

种植密度和施肥量对紫花苜蓿生长特性的影响

张恩天^{1,2}, 于铁峰^{1,2}, 郝凤^{1,2}, 高凯^{1,2*}

(1. 内蒙古民族大学, 内蒙古 通辽 028000; 2. 生态文明与绿色发展研究院, 内蒙古 通辽 028000)

摘要:【目的】探究种植密度和有机肥施用量互作机制对科尔沁沙地紫花苜蓿生长的影响, 明确科尔沁沙地紫花苜蓿高产优质生产中适宜的种植密度和有机肥施用量。【方法】以公农1号紫花苜蓿 (*Medicago sativa* cv Gongnong No. 1) 为研究材料, 采用田间小区试验, 研究2个种植密度(15、12.5 kg/hm²)和5个有机肥施用量(0、200、400、600、800 kg/hm²), 对其生长特性和饲草产量的影响。【结果】种植密度和有机肥施用量以及二者互作对紫花苜蓿的株高、茎粗、分枝数、生长速度、产量等指标有显著影响, 各指标在低种植密度处理下(12.5 kg/hm²)均好于高种植密度处理(15 kg/hm²), 且随着有机肥施用量的增加呈现先增大后减小的趋势。在种植密度为12.5 kg/hm², 有机肥施用量为600 kg/hm²处理下, 茎粗、分枝数、株高、生长速度、茎叶比、干鲜比及饲草年产量均显著高于其他处理($P < 0.05$), 饲草年产量达最大值, 为17 519.53 kg/hm²。【结论】种植密度和有机肥施用量互作对紫花苜蓿生长影响较大, 合理的种植密度和有机肥施用量可以促进紫花苜蓿生长, 增加紫花苜蓿产量。

关键词: 紫花苜蓿; 种植密度; 施肥量; 生长特性

中图分类号: S541.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)06-0217-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.06.024



紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是草食家畜的优质饲草之一, 享有“牧草之王”的美誉, 具有产草量高, 营养物质丰富, 适口性好等特点^[1-3]。内蒙古因其独特的地理位置和气候条件成为我国重要的畜产品生产基地^[4], 畜牧业作为内蒙古地区的基础产业, 同时也是农牧民生存和发展的支柱产业。随着畜牧业的发展, 放牧压力随之增大, 导致草地退化, 天然草地压力与日俱增。而人工草地种植是缓解天然草地压力, 解决草畜矛盾的重要手段。作为豆科牧草的紫花苜蓿, 是缓

解蛋白饲料短缺的主力军。在其高产高效优质生产过程中, 种植密度和施肥量直接影响紫花苜蓿饲草产量及品质潜能的发挥, 因此研究种植密度和施肥量对提高紫花苜蓿产量和品质具有重要意义。

合理密植能够促进紫花苜蓿高产高效^[5-6], 种植密度过高, 植株的株高、分枝数和生物量随密度的增大有明显的下降趋势^[7]。种植密度过低, 虽然植株个体可以获得更加充足的光照, 水分, 养分, 空间资源等, 但总体产量下降^[8]。如余有成等^[9]在陕西关中农区播种量对紫花苜蓿草产量的影响进行研究表明, 播种量在10~35 kg/hm²时, 随播种量增加紫花苜蓿草产量也增大; 当播种量超过35 kg/hm²时, 随播种量增加紫花苜蓿草产量不再增大。近年来, 为追求作物的高产, 化肥的施用量逐年增加, 但利用率却很低, 不仅增加成本而且污染环境, 甚至威胁人类健康安全。但对紫花苜蓿施肥的研究多集中于速效肥的施用, 且在科尔沁地区土壤沙化严重, 保肥保水能力差, 速效肥的施用效果短暂、淋溶浪费较多。目前对沙地种植紫花苜蓿的研究多集中在品质筛选^[10]、灌溉量^[11]和复合肥

收稿日期: 2023-09-06; **修回日期:** 2023-11-21

基金资助: 2023年度自治区直属高校基本科研业务费项目; 2022年度自治区直属高校基本科研业务费项目; 国家自然科学基金项目(32260343); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2021MS03085); 内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目(GXKY22052)。

作者简介: 张恩天(1998-), 男, 内蒙古通辽人, 硕士研究生。E-mail: 1834066484@qq.com

*通信作者。E-mail: gaokai555@126.com

施用量^[29]等方面,对有机肥施用量的研究较少,因此从生态优先,绿色发展的角度出发,本试验选用有机肥作为追肥,以公农1号紫花苜蓿作为材料,评定不同种植密度和有机肥施用量互作作用下紫花苜蓿生长特性和饲草产量等表现,以探索试验区内及周边地区紫花苜蓿高效生产最适宜的种植密度和有机肥施用量,进而为紫花苜蓿规模化生产提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于内蒙古民族大学农牧业科技示范园区。试验地区为典型的温带大陆性季风气候,年平均气温6.4℃,极端最低温-30.9℃,无霜期150d,年均降水量399.1mm,生长季(4—9月)降水量占全年的89%。土壤为风沙土,土壤有机质含量4.86g/kg,速效钾94.65mg/kg,有效磷10.46mg/kg,碱解氮11.15mg/kg,pH值8.2。具有喷灌条件,干旱时灌水。

1.2 供试材料

供试品种:紫花苜蓿品种公农1号,由内蒙古民族大学农学院提供。

供试有机肥:商品有机肥(颗粒状,含有地衣芽孢杆菌,有机质含量 $\geq 60\%$,N含量为1.481%,P含量为2.024%,K含量为0.886%)

1.3 试验设计

试验采用种植密度和有机肥施用量双因素试验设计,紫花苜蓿种植密度设2个水平,播种量分别为15、12.5kg/hm²。用S₁、S₂表示,有机肥施肥量设5个水平,分别为0、200、400、600、800kg/hm²,分别用F₁、F₂、F₃、F₄、F₅表示,小区面积6m×6m,3次重复,共30个处理。试验小区地块精细平整,小区之间以小田埂分开。播种前一次性施足基肥,基肥为氮磷钾复合肥(N:P:K=15:15:15),氮肥45kg/hm²,磷肥(P₂O₅)45kg/hm²,钾肥(K₂O)45kg/hm²,2020年7月播种,播种深度2~3cm,条播,行距为20cm。播种当年刈割1次,不进行数据测定,种植第2年开始,于初花期刈割(2020年7月),全年刈割3次,每次刈割后进行相关指标测定。有机肥分别在返青前、第1次和第2次刈割后,平均施入(如在沙地用尿素作为追肥,肥料利用率低,施肥后速效肥料迅速流失,效果不好)。施肥后充

分灌溉至有机肥完全溶化,在平时的田间浇水作业中采取少量多次的灌溉方法。各小区除试验设计处理不同外,其它管理措施相同。

1.4 测定指标与方法

株高测定:植株刈割前,采用随机取样方法测定植株高度,每个小区随机测定30个枝条数,计算平均值。

茎粗测定:植株刈割前,采用随机取样方法在距离地面5cm处测定植株茎粗,每个小区随机测定30个枝条数,计算平均值。

分枝数测定:收获当天,各小区采用随机取样方法取30个枝条数测定植株的一级分枝数。

茎叶比和干鲜比:刈割时各小区取10个枝条数进行茎叶分离并记录茎叶数,称其鲜重,105℃杀青15min后,65℃烘干至恒重,称其干重。

生长速度测定:植物返青和刈割之后,每10d随机选取10个枝条数测量高度,计算生长速度。

地上生物量测定:地上生物量的测定采用收获法,各小区选取1m×1m的代表性样方,将紫花苜蓿称鲜重,测定草产量,留茬高度5cm,收割后立即称鲜重,重复3次,取其平均值。然后取500g左右鲜样带回室内在105℃下杀青30min,65℃下烘干称干重,计算干物质率,根据测产面积换算紫花苜蓿地上生物量。

1.4 数据处理

采用Excel 2019初步计算,DPS 14.0进行双因素有重复方差分析,采用新复极差法(Duncan法)显著性水平为 $P < 0.05$ 上进行比较。

2 结果与分析

2.1 方差分析

对紫花苜蓿全年3茬次的生长指标的平均数进行方差分析(表1),由方差分析结果可知,种植密度和施肥量对紫花苜蓿的茎粗、分枝数、株高、生长速度、茎叶比、产量均有极显著($P < 0.01$)的影响,对干鲜比影响不显著,二者互作对茎粗、株高和生长速度的影响极显著($P < 0.01$),对分枝数、茎叶比和产量影响显著($P < 0.05$),对干鲜比无显著影响。

2.2 种植密度和施肥对紫花苜蓿茎粗的影响

在相同施肥量条件下,紫花苜蓿的茎粗在低种植

表1 双因素方差分析

Table 1 Two factors analysis of variance

影响因素	茎粗	分枝数	株高	生长速度	茎叶比	干鲜比	产量
种植密度	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P>0.05$	$P<0.01$
施肥量	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P>0.05$	$P<0.01$
二者互作	$P<0.01$	$P<0.05$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.05$	$P>0.05$	$P<0.05$

密度处理下大于高种植密度处理(表2)。在相同种植密度条件下,随着施肥量的增加,茎粗呈现先增大后减小的趋势。不同茬次紫花苜蓿茎粗均在 S_2F_4 处理下出现最大值,分别为4.77,4.21和2.87 mm,且显著

高于其余处理($P<0.05$),其次是 S_1F_4 和 S_2F_5 处理。茎粗在不同茬次呈现第1茬>第2茬>第3茬,3茬茎粗和茎粗均值在 S_2F_4 处理下均达到最大,显著高于其余处理($P<0.05$)。

表2 种植密度和施肥对紫花苜蓿茎粗的影响

Table 2 Effects of planting density and fertilization on stem thickness of alfalfa

种植密度	施肥量	第1茬/mm	第2茬/mm	第3茬/mm	平均值/mm
S1	F1	3.57 ± 0.08^d	3.03 ± 0.05^e	1.87 ± 0.14^{cd}	2.82 ± 0.01^e
	F2	3.53 ± 0.13^d	3.16 ± 0.12^e	1.81 ± 0.20^d	2.84 ± 0.02^e
	F3	3.51 ± 0.24^d	3.21 ± 0.12^e	1.92 ± 0.12^{cd}	2.88 ± 0.11^e
	F4	4.12 ± 0.10^b	3.26 ± 0.09^e	2.39 ± 0.12^b	3.23 ± 0.08^b
	F5	3.74 ± 0.21^{cd}	3.21 ± 0.09^e	2.32 ± 0.34^b	3.12 ± 0.01^{bc}
S2	F1	3.59 ± 0.17^d	3.10 ± 0.13^e	2.14 ± 0.02^{bcd}	2.95 ± 0.10^{de}
	F2	3.78 ± 0.08^{cd}	3.19 ± 0.22^e	2.18 ± 0.15^{bc}	3.05 ± 0.09^{cd}
	F3	3.81 ± 0.28^{cd}	3.22 ± 0.14^e	2.37 ± 0.26^b	3.13 ± 0.17^{bc}
	F4	4.77 ± 0.16^a	4.21 ± 0.15^a	2.87 ± 0.14^a	3.95 ± 0.10^a
	F5	3.96 ± 0.07^{bc}	3.65 ± 0.24^b	2.09 ± 0.06^{bcd}	3.23 ± 0.10^b

注:同列小写字母表示不同处理间0.05水平上差异显著。下同。

2.3 种植密度和施肥对紫花苜蓿分枝数的影响

紫花苜蓿分枝数在第1茬至第3茬的变化范围分别是17~12个,14~9个,10~6个,呈现出逐渐减小的趋势(表3)。在相同的种植密度下,分枝数随有机肥

施用量的增加呈现先增大后减小的趋势。在相同施肥量下,在低种植密度处理的分枝数高于高种植密度处理的分枝数,3茬分枝数和其均值在 S_2F_4 处理下最多,显著高于其余处理($P<0.05$)。

表3 种植密度和施肥对紫花苜蓿分枝数的影响

Table 3 Effects of planting density and fertilization on the branch number of alfalfa

种植密度	施肥量	第1茬/个	第2茬/个	第3茬/个	平均值/个
S1	F1	12.17 ± 0.29^f	9.00 ± 0.87^d	6.67 ± 0.29^d	9.27 ± 0.40^f
	F2	13.33 ± 0.29^{de}	9.50 ± 0.50^{cd}	6.83 ± 0.29^{cd}	9.90 ± 0.26^{ef}
	F3	14.00 ± 0.5^{bcd}	10.00 ± 1.00^{cd}	7.00 ± 0.50^{cd}	10.33 ± 0.42^{de}
	F4	14.83 ± 0.29^b	10.67 ± 0.76^{bcd}	7.67 ± 0.29^{bcd}	11.03 ± 0.25^{cd}
	F5	14.17 ± 0.29^{bcd}	10.17 ± 1.26^{cd}	7.50 ± 0.50^{bcd}	10.63 ± 0.12^{de}
S2	F1	12.83 ± 1.04^{ef}	10.17 ± 1.26^{cd}	8.33 ± 1.61^{bcd}	10.43 ± 0.40^{de}
	F2	13.57 ± 0.29^{de}	11.17 ± 0.29^{bc}	8.67 ± 2.31^{bc}	11.20 ± 0.87^{cd}
	F3	14.33 ± 0.76^{bc}	12.00 ± 1.50^b	9.00 ± 0.87^{ab}	11.80 ± 0.69^{bc}
	F4	17.00 ± 0.50^a	14.33 ± 0.29^a	10.50 ± 0.50^a	13.93 ± 0.12^a
	F5	14.83 ± 0.29^b	12.17 ± 1.53^b	9.33 ± 0.29^{ab}	12.13 ± 0.60^b

2.4 种植密度和施肥对紫花苜蓿株高的影响

在相同施肥量条件下,紫花苜蓿株高在低种植密度处理下高于高种植密度处理。在相同种植密度处理下,株高随着施肥量的增加呈现先增大后减小的趋

势(表4),在F₄施肥量处理最高,在F₁施肥量处理最低,且第1茬>第2茬>第3茬。紫花苜蓿3茬株高和株高均值在S₂F₄处理下均达到最大,显著高于其余处理($P<0.05$)。

表4 种植密度和施肥对紫花苜蓿株高的影响

Table 4 Effects of planting density and fertilization on plant height of alfalfa

种植密度	施肥量	第1茬/cm	第2茬/cm	第3茬/cm	平均值/cm
S1	F1	82.2±1.59 ^e	74.0±0.55 ^d	49.0±0.80 ^e	68.4±0.37 ^e
	F2	83.6±1.08 ^{de}	75.9±0.89 ^{cd}	50.6±1.23 ^{de}	70.1±0.82 ^{de}
	F3	84.1±1.32 ^{de}	77.2±6.50 ^{cd}	51.7±0.95 ^d	71.0±2.53 ^d
	F4	85.5±1.12 ^{cd}	79.8±1.40 ^{bc}	55.7±1.40 ^c	73.7±0.42 ^c
	F5	84.8±1.44 ^d	78.4±1.86 ^{bcd}	54.5±1.66 ^c	72.5±0.39 ^c
S2	F1	84.8±0.66 ^d	76.3±1.21 ^{cd}	50.6±0.91 ^d	70.6±0.80 ^{dde}
	F2	85.4±1.15 ^{cd}	77.2±1.45 ^{cd}	54.9±1.10 ^c	72.5±0.90 ^c
	F3	87.5±1.89 ^{bc}	78.5±0.51 ^{bc}	54.6±1.96 ^c	73.6±0.92 ^c
	F4	94.2±1.80 ^a	86.0±1.15 ^a	63.9±0.83 ^a	81.4±0.69 ^a
	F5	88.7±1.29 ^b	82.3±0.55 ^{ab}	58.2±0.92 ^b	76.4±0.50 ^b

2.5 种植密度和施肥对紫花苜蓿生长速度的影响

在相同施肥量条件下,紫花苜蓿生长速度在低种植密度处理比高种植密度处理快。在相同种植密度处理下,生长速度随着施肥量的增加呈现先增大后减小的趋势(表5)。生长速度总体呈现第1茬>第2茬>第3茬。生长速度在S₂F₄处理下最快,其中最快的生长速度为2.09 cm/d,在S₁F₁处理下生长速度最慢,为1.09 cm/d,在第1茬和第3茬各个处理间均差异显著($P<0.05$),在S₂F₄处理下生长速度最快,在第2茬时紫花苜蓿生长速度在S₂F₄处理和S₂F₅处理下较快,显著高于其余处理($P<0.05$),紫花苜蓿3茬生长速度

和均值在S₂F₄处理下均达到最大。

2.6 种植密度和施肥对紫花苜蓿茎叶比的影响

在相同施肥量条件下,紫花苜蓿茎叶比在低种植密度处理下高于高种植密度处理。在相同种植密度处理下,紫花苜蓿茎叶比随着施肥量的增加呈现先增加后减小的趋势(表6),茎叶比在S₂F₄,S₂F₅处理下最大,分别是1.12和0.96 cm/d,显著高于其余处理($P<0.05$),不同茬次间都表现出第1茬>第2茬>第3茬的趋势。

2.7 种植密度和施肥对紫花苜蓿干鲜比的影响

紫花苜蓿干鲜比规律较为复杂,结合3茬平均来

表5 种植密度和施肥对紫花苜蓿生长速度的影响

Table 5 Effects of planting density and fertilization on plant growth rate of alfalfa

种植密度	施肥量	第1茬/ (cm·d ⁻¹)	第2茬/ (cm·d ⁻¹)	第3茬/ (cm·d ⁻¹)	平均值/ (cm·d ⁻¹)
S1	F1	1.83±0.04 ^e	1.65±0.01 ^d	1.09±0.02 ^e	1.52±0.01 ^f
	F2	1.86±0.02 ^{de}	1.69±0.02 ^{cd}	1.13±0.03 ^{de}	1.57±0.02 ^e
	F3	1.87±0.03 ^{de}	1.72±0.14 ^{cd}	1.15±0.02 ^d	1.61±0.03 ^d
	F4	1.90±0.02 ^{cd}	1.77±0.03 ^{bc}	1.24±0.03 ^c	1.63±0.01 ^c
	F5	1.88±0.03 ^{de}	1.74±0.04 ^{bc}	1.21±0.04 ^c	1.61±0.01 ^d
S2	F1	1.88±0.01 ^{de}	1.70±0.03 ^{cd}	1.12±0.02 ^{de}	1.56±0.01 ^e
	F2	1.90±0.03 ^{cd}	1.72±0.03 ^{cd}	1.22±0.02 ^c	1.62±0.02 ^{cd}
	F3	1.95±0.04 ^{bc}	1.75±0.01 ^{bc}	1.21±0.04 ^c	1.63±0.01 ^{cd}
	F4	2.09±0.04 ^a	1.91±0.03 ^a	1.42±0.02 ^a	1.81±0.03 ^a
	F5	1.97±0.03 ^b	1.93±0.01 ^{ab}	1.29±0.02 ^b	1.70±0.02 ^b

表6 种植密度和施肥对紫花苜蓿茎叶比的影响

Table 6 Effects of planting density and fertilization on stem-leaf ratio of alfalfa

种植密度	施肥量	第1茬/ (cm·d ⁻¹)	第2茬/ (cm·d ⁻¹)	第3茬/ (cm·d ⁻¹)	平均值/ (cm·d ⁻¹)
S1	F1	0.79±0.05 ^b	0.47±0.02 ^f	0.24±0.04 ^d	0.50±0.28 ^a
	F2	0.82±0.01 ^b	0.51±0.02 ^{ef}	0.26±0.04 ^d	0.53±0.28 ^a
	F3	0.86±0.12 ^b	0.54±0.02 ^{de}	0.34±0.03 ^c	0.58±0.26 ^a
	F4	0.88±0.08 ^b	0.57±0.06 ^{cde}	0.36±0.03 ^c	0.60±0.26 ^a
	F5	0.87±0.02 ^b	0.56±0.01 ^{cde}	0.33±0.01 ^c	0.59±0.27 ^a
S2	F1	0.90±0.05 ^b	0.57±0.01 ^{cde}	0.43±0.02 ^b	0.63±0.24 ^a
	F2	0.91±0.06 ^b	0.60±0.02 ^{bed}	0.45±0.05 ^b	0.65±0.23 ^a
	F3	0.94±0.09 ^b	0.62±0.02 ^{bc}	0.46±0.01 ^b	0.67±0.24 ^a
	F4	1.12±0.20 ^a	0.76±0.02 ^a	0.56±0.02 ^a	0.81±0.28 ^a
	F5	0.96±0.04 ^b	0.64±0.05 ^b	0.42±0.01 ^b	0.67±0.27 ^a

看,当施肥量为F₁、F₂和F₃时,干鲜比在低种植密度处理下大于高种植处理,当施肥量为F₄和F₅时,干鲜比在高种植密度处理下大于低种植处理,当种植密度相同时,干鲜比在施肥量为F₄时较大,在S₂F₄处理下最大,为0.51 cm/d。

2.8 种植密度和施肥对紫花苜蓿产量的影响

在种植密度和施肥量双因素影响下,紫花苜蓿产量在低种植密度处理下高于高种植密度处理。随着施肥量的增加,紫花苜蓿产量呈现先增大后降低的趋势,从茬次上看,产量表现为第1茬>第2茬>第3茬,在S₂F₄处理下,紫花苜蓿产量均最大,分别是8 198.13,6 163.40,3 158.00 kg/hm²,均显著高于其余处理($P<0.05$)。紫花苜蓿总产量同样在S₂F₄处理达最大值,为17 519.53 kg/hm²,在S₁F₁处理下最小,为12 610.97 kg/hm²。

2.9 通径分析

对紫花苜蓿产量因子和产量进行通径分析,由直接通径系数结果可知,各个产量因子对产量影响的大小顺序为株高>生长速度>茎粗>分枝数>茎叶比>干鲜比,与相关性分析趋势相同,由间接通径系数分析结果可知,株高和生长速度互作对紫花苜蓿产量影响最大,茎叶比和干鲜比的互作效应对紫花苜蓿产量影响最小。

3 讨论

3.1 种植密度和有机肥施用量对紫花苜蓿生长特性的影响

紫花苜蓿的茎粗、株高、分枝数既是反映其生长性能的主要指标,又是评价其高产潜能的重要因素。本研究结果表明,紫花苜蓿种植密度对茎粗影响显著,在中等播量下(12.5 kg/hm²)茎粗最大,可能是种

表7 种植密度和施肥对紫花苜蓿干鲜比的影响

Table 7 Effects of planting density and fertilization on alfalfa dry-fresh ratio

种植密度	施肥量	第1茬/(cm·d ⁻¹)	第2茬/(cm·d ⁻¹)	第3茬/(cm·d ⁻¹)	平均值/(cm·d ⁻¹)
S1	F1	0.35±0.08 ^b	0.36±0.07 ^{abc}	0.25±0.01 ^{bc}	0.32±0.06 ^a
	F2	0.40±0.07 ^{ab}	0.30±0.08 ^{bcd}	0.26±0.02 ^{bc}	0.32±0.07 ^a
	F3	0.38±0.06 ^{ab}	0.36±0.03 ^{abc}	0.26±0.01 ^{bc}	0.33±0.06 ^a
	F4	0.41±0.10 ^{ab}	0.28±0.04 ^{cd}	0.27±0.01 ^{abc}	0.32±0.08 ^a
	F5	0.39±0.04 ^{ab}	0.29±0.02 ^{bcd}	0.19±0.06 ^d	0.29±0.10 ^a
S2	F1	0.27±0.05 ^b	0.30±0.03 ^{bcd}	0.23±0.04 ^{cd}	0.27±0.04 ^a
	F2	0.35±0.16 ^b	0.24±0.01 ^d	0.28±0.01 ^{ab}	0.29±0.06 ^a
	F3	0.39±0.03 ^{ab}	0.28±0.06 ^{cd}	0.27±0.01 ^{bc}	0.31±0.07 ^a
	F4	0.51±0.10 ^a	0.40±0.01 ^a	0.32±0.01 ^a	0.41±0.10 ^a
	F5	0.41±0.04 ^{ab}	0.38±0.05 ^{ab}	0.24±0.01 ^{bc}	0.34±0.09 ^a

表8 种植密度和施肥对紫花苜蓿产量的影响

Table 8 Effects of planting density and fertilization on alfalfa yield

种植密度	施肥量	第1茬/(kg·hm ⁻²)	第2茬/(kg·hm ⁻²)	第3茬/(kg·hm ⁻²)	全年总和/(kg·hm ⁻²)
S1	F1	6 286.47±190.28 ^c	4 353.67±131.12 ^g	1 970.83±26.18 ^e	12 610.97±282.80 ^g
	F2	6 460.70±393.83 ^{de}	4 852.23±183.60 ^f	2 247.80±184.09 ^d	13 560.73±736.17 ^f
	F3	6 621.43±399.80 ^{cde}	4 973.13±328.57 ^{ef}	2 620.00±87.18 ^c	14 214.57±508.88 ^e
	F4	7 698.80±170.00 ^b	5 574.23±125.05 ^{bc}	2897.13±83.84 ^b	16 170.27±184.09 ^b
	F5	7 439.83±185.71 ^b	5 453.63±215.43 ^{cd}	2 684.03±107.60 ^c	15 577.5±169.98 ^c
S2	F1	6 718.37±174.51 ^{cd}	5 196.93±215.43 ^{de}	1 635.80±65.45 ^f	135 510.1±132.98 ^f
	F2	6 952.13±141.59 ^c	5 512.03±48.92 ^{bcd}	1 752.80±54.20 ^f	14 216.97±235.95 ^e
	F3	7 007.63±90.05 ^c	5 632.63±27.56 ^{bc}	2 345.93±64.15 ^d	14 986.20±152.52 ^d
	F4	8 198.13±7.75 ^a	6 163.40±150.46 ^a	3 158.00±119.51 ^a	17 519.53±39.68 ^a
	F5	7 809.10±92.93 ^b	5 818.97±255.80 ^b	2 643.27±98.07 ^c	16 271.33±293.47 ^b

表9 影响产量要素途径分析

Table 9 Path analysis of factors affecting yield

影响因素	途径系数 (直接作用)	间接途径系数					
		茎粗—产量	分枝数—产量	株高—产量	生长速度—产量	茎叶比—产量	干鲜比—产量
茎粗	0.341	-	0.318	0.329	0.320	0.245	0.254
分枝数	0.263	0.245	-	0.257	0.254	0.106	0.175
株高	2.826	2.204	2.767	-	2.795	1.453	2.088
生长速度	1.106	1.039	1.068	1.094	-	0.956	0.864
茎叶比	0.188	0.158	0.180	0.170	0.162	-	0.082
干鲜比	0.042	0.031	0.028	0.031	0.033	0.012	-

群密度增大,引发了种内竞争,每个个体所占有的空间和资源变少,个体生长受阻^[12]。紫花苜蓿分枝数在高播种量处理下减小,在低播种量处理下增高,这与王彦华等^[13]研究结果相似,本试验中紫花苜蓿株高随种植密度的增加呈现减小的趋势,在播量为12.5 kg/hm²时株高最大,这与张芸芸等^[14]研究结果相似,当种植密度合理地增大时植物个体间对光的竞争减弱,促使细胞增强,茎秆从而快速增长^[15],由于空间和资源基本相同,不同种植密度的同种植物种群具有相同的环境最大容纳量。当空间和资源有限时,植物个体的生长会受到限制,个体间产生竞争。当密度增加时,改变自身的形态和结构是植物最容易选择的对策,株高也会相应的减小^[16]。因此合理的种植密度是确保紫花苜蓿高产的重要条件,种植密度过小,植株间竞争随之减小,单位面积内植株少,影响产量,种植密度多大,加剧植株间的资源竞争,不利于植株合理利用资源,同样影响产量^[17]。Jefferson等^[18]报道,紫花苜蓿播种量在6.0~18.0 kg/hm²时,产量随播种量的增加呈增加趋势,但超过一定限度时,紫花苜蓿产量

便会下降。Suttie^[19]认为播种量为22.5~30.0 kg/hm²时,紫花苜蓿产量较高。魏晓艳^[20]认为在渗灌条件下,紫花苜蓿播种量为18 kg/hm²时干草产量达到最高。各位学者研究的结果各不相同,其原因可能是因为不同地域有不同的环境和资源情况,导致了试验结果的差异。本试验结果发现当播种量为12.5 kg/hm²时紫花苜蓿产量高于播种量在15 kg/hm²时的产量,可能是因为当密度过大时,紫花苜蓿竞争逐渐激烈,产生自疏现象,导致产量下降。

施肥可以促进紫花苜蓿生长发育,增加紫花苜蓿产量,提高紫花苜蓿的品质^[21-23]。尤其是有机肥的施用可以改善土壤,增加土壤肥力。有研究认为,增加施肥量会增加紫花苜蓿的茎粗^[24]。本研究发现,施肥处理均增加了紫花苜蓿的茎粗,在施肥量为600 kg/hm²时对茎粗提高最明显,而过高的施肥量会使茎粗降低。施用有机肥同样对紫花苜蓿的分枝有促进作用,分枝数随施肥量的增加呈现先增大后减小的趋势,尤其是第1茬和第2茬分枝数的增加更为明显,对第3茬分枝数虽然也有增加效果,但并不显著,

紫花苜蓿的生长速度同样受到了施肥量的影响,随着施肥量的增加,苜蓿生长速度呈现上升趋势,这与潘玲等^[25]研究结果一致。产草量是衡量紫花苜蓿经济价值的重要指标,施肥是可以促进紫花苜蓿的生长潜能的发挥、提高其饲草产量的有效手段^[26],施肥过量或者不足均会降低产量^[27]。本试验中,紫花苜蓿产量随施肥量的增加呈现先增加后降低的趋势,随茬次呈现逐渐减少的趋势,在施肥量为600 kg/hm²时产量达到最高,年产量为16 997.17 kg/hm²,第1茬紫花苜蓿干草产量占年总产草量的50.15%~54.06%,这与赵力兴等^[28]研究一致。

在同一种植密度处理下,紫花苜蓿各项生长指标和产量随施肥量的增加呈现先增大后减小的趋势,在施肥量F₄(600 kg/hm²)处理下最大,但与其他施肥量处理差异不显著($P>0.05$),在同一施肥水平下,紫花苜蓿各项生长指标和产量在低种植密度处理下高于高种植密度处理,因此当只考虑单一要素时,虽然可以得到较高的紫花苜蓿产量,但与其他处理差异不显著,在种植密度和施肥量互作条件下,S₂F₄处理紫花苜蓿产量达到最大值,为17 519.53 kg/hm²,且各项指标均显著高于其他处理($P<0.05$),因此种植密度和施肥量互作可以显著影响紫花苜蓿的生长发育。

科尔沁沙地土地贫瘠,土壤中养分含量低,苜蓿正常的生长发育收到限制,因此苜蓿的株高、茎粗、分枝数、茎叶比和产量等指标低于正常水平^[29]。由于在建植过程中长时间的施用化肥,使得土壤养分流失加重,因此本试验选用有机肥。有机肥中含有大量有机质,可以提供给土壤^[30];有机肥养分充足,可以促进植物生长发育^[31];有机肥还可以改善土壤盐碱程度^[32],提高土壤养分利用率和保水通气性^[33]。尽管有机肥有着上述的一系列优点,但是同时也存在肥效见效慢,营养成分单一且不平衡,造成种子出苗率降低等问题,因此要想满足植物整个发育期所需要的全部营养就必须施用大量有机肥^[34],这也很好的解释了本试验随有机肥施用量的增加,紫花苜蓿的生长和产量呈现先增高后降低的趋势的原因。

4 结论

合理的种植密度和施肥量互作可显著科尔沁沙地促进紫花苜蓿的生长发育,提高饲草产量。过高或

者过低的种植密度和施肥量则会抑制紫花苜蓿的生长和产量的形成。通径分析结果表明,茎粗、株高、生长速度、分枝数和茎叶比对紫花苜蓿产量有显著影响。科尔沁地区最适宜的紫花苜蓿种植密度为12.5 kg/hm²,有机肥施用量为600 kg/hm²。

参考文献:

- [1] Shen X H, Li J D, Feng P, *et al.* Root physiological traits and cold hardiness of alfalfa grown alone or mix-sowed with meadow fescue [J]. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 2017, 67(3): 235–244.
- [2] Altinok S, Yurtseven E, Avci S, *et al.* The effects of different irrigation water salinities and leaching ratios on green and dry forage yields of alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. *Agriculture & Forestry*, 2015, 61(10): 85–90.
- [3] He L, Liu Y, He H, *et al.* A molecular framework underlying the compound leaf pattern of *Medicago truncatula*. *Nature Plants*, 2020, 6(5): 1–11.
- [4] 郝宸昉, 吉鹏华, 辛庆强, 等. 内蒙古自治区畜牧业改革发展的启示[J]. *畜牧与饲料科学*, 2020, 41(6): 62–66.
- [5] 孙启忠, 桂荣. 影响紫花苜蓿草产量和品质诸因素研究进展[J]. *中国草地*, 2000(1): 58–64.
- [6] 卢发光, 顾立峰, 刘昱茜, 等. 种植密度和施氮量互作对盐碱地紫花苜蓿生长性能和生理特性的影响[J]. *草业科学*, 2021, 38(8): 1570–1578.
- [7] 冯银平, 沈海花, 罗永开, 等. 种植密度对紫花苜蓿生长及生物量的影响[J]. *植物生态学报*, 2020, 44(3): 248–256.
- [8] 王俊峰, 冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 781–786.
- [9] 余有成, 赵永宏, 郭海俊, 等. 播种量对秋播紫花苜蓿越年产量的影响[J]. *家畜生态学报*, 2007, 28(5): 86–88.
- [10] 赵力兴, 李天琦, 林志玲, 等. 科尔沁沙地20个苜蓿品种碳氮磷化学计量特征[J]. *草业科学*, 2020, 37(9): 1813–1820.
- [11] 李振松, 高茜, 徐洪雨, 等. 灌溉制度对科尔沁沙地紫花苜蓿生产性能的影响[J]. *草地学报*, 2019, 27(2): 389–396.
- [12] 王钊. 种植密度对草原3号杂花紫花苜蓿生长发育的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [13] 王彦华, 李德锋, 齐胜利, 等. 播种量和品种对紫花苜蓿分枝数和株高的影响[J]. *草业学报*, 2017, 26(3):

- 183—190.
- [14] 张荟荟,张学洲,兰吉勇,等. 播种量对紫花苜蓿生物学特性及产草量的影响[J]. 草食家畜,2016(3):49—52.
- [15] 张金汕,董庆国,方伏荣,等. 种植密度和施氮量对啤用大麦生长、产量及品质的影响[J]. 中国农业大学学报,2016,21(9):23—32.
- [16] Silvertown J, Lovett—Doust J (1993). Introduction to Plant Population Biology[M]. 3rd ed. Blackwell Science, London, UK.
- [17] 沙栢平,李雪,谢应忠,等. 株行配比对滴灌苜蓿种子产量及其产量构成因子的影响[J]. 草地学报,2019,27(3):751—759.
- [18] Jefferson P G, Cutforth H W. Sward age and weather effects on alfalfa yield at a semi—arid location in southwestern Saskatchewan[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1997,77:95—599.
- [19] Suttie J M. Hay and straw conservation: For small—scale farming and pastoral conditions[J]. Food & Agriculture Organization, 2000,29:89—95.
- [20] 魏晓艳. 滴灌条件下紫花苜蓿播种量及混播模式的研究[D]. 银川:宁夏大学,2018.
- [21] 汪茜,王生文. 施肥对民乐低产田紫花苜蓿产量、品质及经济效益的影响[J]. 草业科学,2016,33(2):230—239.
- [22] 张铁军,赵忠祥,龙瑞才,等. 黄淮海地区紫花苜蓿氮磷钾肥料效应与推荐施肥量研究[J]. 草地学报,2019,27(1):243—249.
- [23] 孙浩,张玉霞,梁庆伟,等. 施肥对科尔沁沙地苜蓿产量与品质的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(3):30—41.
- [24] 朱华敏,李海梅,杨国锋,等. 施肥对紫花苜蓿生产性能的影响[J]. 北方园艺,2013,293(14):174—177.
- [25] 潘玲,魏臻武,武自念,等. 施肥和播种量对扬州地区苜蓿生长特性和产草量的影响[J]. 草地学报,2012,20(6):1099—1104.
- [26] 姜慧新,刘栋,翟桂玉,等. 氮磷钾配合施肥对紫花苜蓿产草量的影响[J]. 草业科学,2012,29(9):1441—1445.
- [27] 唐丽媛,李从锋,马玮,等. 渐密种植条件下玉米植株形态特征及其相关性分析[J]. 作物学报,2012,38(8):1529—1537.
- [28] 赵力兴,高阳,李天琦,等. 施肥对科尔沁沙地紫花苜蓿生长及产草量的影响[J]. 中国农业科技导报,2019,21(7):136—144.
- [29] 张玉霞,王显国,邵继承,等. 不同微生境下科尔沁沙地苜蓿的生产性能[J]. 草原与草坪,2018,38(1):25—30+34.
- [30] 杨锦凤. 有机固体废物堆肥化及有机肥的特点[J]. 环境科学导刊,2010,29(2):56—59.
- [31] 许茜茜. 生物有机肥和刘割对盐碱地紫花苜蓿生长和根际土壤微生物区系的影响[D]. 南京:南京农业大学,2020.
- [32] 刘长景,王玉洁,杨允. 有机肥特点和提高果园有机肥施用量的途径[J]. 果农之友,2010(8):37—38.
- [33] 赖宪明,张英辉,王旭,等. 有机肥对苜蓿生长及其产量的影响试验[J]. 黑龙江畜牧兽医,2009(3):59—60.
- [34] 田艳洪,赵晓锋,刘玉娥,等. 不同有机肥用量对大豆植株生长及产量的影响[J]. 大豆科学,2018,37(4):578—584.

Effects of planting density and fertilization on growth characteristics of alfalfa

ZHANG En-tian^{1,2}, YU Tie-feng^{1,2}, HAO Feng^{1,2}, GAO Kai^{1,2*}

(1. Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China; 2. Research Institute of Ecological Civilization and Green Development, Tongliao 028000, China)

Abstract: [Objective] The study is carried out in order to explore the interaction mechanism of planting density and organic fertilizer application rate on the growth of alfalfa in Horqin sandy land, and to determine the suitable planting density and organic fertilizer application rate in high yield and high quality production of alfalfa in Horqin sandy land. [Method] A field plot experiment was conducted to study the effects of two planting densities (15 kg/hm², 12.5 kg/hm²) and five organic fertilizer application rates (0, 200, 400, 600, 800 kg/hm²) on the growth characteris-

tics and forage yield of alfalfa (*Medicago sativa* cv Gongnong No. 1). **【Result】** The results showed that planting density, organic fertilizer application rate and their interaction had significant effects on plant height, stem diameter, branch number, growth rate and yield of alfalfa. Each index under low planting density treatment (12.5 kg/hm^2) was better than that under high planting density treatment (15 kg/hm^2). And each index increased first and then decreased with the increase of organic fertilizer application rate. Under the treatment of planting density of 12.5 kg/hm^2 and organic fertilizer application rate of 600 kg/hm^2 , the stem diameter, branch number, plant height, growth rate, stem—leaf ratio and dry—fresh ratio were significantly higher ($P < 0.05$) than other treatments. The annual yield of forage reached the maximum value of $17\,519.53 \text{ kg/hm}^2$, which was significantly higher ($P < 0.05$) than other treatments. **【Conclusion】** The interaction between planting density and organic fertilizer application rate has a great influence on the growth of alfalfa. Reasonable planting density and organic fertilizer application rate can promote the growth of alfalfa and increase the yield of alfalfa.

Key words: alfalfa; planting density; fertilization amount; growth characteristics

(责任编辑:康宇坤)