

行距与播种量对无芒雀麦生产性状的影响

吴菲菲¹, 张永亮², 王显国¹

(1. 中国农业大学草地研究所, 北京 100094; 2. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 208042)

摘要:采取二因素随机区组试验, 分析不同行距(30、50、70 和 90 cm)与播种量(0.46、0.77 和 1.08 g·m⁻²)对无芒雀麦(*Bromus inermis*)群体株高、生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数、地上生物量、叶面积指数(LAI)和冠层底部光合有效辐射(PAR)的影响, 旨在为无芒雀麦种子生产提供理论依据。结果表明, 行距对无芒雀麦群落特性具有显著影响($P<0.05$)。随着行距的增加, 株高和 PAR 呈上升趋势, 其余指标呈下降趋势。30 cm 行距处理的生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数和 LAI 显著高于 70 和 90 cm 行距处理($P<0.05$), 而 PAR 显著低于 50、70 和 90 cm 行距处理($P<0.05$)。播种量对 LAI 和 PAR 的影响显著, 对株高、生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数和地上生物量没有显著影响。生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数与 LAI 呈极显著正相关($P<0.01$), 与 PAR 呈显著负相关($P<0.05$)。12 个播种组合处理可聚合成窄行距类与宽行距类两类, 类之间群落特性差异显著。

关键词: 无芒雀麦; 叶面积指数; 光合有效辐射; 群落特性; 聚类分析

中图分类号: S540.4; Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2013)01-0091-05

无芒雀麦(*Bromus inermis*)是我国最重要的栽培禾草之一^[1], 种子需求量相对较大, 提高无芒雀麦种子产量是牧草栽培技术研究的重要目标。植物群体冠层结构特征与种子产量关系密切。植物群体生殖蘖数、营养蘖数、株高、生物量、叶面积指数和光合有效辐射等是构成植物冠层结构的主要指标。无芒雀麦获得高的种子产量依赖于足够的生殖蘖数量和较大的生物量^[2-3], 单位面积的生殖蘖数量和种子产量呈极显著正相关($P<0.01$)^[4]。Vesala 等^[5]认为, 植物冠层截获 PAR 的量决定着其固定 CO₂ 的能力, 显著影响植物的干物质积累; Goudriaan 和 Monteith^[6]的试验结果显示, 叶面积指数可以用来估算冠层潜在光合生产力与作物干物质积累量。目前, 行距和播种量对无芒雀麦种子产量及产量组分的影响已有报道^[4], 而对群体冠层结构特征的影响报道较少^[7-8]。本试验以无芒雀麦为试验材料, 研究播种量与行距对无芒雀麦群体冠层结构特征的影响, 探索高效、合理的栽培管理措施, 为提高牧草种子产量和实现规模化生产提供技术依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地自然概况

古民族大学农学院试验农场, 地理位置为 43°36' N, 122°22' E, 海拔 178 m, 年均气温 6.8 °C, 多年平均降水量 398 mm, 无霜期 154 d。土壤为灰色草甸土, 试验前测定土壤速效钾含量为 104.56 mg·kg⁻¹, 速效磷含量为 45.6 mg·kg⁻¹, 碱解氮含量为 51.10 mg·kg⁻¹, 全氮含量为 1.16 g·kg⁻¹, 有机质含量为 19.29 g·kg⁻¹, pH 值为 8.2。

1.2 试验设计 试验设播种量和行距两个因素。播种量设定为 3 个水平, 纯活种子播量为 0.3、0.5 和 0.7 g·m⁻², 无芒雀麦发芽率为 65%, 故实际种子播量为 0.46、0.77 和 1.08 g·m⁻², 分别用 A、B、C 表示。行距设定为 30、50、70 和 90 cm 共 4 个水平, 共计 12 个处理(播种组合), 每个处理 4 个重复, 共 48 个小区, 小区面积 3 m×6 m。试验小区均按随机区组设计, 2009 年 8 月 15 日播种。具灌水条件。

1.3 测定项目与方法 株高: 于 2011 年 7 月 10 日(成熟期), 每个小区中随机选取 30 个生殖枝, 自地表至花序顶端测量植株高度(cm)。

生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖: 于 2011 年 7 月 10 日(成熟期), 每个小区无重复随机取 3 个 50 cm 样段, 在所选样段上数生殖蘖数和营养蘖数, 计算单

收稿日期: 2012-04-12 接受日期: 2012-06-19

基金项目: 国家牧草产业体系项目(CARS-35); 国家科技支撑子课题(2011BAD17B01-02); 内蒙古民族大学科研创新团队建设计划项目(NMD10-03)

作者简介: 吴菲菲(1989-), 女, 山东聊城人, 在读硕士生, 主要从事牧草繁殖与发育生物学研究。

通信作者: 张永亮(1959-), 男, 内蒙古包头人, 教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事草地生态与牧草栽培研究。E-mail: zyl8802@163.com

位面积(1 m²)的生殖蘖数和营养蘖数(根据不同行距计算),总分蘖数=生殖蘖数+营养蘖数。

地上生物量:于2011年7月10日(成熟期),每个小区随机选择3个1 m样段刈割地上部分,留茬5 cm,在65℃鼓风干燥箱中干燥24 h后称干质量(包括种子质量),计算单位面积地上生物量干质量(g·m⁻²)。

叶面积指数(LAI)、冠层底部光合有效辐射(PAR):在无芒雀麦抽穗期,选晴朗天于09:00—11:00用SunScan植物冠层分析系统将仪器探杆垂直于行距在近地面测定。每个处理测定3个小区,每小区测3次,取平均数。

1.4 聚类分析方法 极差正规化变换是从数据矩阵的每一个变量中找出其最大和最小值,两者之差称为极差,然后从每一个原始数据中减去该变量中的最小值,再除以极差,即:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n}(x_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq n}(x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq n}(x_{ij})}$$

经变换后,每列的最大数据变为1,最小数据变

为0,其余数据取值在0~1。

距离是将每一个样品看成m维空间(m个变量)的一点,在这m维空间中定义距离,距离较近的点归为同一类,距离远的归于不同的类。采用欧氏距离与类平均法(UPGMA)进行聚类分析。

$$\textcircled{1} \text{欧氏距离: } d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

$\textcircled{2}$ 类平均法:设G_p与G_q并类为G_r,即G_r={G_p,G_q},则G_r与任一类G_k的距离为:

$$D_{br} = \frac{n_p}{n_r} D_{kp} + \frac{n_q}{n_r} D_{kq}$$

1.5 数据处理 采用DPS数据处理系统进行方差分析、相关分析、聚类分析和t检验等。

2 结果与分析

2.1 株高 行距对株高有显著影响(表1)。其中,30、50 cm行距的株高均显著低于90 cm行距株高(P<0.05),与70 cm行距的株高差异不显著,70和90 cm行距株高差异不显著(表2)。随着行距的增加,无芒雀麦株高呈上升趋势。播种量及行距与播种

表1 不同播种组合处理下无芒雀麦种群冠层的结构特征

Table 1 Characteristics of canopy structure of *Bromus inermis* population under different sowing treatments

播种量 Seeding rate/ g·m ⁻²	行距 Spacing/ cm	株高 Plant height/ cm	生殖蘖数/ 株·m ⁻² Number of fertile shoots per m ²	营养蘖数/ 株·m ⁻² Number of vegetative shoots per m ²	总分蘖数/ 株·m ⁻² Number of total tillers per m ²	地上生物量 Aboveground biomass/ g·m ⁻²	LAI	PAR
0.46	30	119.1bc	966.7a	494.2a	1460.8a	1022.1a	3.4bc	28.9f
0.77	30	117.0bc	649.2abcd	528.3a	1177.5abc	861.2ab	4.2ab	267.8d
1.08	30	120.0bc	835.8ab	424.2abc	1260.0ab	1010.1a	4.5a	16.0f
0.46	50	114.6c	515.5bcd	281.5cd	855.2cd	923.8ab	3.1c	99.4e
0.77	50	121.5abc	715.5abc	324.5bcd	1040.0bc	981.3a	4.2ab	283.3d
1.08	50	117.1bc	706.5abcd	469.5ab	1176.0abc	795.2ab	4.5a	99.4e
0.46	70	119.2bc	566.8bcd	253.6d	666.4d	829.8ab	2.7cd	341.3c
0.77	70	125.4ab	455.7cd	200.4d	656.1d	833.9ab	2.9cd	246.0d
1.08	70	120.8bc	565.7bcd	317.1bcd	882.9cd	887.8ab	3.3bc	115.6e
0.46	90	129.6a	412.8cd	212.2d	625.0d	971.8a	1.4e	590.3a
0.77	90	124.0ab	396.7cd	200.6d	572.2d	854.3ab	1.6e	446.2b
1.08	90	122.3abc	337.5d	208.6d	546.1d	701.9b	1.9de	277.6d
播种量 Sowing rate		0.534	0.372	0.951	0.838	1.382	7.497*	161.482*
行距 Spacing		4.790*	8.075*	17.075*	22.747*	1.651	32.940*	282.000*
行距×播种量 Spacing×Sowing rate		1.614	1.039	1.734	1.350	1.665	0.604	47.355*

注:同列中不同小写字母表示差异显著(P<0.05);*表示在0.05水平上的差异显著。下同。

Note: * indicate significant difference at 0.05 level; Different lower case letters within the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

量的互作对株高均没有显著影响(表1、表3)。

2.2 生殖蘖数、营养蘖数和总分蘖数 行距对无芒雀麦生殖蘖数、营养蘖数和总分蘖数均有显著影响(表1),随着行距增加,三者均呈递减趋势。其中,30 cm行距的生殖蘖数、营养蘖数和总分蘖数最多,显著高于70和90 cm行距($P < 0.05$)。50 cm行距的生殖蘖数与90 cm行距之间差异显著,与30和70 cm行距间差异不显著。50 cm行距的营养蘖数和总分蘖数与30、70和90 cm行距之间差异显著(表2)。播种量及行距与播种量的互作均对三者有显著影响(表1)。分析三者的相关性可知,三者呈

极显著正相关(表4)。

2.3 地上生物量 随着行距的增加,地上生物量递减(表2)。其中,30 cm行距处理地上生物量最大,为 $964.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,比50、70和90 cm行距高7.14%、13.40%和14.44%,但差异不显著(表2)。

2.4 LAI LAI随行距增加而下降,随播种量增加而上升(表2、表3)。其中,30与50 cm行距之间无显著差异,30、50与70、90 cm行距之间差异显著($P < 0.05$),70与90 cm行距处理间差异显著;高、中播量与低播量处理之间差异显著,中播量与高播量间差异不显著(表2)。行距与播种量的互作对

表2 行距对无芒雀麦种群冠层结构特征的影响

Table 2 Impacts of row spacing on canopy structure characteristics of *Bromus inermis* population

行距 Spacing/ cm	株高 Plant height/ cm	生殖蘖数/ 株·m ⁻² Numer of fertile tillers per m ²	营养蘖数/ 株·m ⁻² Number of vegetative tillers per m ²	总分蘖数/ 株·m ⁻² Number of total tillers per m ²	地上生物量 Aboveground biomass/ g·m ⁻²	LAI	PAR
30	118.7±6.4b	817.2±316.0a	482.2±152.7a	1299.4±345.1a	964.4±109.7a	4.0±0.9a	104.2±121.7d
50	117.7±6.6b	645.8±187.5ab	358.5±141.9b	1023.7±207.2b	900.1±180.8a	3.9±0.9a	160.7±91.0c
70	121.8±7.8ab	529.4±188.6bc	257.0±82.9c	735.1±188.4c	850.5±213.6a	2.9±0.8b	234.3±109.7b
90	125.3±5.3a	382.3±110.8c	207.1±42.7c	581.1±116.9c	842.7±171.6a	1.6±0.4c	438.0±133.7a

表3 播种量对无芒雀麦种群冠层结构特征的影响

Table 3 Impacts of Sowing rate on canopy structure characteristics of *Bromus inermis* population

播种量 Seeding rate/ g·m ⁻²	株高 Plant height/ cm	生殖蘖数/ 株·m ⁻² Numer of fertile tillers per m ²	营养蘖数/ 株·m ⁻² Number of vegetative tillers per m ²	总分蘖数/ 株·m ⁻² Number of total tillers per m ²	地上生物量 Aboveground biomass/ g·m ⁻²	LAI	PAR
0.46	120.6±9.0a	615.4±319.6a	310.4±153.2a	901.9±419.9a	936.9±138.1a	2.6±1.0b	264.9±232.3b
0.77	122.0±7.1a	554.3±218.1a	313.4±175.4a	861.5±306.3a	882.7±104.6a	3.2±1.2a	310.8±82.8a
1.08	120.0±4.9a	611.4±251.2a	354.9±134.8a	966.2±348.6a	848.7±247.3a	3.6±1.4a	127.1±98.0c

表4 分蘖数与LAI和PAR之间的相关性(N=12)

Table 4 Correlation between number of tillers and LAI and PAR (N=12)

指标 Parameter	生殖蘖数 Numer of fertile tillers per m ²	营养蘖数 Numer of vegetative tillers per m ²	总分蘖数 Numer of total tillers per m ²	LAI	PAR
生殖蘖数 Numer of fertile tillers per m ²	1.000				
营养蘖数 Numer of vegetative tillers per m ²	0.834**	1.000			
总分蘖数 Numer of total tillers per m ²	0.953**	0.939**	1.000		
LAI	0.766**	0.806**	0.820**	1.000	
PAR	-0.681*	-0.614*	-0.713**	-0.723**	1.000

注:*表示在0.05水平上的显著相关,**表示在0.01水平上极显著相关。

Note:* and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

LAI 无显著影响(表 1)。相关性分析表明,生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数与 LAI 间呈极显著正相关(表 4)。

2.5 冠层底部 PAR 播种量与行距对无芒雀麦群体冠层底部 PAR 有显著影响,且行距与播种量的互作对 PAR 有显著影响(表 1)。随行距的增加,冠层底部 PAR 递增(表 2)。4 个行距之间差异显著,90 cm 行距冠层底部 PAR 最大,为 438.0,比 30、50 和 70 cm 行距高 320.35%、172.57% 和 86.94%。3 个播种量之间冠层底部 PAR 差异显著。相关性分析可知,冠层底部 PAR 与生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数和 LAI 间呈显著或极显著负相关(表 4)。

2.6 行距与播种量组合方案的聚类分析 聚类分析表明,12 个播种组合方案可聚成两类(图 1),第 I 类为行距 30 cm (A₃₀、B₃₀、C₃₀)、50 cm (A₅₀、B₅₀、C₅₀) 和 70 cm (C₇₀) 处理组合;第 II 类为行距 90

cm (A₉₀、B₉₀、C₉₀) 和 70 cm (A₇₀、B₇₀) 处理组合。在同一类内,无芒雀麦群体冠层结构特征指标相近,不同类间指标差异明显。行距较窄的第 I 类生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数和 LAI 均极显著大于行距较宽的第 II 类,而株高和 PAR 显著和极显著低于第 II 类(表 5)。

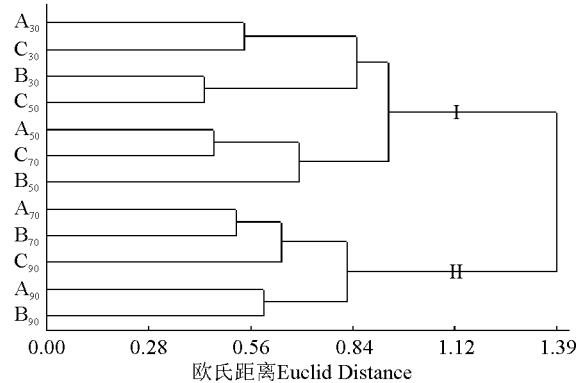


图 1 不同处理的聚类分析图

Fig. 1 Cluster analysis of different treatments

表 5 聚类分析归属类中分类指标平均数与 *t* 检验

Table 5 Mean and *t* test of clustering index in the cluster analysis

项目 Item	株高 Plant height/ cm	生殖蘖数/ 株·m ⁻² Number of fertile tillers per m ²	营养蘖数/ 株·m ⁻² Number of vegetative tillers per m ²	总分蘖数/ 株·m ⁻² Number of total tillers per m ²	地上生物量 Aboveground biomass/ g·m ⁻²	LAI	PAR
I类 Type I	118.59±0.92	707.84±58.57	405.62±36.88	1121.77±80.91	925.90±31.68	3.87±0.23	141.47±36.20
II类 Type II	124.10±1.73	433.89±38.25	215.06±9.90	613.17±23.44	838.34±42.88	2.09±0.29	380.25±62.67
Sig.	*	**	**	**	NS	**	**

注: NS, $P>0.05$; *, $P<0.05$; **, $P<0.01$ 。

4 讨论与结论

行距对无芒雀麦群体冠层结构特征指标具有显著影响。随行距增加,株高和 PAR 呈上升趋势,其余指标呈下降趋势。30 cm 行距的生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数和 LAI 显著高于 70 和 90 cm 行距,而 PAR 显著低于 50、70 和 90 cm 行距。行距、年份及二者互作对老芒麦(*Elymus sibiricus*)的枝条高度、密度,种子产量和鲜草产量均有极显著影响^[9]。在不同密度条件下,大豆(*Glycine max*)冠层同一高度叶面积指数随密度的增加呈增加趋势^[10],与本试验中窄行距处理所得结果和建植第 2 年无芒雀麦种群相似^[4]。

播种量对 3 年龄无芒雀麦种群 LAI 和 PAR 影响显著。随播种量增加,LAI 递增,PAR 递减。播

种量对株高、生殖蘖数、营养蘖数和地上生物量无显著影响。朱振磊等^[4]对 2 年龄无芒雀麦种子产量的研究表明,播种量对单位面积生殖蘖数无显著影响,与本试验结果一致。李存福^[2]认为,无芒雀麦冠层 LAI 为 1,叶片分布均匀,消光系数较小,能够获得较高的种子产量。本试验中,30 和 50 cm 行距处理的群体密度较大,LAI 分别达到 4.03 和 3.91,开花后出现了严重倒伏,虽然地上生物量较高,但影响种子产量。

单位面积生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数与 LAI 呈极显著正相关,与冠层底部 PAR 呈显著负相关。有研究^[11]证实,光合有效辐射强度随着密度的增加呈递减的趋势,高密度与低密度群体之间差异显著。

12 个播种组合处理可聚成两类,即窄行距类与

宽行距类,类之间株高、生殖蘖数、营养蘖数、总分蘖数、LAI 和 PAR 差异显著。

参考文献

- [1] 孙铁军,韩建国,赵守强,等. 施肥对无芒雀麦种子产量及产量组分的影响[J]. 草业学报,2005,14(2):84-92.
- [2] 李存福. 无芒雀麦、紫花苜蓿繁殖特性及种子生产技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [3] 孙铁军. 施肥对禾本科牧草种子产量形成及种子发育过程中生理生化特性的影响[D]. 北京:中国农业大学,2004.
- [4] 朱振磊,张永亮,潘多锋,等. 行距与播种量对无芒雀麦种子产量及产量组分的影响[J]. 草地学报,2011,19(4):631-636.
- [5] Vesala T, Markkanen T, Palva L, *et al.* Effect of variations of PAR on CO₂ exchange estimation for Scots pine[J]. Agricultural Forest Meteorology, 2000, 100: 337-347.
- [6] Goudriaan J, Monteith J L. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion[J]. Annals of Botany, 1990, 66: 695-701.
- [7] Engel R K, Moser L E, Stubbendieck J, *et al.* Yield accumulation, leaf area index, and light interception of smooth brome grass[J]. Crop Science, 1987, 27(2): 316-321.
- [8] Mitchell R B, Moser L E, Moore K J, *et al.* Tiller demographics and leaf area index of four perennial pasture grasses [J]. Agronomy Journal, 1998, 90(1): 47-53.
- [9] 游明鸿,刘金平,白史且,等. 行距与栽培年限对老芒麦鲜草及种子产量的影响[J]. 草业科学,2012,29(8): 1278-1284.
- [10] 张晓艳,杜吉到,郑殿峰. 密度对大豆群体冠层结构及光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011, 29(4):75-80.
- [11] 杜吉到,张晓艳,李建英,等. 密度对大豆群体冠层微气象特征及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010,32(2):245-251.

Impacts of row spacing and sowing rate on production characteristics of *Bromus inermis*

WU Fei-fei¹, ZHANG Yong-liang², WANG Xian-guo¹

(1. Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028042, China)

Abstract: Impacts of row spacing and sowing rate on plant height, number of fertile tillers, number of vegetative tillers, number of total tillers, aboveground biomass, LAI and PAR of *Bromus inermis* population were studied by randomized block experiment. The results showed that row spacing had obvious effects on population characteristics ($P < 0.05$). As row spacing increased, the plant height and PAR of *B. inermis* population presented a rising tendency and other index showed a decreasing tendency. The number of fertile tiller, number of vegetative shoot, number of total tiller and LAI of 30 cm row spacing treatments were much higher than those in 70 cm and 90 cm row spacing treatments ($P < 0.01$), while PAR was significantly lower than those in 50 cm, 70 cm and 90 cm row spacing treatments ($P < 0.01$). There was a significant impact of sowing rate on LAI and PAR and was no obvious impact of sowing rate on plant height, number of fertile tiller, number of vegetative shoot, number of total tiller and aboveground biomass. The number of fertile tiller, number of vegetative shoot and number of total tiller were significantly positive correlation with LAI ($P < 0.01$) and were significantly negative correlation with PAR ($P < 0.05$). Twelve sowing treatments were classified as two types of narrow row space and wide row space, and there were significant differences in the community characteristics between narrow row space type and wide row space type.

Key words: *Bromus inermis*; LAI; PAR; community characteristics; cluster analysis