1, 下同。
Note: Different small letters indicate significant differences between different treatments at 0.05 probability level; uppercase letters denote significant differences among different mow times at the 0.05 probability level.

表 3 种植密度和行距配置对苜蓿干草产量 (kg · hm⁻²) 的影响
Table 3 Effect of planting density and row spacing on dry yield (kg · hm⁻²) of alfalfa

密度 Density	行距 Row spacing/cm	第 1 茬 1st cutting (2015-06-12)	第 2 茬 2nd cutting (2015-07-31)	第 3 茬 3rd cutting (2015-09-12)	年产量 Total yield
D ₁	S ₁	7 824.41 ± 31.77cB	10 916.67 ± 60.82bA	6 876.39 ± 27.70eC	25 617.47h
	S ₂	8 217.00 ± 13.12bB	11 366.55 ± 52.76bA	7 983.05 ± 3.89bC	27 566.60c
	S ₃	8 908.00 ± 82.29aB	13 268.61 ± 39.16aA	8 798.08 ± 38.80aC	30 974.69b
	S ₄	8 801.25 ± 72.59bB	8 767.50 ± 87.77dA	7 364.22 ± 24.13cC	24 932.97i
	S ₅	9 694.96 ± 66.80aB	10 463.75 ± 52.29cA	6 971.06 ± 53.48dC	27 129.77d
D ₂	S ₁	7 638.79 ± 72.61dB	10 384.73 ± 54.73cA	6 446.67 ± 3.03fC	24 470.20j
	S ₂	7 911.86 ± 62.72cB	10 338.63 ± 61.67cA	7 764.51 ± 4.70bC	26 015.00g
	S ₃	10 306.48 ± 71.73aB	13 819.92 ± 65.85aA	8 715.31 ± 4.65aC	32 841.71a
	S ₄	6 840.65 ± 76.78eC	7 535.51 ± 31.07eA	7 099.08 ± 12.83cB	21 475.24p
	S ₅	8 230.82 ± 84.25bB	8 460.24 ± 30.02dA	6 746.17 ± 61.40eC	23 437.23k
D ₃	S ₁	7 690.38 ± 14.66cB	8 831.81 ± 69.02dA	6 061.69 ± 23.28gC	22 583.88m
	S ₂	8 350.42 ± 88.61bB	10 778.54 ± 61.84bA	7 468.16 ± 6.19bC	26 597.12f
	S ₃	8 471.73 ± 89.66bB	10 342.89 ± 47.51cA	8 079.81 ± 9.21aC	26 894.42e
	S ₄	7 016.53 ± 44.84eB	7 242.13 ± 35.84eA	6 908.08 ± 29.87dC	21 166.74q
	S ₅	7 576.56 ± 26.19dB	7 993.65 ± 50.50eA	6 750.31 ± 15.35eC	22 320.52n
D ₄	S ₁	7 678.84 ± 54.19dB	9 440.55 ± 46.17dA	5 703.43 ± 7.57hC	22 822.82l
	S ₂	8 604.63 ± 39.18bB	10 053.03 ± 30.76cA	6 837.09 ± 5.54eC	25 494.75h
	S ₃	8 703.24 ± 56.64bB	10 587.80 ± 97.59bA	7 208.46 ± 5.43cC	26 499.50f
	S ₄	7 735.15 ± 50.35dB	8 083.54 ± 77.18eA	6 354.89 ± 2.54fC	22 173.58o
	S ₅	7 843.47 ± 68.12cB	8 409.90 ± 81.59dA	6 267.36 ± 8.48fC	22 520.72m

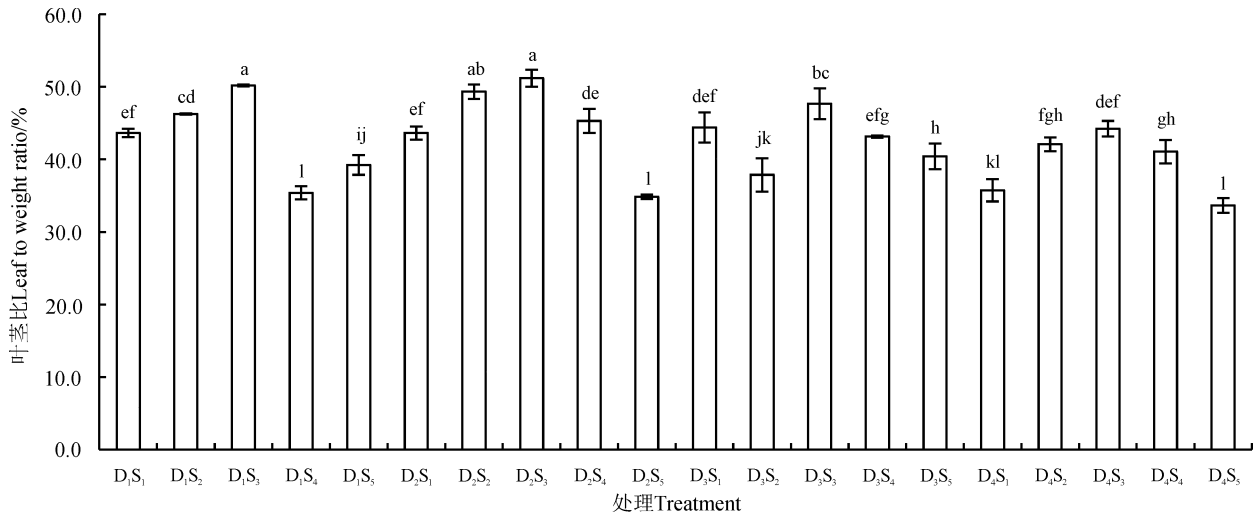


图1 种植密度和行距配置对苜蓿叶茎比的影响

Fig. 1 Effects of planting density and row spacing on leaf to stem ratio of alfalfa

表4 种植密度和行距配置对苜蓿品质的影响

Table 4 Effect of planting density and row spacing on quality of alfalfa plant material

密度 Density	行距 Row spacing	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Crude fat/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	钙 Calcium/%	磷 Phosphorus/%
D ₁	S ₁	15.98±0.20f	3.26±0.34a	31.68±0.41b	35.50±0.69bc	1.03±0.02a	0.11±0.01a
	S ₂	19.33±0.40c	2.61±0.32ab	31.14±0.34b	34.21±0.13c	1.11±0.03a	0.11±0.01a
	S ₃	20.49±0.35b	3.00±0.36a	29.81±0.65c	39.75±0.71a	1.34±0.01a	0.12±0.02a
	S ₄	18.09±0.01d	3.33±0.32a	31.11±0.24b	34.64±0.80c	1.07±0.02a	0.11±0.01a
	S ₅	16.58±0.20ef	3.36±0.19a	33.27±0.21a	36.80±0.18b	1.16±0.04a	0.10±0.02a
D ₂	S ₁	17.43±0.60e	2.74±0.38ab	30.98±0.66b	32.24±0.59d	1.11±0.03a	0.11±0.02a
	S ₂	20.02±0.01b	3.03±0.58a	31.29±0.69b	32.93±0.79d	1.16±0.02a	0.12±0.01a
	S ₃	21.89±0.40a	3.59±0.16a	29.34±0.16c	33.69±0.55cd	1.34±0.01a	0.11±0.03a
	S ₄	18.60±0.20d	3.28±0.32a	32.03±0.51ab	36.69±0.50b	1.24±0.02a	0.06±0.01c
	S ₅	18.01±0.20d	3.58±0.51a	30.56±0.32b	32.65±0.48d	1.08±0.02a	0.10±0.00a
D ₃	S ₁	16.45±0.35ef	2.73±0.62ab	27.76±0.04d	32.79±0.35d	1.11±0.01a	0.11±0.01a
	S ₂	17.55±0.40e	2.96±0.21a	28.77±0.28cd	31.74±0.47e	1.16±0.02a	0.11±0.00a
	S ₃	19.37±0.40c	1.88±0.23c	25.91±0.49e	32.90±0.55d	1.44±0.02a	0.12±0.02a
	S ₄	16.86±0.40ef	3.07±0.10a	28.94±0.56cd	33.26±0.49cd	1.24±0.03a	0.11±0.03a
	S ₅	17.31±0.20e	3.21±0.24a	28.56±0.41cd	35.55±0.33bc	1.06±0.04a	0.10±0.02a
D ₄	S ₁	14.84±0.04g	2.97±0.27a	29.43±0.21c	33.29±0.24cd	0.92±0.02b	0.10±0.02a
	S ₂	16.18±0.33f	2.79±0.30ab	26.52±0.60e	32.01±0.30d	1.03±0.01a	0.11±0.01a
	S ₃	18.05±0.43d	2.35±0.25b	28.00±0.25cd	37.66±0.45b	1.26±0.04a	0.11±0.03a
	S ₄	15.66±0.04f	2.99±0.27a	29.97±0.58c	33.72±0.35cd	0.94±0.02b	0.10±0.02a
	S ₅	15.36±0.40f	2.43±0.70b	29.43±0.37c	32.04±0.12d	0.83±0.03c	0.09±0.00b

的增加呈先增加后减小趋势,在行距 S₃ 时,达到最大值。不同种植密度及行距配置下,以 D₂S₃ 粗蛋白含量最高,为 21.89%,其次为 D₁S₃ 和 D₂S₂,分别为 20.49%和20.02%,其余处理均小于 20%;酸性洗涤纤维含量在 D₁、D₂ 密度下,除 D₁S₃、D₂S₃ 小于 30%,其余处理均大于 30%,而 D₃、D₄ 密度及各行距配置均小

于 30%;中性洗涤纤维各处理均小于 40%,并以 D₃S₂ 最小,仅为 31.74%;粗脂肪含量 D₃S₃ 显著小于其它处理,D₄S₃、D₄S₅、D₁S₂、D₂S₁、D₃S₁ 和 D₄S₂ 相互间无显著差异,D₂S₃ 时粗纤维含量达到最大值,为 3.59%;钙含量除 D₄S₁、D₄S₄ 和 D₄S₅ 显著小于其它处理外,其余处理间无显著差异;磷含量除 D₂S₄ 和 D₄S₅ 显著

小于其它处理外,其余处理间差异不显著。

2.4 灰色关联度对营养成分进行综合分析

采用灰色关联度法,对不同种植密度和行距配置下各处理的叶茎比、粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸

性洗涤纤维、钙、磷等营养指标进行分析,并用每个处理的加权关联度值进行比较(表 5),可以看出 D_2S_3 得分最高,其次为 D_1S_3 、 D_3S_3 ,可见行距 S_3 是苜蓿草田种植的最佳处理。

表 5 灰色关联度对营养成分进行综合分析

Table 5 Comprehensive analysis of grey correlation degree on alfalfa nutrition components

不同组合 Different treatment	关联系数 Correlation coefficient							得分 Score	排序 Order
	叶茎比 Leaf stem ratio	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	中性洗涤剂纤维 Neutral detergent fiber	酸性洗涤剂纤维 Acid detergent fiber	钙 Calcium	磷 Phosphorus		
D_1S_1	0.617 2	0.468 9	0.719 4	0.614 0	0.955 8	0.454 1	0.839 8	0.689 0	7
D_1S_2	0.710 8	0.670 5	0.465 4	0.568 9	0.895 6	0.510 5	0.908 6	0.695 6	6
D_1S_3	0.923 2	0.787 9	0.590 7	1.000 0	0.774 4	0.771 9	1.000 0	0.839 6	2
D_1S_4	0.435 1	0.578 5	0.762 1	0.583 2	0.892 0	0.479 2	0.790 6	0.663 4	9
D_1S_5	0.504 8	0.495 6	0.784 9	0.670 4	1.193 7	0.548 5	0.583 3	0.701 3	5
D_2S_1	0.616 4	0.539 0	0.500 8	0.511 3	0.739 2	0.512 2	0.789 7	0.615 8	14
D_2S_2	0.866 8	0.736 0	0.601 1	0.529 9	0.911 3	0.548 5	1.000 0	0.762 2	4
D_2S_3	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.552 3	0.878 4	0.771 9	0.815 5	0.860 9	1
D_2S_4	0.673 6	0.612 9	0.731 6	0.662 7	1.000 0	0.628 8	0.351 4	0.667 1	8
D_2S_5	0.427 1	0.573 4	0.977 6	0.522 2	0.630 3	0.486 4	0.682 6	0.620 0	12
D_3S_1	0.641 6	0.489 4	0.498 4	0.526 2	0.641 3	0.508 8	0.801 8	0.599 2	16
D_3S_2	0.477 3	0.545 5	0.574 4	0.498 5	0.700 4	0.552 6	0.862 3	0.616 9	13
D_3S_3	0.774 2	0.673 9	0.333 3	0.529 2	0.554 7	1.000 0	1.000 0	0.771 9	3
D_3S_4	0.602 5	0.509 2	0.621 5	0.539 6	0.711 3	0.628 8	0.884 2	0.656 1	10
D_3S_5	0.530 3	0.532 6	0.687 8	0.616 1	0.687 1	0.476 4	0.698 0	0.612 8	15
D_4S_1	0.440 8	0.425 2	0.578 0	0.540 5	0.745 7	0.398 3	0.689 6	0.561 2	18
D_4S_2	0.572 6	0.477 5	0.514 0	0.505 3	0.580 5	0.455 3	0.729 5	0.558 0	19
D_4S_3	0.636 0	0.575 7	0.407 7	0.708 7	0.654 1	0.658 8	0.798 2	0.640 8	11
D_4S_4	0.546 1	0.455 4	0.585 1	0.553 4	0.795 3	0.409 2	0.630 8	0.581 8	17
D_4S_5	0.409 8	0.444 1	0.422 6	0.506 0	0.745 8	0.361 2	0.528 1	0.501 1	20
关联度 Association	0.620 3	0.579 6	0.617 8	0.586 9	0.784 3	0.558 1	0.790 2		
权重 Weight	0.136 7	0.127 7	0.136 2	0.129 4	0.172 9	0.123 0	0.174 2		

3 讨论与结论

合理的种植密度和行距配置是确保苜蓿获得高产的重要条件。密度太大,植物之间对光、热、水、肥等因素的竞争强烈,不利于植株合理的利用资源;密度过疏,植株间的竞争减少,但单位空间内植株的数量少,也会影响生物产量,只有合理的种植密度才能使植物在充分利用外界资源的同时获得较高的产量^[14]。在河西地区紫花苜蓿的适宜播种密度为 600 万粒· hm^{-2} ,此密度下草产量和单位面积蛋白质产量最高,分别为 24 776.66 和 4 924.5 $kg \cdot hm^{-2}$ ^[5];随着播

种密度的增加,紫花苜蓿返青提前而开花推迟,同期株高增加,耐旱能力下降,干物质含量呈降低的趋势。当苜蓿播种密度超过 35 $kg \cdot hm^{-2}$ 时,草产量不再随密度的增加而提高^[4]。本研究表明,行距为 S_1 、 S_2 、 S_4 及 S_5 时, D_1 密度年干草产量最大;行距为 S_3 时, D_2 密度年干草产量最大;这与干草产量随着播种量的增加而增加不是很相符,一是由于以上关于播种量的研究,均是以播种量为单一的因素来研究播种量对产量的影响,而本研究不仅考虑了播种量因素,同时还涉及了行距,削弱了单一播种量的影响效应;二是本研究为苜蓿播种第 2 年的产量数据,多年数据的影响结果还有待

于进一步研究。

种植行距对苜蓿产草量的影响总的趋势是在同一密度条件下,随着行距的增大,草产量不断增加,当行距增大到一定程度后,草产量有所下降。柴凤久等^[15]用3年时间对大庆油田采矿区不同播种行距建植的苜蓿草地产草量进行了测定,结果表明播种行距60 cm比行距30 cm的干草产量高。孙仕仙等^[16]研究表明,在4个行距20、28、36、40 cm中,以行距36 cm草产量最优。本研究表明,在D₁密度下,S₃处理年干草产量显著高于其它处理,其次为S₂,S₄最小;在D₂、D₃和D₄密度下,干草年产量均表现为S₃>S₂>S₁>S₅>S₄,但苜蓿草地草产量受到综合影响,因此在考虑行距与播种密度相互作用时,当行距为20 cm,播种量为16 kg·hm⁻²时,苜蓿群体光合速率较高,光合产物积累量增加,且苜蓿群体与个体得到协调发展,使苜蓿群体产量显著增加。此外,本研究表明,苜蓿干草产量表现为第2茬>第1茬>第3茬,第2茬草生长期(6月12日至7月31日),甘肃河西地区光照充足,苜蓿群体光合速率较大,干物质积累较多,加上适宜的水肥,使得苜蓿干草产量显著高于第1茬草和第3茬草。

利用灰色关联度分析法综合评价牧草克服了依靠

单一性状评价的弊端,可客观反映供试牧草诸多性状在生产性能上的综合表现,不会因某一性状表现优而认可该品种或某一性状表现差而否定该品种^[17-18]。本研究对各处理的叶茎比、粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙、磷等营养指标采用灰色关联度分析法进行综合分析,达到了综合评价苜蓿营养价值的目的,避免了只用单一含量来评定苜蓿的营养价值,得到的结果更加可靠。

产量和品质是紫花苜蓿生产的关键,产量的提高是同化物积累的结果,而品质的改善是同化物在不同物质形态间转化的结果。目前在美国市场上出售的苜蓿,主要根据其粗蛋白质含量进行等级划分,按质论价^[19-20]。本研究表明,在甘肃荒漠灌区,甘农3号紫花苜蓿播种量为16 kg·hm⁻²、行距为20 cm时,初花期粗蛋白含量为21.89%,年干草产量为32 841.71 kg·hm⁻²,显著高于其它处理,比当地播种量30 kg·hm⁻²、行距30 cm,干草产量17 238 kg·hm⁻²(第2年)^[21]高90.52%。

综上,在甘肃荒漠灌区甘农3号紫花苜蓿播种量16 kg·hm⁻²、行距为20 cm是最优密度和行距组合。

参考文献 References:

- [1] 张洁冰,南志标,唐增.美国苜蓿草产业成功经验对甘肃省苜蓿草产业之借鉴.草业科学,2015,32(8):1337-1343.
Zhang J B, Nan Z B, Tang Z. The successful experience of alfalfa industry in United States as a reference to Gansu alfalfa industries. Pratacultural Science, 2015, 32(8): 1337-1343. (in Chinese)
- [2] 刘丽平,胡焕焕,李瑞奇,李慧玲,常春丽,李雁鸣.行距配置和密度对冬小麦品种河农822群体质量及产量的影响.华北农学报,2008,23(2):125-131.
Liu L P, Hu H H, Li R Q, Li H L, Chang C L, Li Y M. Effects of spacing pattern and planting density on population quality and grain yield of a winter wheat cultivar Henong 822. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(2): 125-131. (in Chinese)
- [3] 董钻,沈秀瑛.作物栽培学总论.北京:中国农业出版社,2000.
Dong Z, Shen X Y. Overall Review of Crop Cultivation. Beijing: China Agricultural Press, 2000. (in Chinese)
- [4] 余有成,赵永宏,郭海俊,李玉荣.播种量对秋播苜蓿越年产量的影响.家畜生态学报,2007,28(5):86-88.
Yu Y C, Zhao Y H, Guo H J, Li Y R. Effect of alfalfa sowing quantity in autumn on fresh yield in the second year. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2007, 28(5): 86-88. (in Chinese)
- [5] 王莹,段学义,张胜昌,段晓丽,杨慧玲,钱宝玲.紫花苜蓿播种密度对草产量及其他生物学性状的影响.草业科学,2011,28(7):1400-1402.
Wang Y, Duan X Y, Zhang S C, Duan X L, Yang H L, Qian B L. Influence of planting density on grass yield and other biological properties of *Medicago sativa*. Pratacultural Science, 2011, 28(7): 1400-1402. (in Chinese)
- [6] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,李耕,董树亭,张吉旺,王敬锋.种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响.作物学报,2010,36(7):1226-1233.
Yang J S, Gao H Y, Liu P, Li G, Dong S T, Zhang J W, Wang J F. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(7): 1226-1233. (in Chinese)
- [7] 甘肃农业大学.草原生态化学实验指导.北京:农业出版社,1987.
Gansu Agricultural University. Experimental Guide of Grassland Ecological Chemistry. Beijing: Agricultural Press, 1987. (in

- Chinese)
- [8] 柯梅, 朱昊, 梁维维, 李学森, 任玉平. 苏丹草农艺性状与产量、品质间的灰色关联度分析. 草业科学, 2016, 33(5): 949-955.
Ke M, Zhu H, Liang W W, Li X S, Ren Y P. Grey correlation analysis of main agronomic characters and its yield and quality traits in *Sorghum sudanense*. Pratacultural Science, 2016, 33(5): 949-955. (in Chinese)
- [9] 田兵, 冉雪琴, 薛红, 谢健, 陈彬, 武玉祥, 王嘉福, 王啸. 贵州 42 种野生牧草营养价值灰色关联度分析. 草业学报, 2014, 23(1): 92-103.
Tian B, Ran X Q, Xue H, Xie J, Chen B, Wu Y X, Wang J F, Wang X. Evaluation of the nutritive value of 42 kinds of forage in Guizhou Province by grey relational grade analysis. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(1): 92-103. (in Chinese)
- [10] Davis R L, Baker R J. Predicting yields from associated characters in *Medicago sativa* L. Crop Science, 1966, 2: 492-494.
- [11] 刘东霞, 刘贵河, 杨志敏. 种植及收获因子对紫花苜蓿干草产量和茎叶比的影响. 草业学报, 2015, 24(3): 48-57.
Liu D X, Liu G H, Yang Z M. The effects of planting and harvesting factors on hay yield and stem-leaf ratio of *Medicago sativa*. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(3): 48-57. (in Chinese)
- [12] 王林, 张慧杰, 玉柱, 徐春城, 孙启忠. 苜蓿与直穗鹅观草混贮发酵品质研究. 草业科学, 2011, 28(10): 1888-1893.
Wang L, Zhang H J, Yu Z, Xu C C, Sun Q Z. The fermentation quality of mixed silage of *Medicago sativa* and *Roegneria turczanionii*. Pratacultural Science, 2011, 28(10): 1888-1893. (in Chinese)
- [13] 李向林, 张新跃, 唐一国, 何峰, 张坚中. 日粮中精料和牧草比例对舍饲山羊增重的影响. 草业学报, 2008, 17(2): 43-47.
Li X L, Zhang X Y, Tang Y G, He F, Zhang J Z. Effect of concentrate-forage ratio in diet on liveweight gain of stall-fed goats. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(2): 43-47. (in Chinese)
- [14] 穆怀彬, 侯向阳, 米福贵. 苜蓿不同密度种植生长状况及经济效益分析. 中国奶牛, 2008(4): 16-18.
Mu H B, Hou X Y, Mi F G. Analysis of growing conditions and economic benefits of alfalfa planted in different densities. China Dairy Cattle, 2008(4): 16-18. (in Chinese)
- [15] 柴凤久, 高海娟, 刘泽东, 尤海洋. 大庆油田采矿区高产高效苜蓿草地建植的研究. 黑龙江畜牧兽医, 2013(19): 85-86.
Chai F J, Gao H J, Liu Z D, You H Y. Study on high yield and high efficiency alfalfa grassland construction in the mining area of Daqing Oilfield. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2013(19): 85-86. (in Chinese)
- [16] 孙仕仙, 毛华明, 毕玉芬. 苜蓿栽培试验研究. 现代农业科技, 2009(11): 210-211.
Sun S X, Mao H M, Bi Y F. Study of the experiment of cultivation for alfalfa (*Medicago sativa* L.). Modern Agricultural Science and Technology, 2009(11): 210-211. (in Chinese)
- [17] 徐丽君, 杨桂霞, 辛晓平, 乌恩奇, 青格勒, 朱树声, 董民. 不同混播模式下草地营养成分综合评价. 草业科学, 2014, 31(2): 278-283.
Xu L J, Yang G X, Xin X P, Wu E Q, Qing G L, Zhu S S, Dong M. Comprehensive evaluation of nutrition of grasslands under different mixed sowing patterns. Pratacultural Science, 2014, 31(2): 278-283. (in Chinese)
- [18] 杨翌, 张新全, 李向林, 万里强, 何峰. 应用灰色关联度综合评价 17 个不同休眠级苜蓿的生产性能. 草业学报, 2009, 18(5): 67-72.
Yang Z, Zhang X Q, Li X L, Wan L Q, He F. Applying grey correlative degree analysis to comprehensively evaluate growth performance of 17 types of alfalfa with different fall-dormancy grades. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(5): 67-72. (in Chinese)
- [19] 南丽丽, 师尚礼, 郭全恩, 朱新强. 根茎型清水苜蓿鲜草产量及营养价值评价. 中国草地学报, 2012, 34(5): 63-68.
Nan L L, Shi S L, Guo Q E, Zhu X Q. Assess on fresh forage yield and nutritive value of rhizomatous rooted *Medicago sativa* L. cv. Qingshui. Chinese Journal of Grassland, 2012, 34(5): 63-68. (in Chinese)
- [20] 寇江涛, 师尚礼, 蔡卓山. 垄沟集雨种植对旱作紫花苜蓿生长特性及品质的影响. 中国农业科学, 2010, 43(24): 5028-5036.
Kou J T, Shi S L, Cai Z S. Effects of ridge and furrow rainfall harvesting on growth characteristics and quality of *Medicago sativa* in dryland. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(24): 5028-5036. (in Chinese)
- [21] 刘晓静, 张进霞, 李文卿, 范俊俊. 施肥及刈割对干旱地区紫花苜蓿产量和品质的影响. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1516-1526.
Liu X J, Zhang J X, Li W Q, Fan J J. Effects of nitrogen and phosphorus addition and cuttings on yield and quality of alfalfa in dry region of Gansu, China. Journal of Desert Research, 2014, 34(6): 1516-1526. (in Chinese)

(责任编辑 张瑾)