

文章编号: 1007-0435(2004)03-0204-06

# 红三叶、鸭茅生物量和叶面积时空结构特征

樊江文, 杜占池, 钟华平

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 研究红三叶、鸭茅各生育期生物量和叶面积时空结构。结果表明: 鸭茅下半部生物量较大, 红三叶各层分布较均匀, 其上半部所占比例明显大于鸭茅; 随着生育期的后移, 生物量的差异愈加明显, 鸭茅呈现下繁草特性, 红三叶则呈现上繁草特性; 鸭茅地下与地上生物量的比值显著高于红三叶, 随着生长期的后移, 红三叶根量的变化不大, 而鸭茅增加较明显; 留茬高度 < 8 cm, 对鸭茅收获量的影响比红三叶大, 而 > 8 cm 则相反; 除苗期外鸭茅叶量的比例高于红三叶; 在现蕾期或孕穗期以后, 两种牧草的叶量下降极为明显; 在现蕾期或孕穗期前刈割, 可获得最大的光合生产效率。

**关键词:** 草原学; 红三叶; 鸭茅; 生物量; 叶面积; 时空结构

中图分类号: S812; Q 948 文献标识码: A

## Red Clover and Cocksfoot Biomass and the Spatio-Temporal Structure of Their Leaf Area

FAN Jiang-wen, DU Zhan-chi, ZHONG Hua-ping

(Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 China)

**Abstract:** A study on the biomass and the spatial structure of leaf area of red clover and cocksfoot reveals that the cocksfoot boasts lush close-to-ground biomass, while the red clover's aboveground biomass develops evenly. The red clover's upper part aboveground biomass proportions larger of the total biomass than that of cocksfoot of its total. Following the developing growth stage, the difference of the amount of biomass of the two herbage becomes more noticeable. The cocksfoot plants grows in a triangular shape, while the red clover plant looks like a reversed triangle. The ratio of the underground and aboveground biomass of cocksfoot is markedly higher than that of red clover, whose root biomass remains the same as the plant grows, whereas the cocksfoot underground biomass develops vigorously. Stubble height of less than 8 cm affects the growth and yield of cocksfoot but not to red clover, while a stubble height of more than 8 cm reverses the effect to the two herbage. The amount of biomass of cocksfoot rises higher than that of red clover except during the seedling stage. Both herbage decrease their biomass amount after flower budding or spiking stage. Harvesting the herbage before these periods ensures their maximum photosynthetic productive efficiency.

**Key Words:** Grassland science; Red clover; Cocksfoot; Biomass; Leaf area; Spatio-temporal structure

草地植物垂直分布的结构特征直接影响着牧草的利用方式和特性, 同时, 还在一定程度上决定着植物对空间资源的利用效率、物质生产效率和种间的竞争关系, 从而对草地的生产能力、演替发展以及生产力的变化规律产生重要影响<sup>[1]</sup>。

红三叶 (*Trifolium pratense*) 和鸭茅 (*Dactylis glan erata*) 是世界上重要的栽培牧草。其中鸭茅是世界上著名的禾本科牧草。两者近年在我国南方地区业

已广泛种植。

基于红三叶和鸭茅在草地生产中的重要性, 许多人对其开展了试验研究, 特别对其草地建植<sup>[5]</sup>、综合管理<sup>[6,7]</sup>、合理利用<sup>[8,9]</sup>、营养动态<sup>[10]</sup>、种间竞争<sup>[11]</sup>等问题进行了深入探讨。

本文是在上述研究的基础上, 进一步探讨红三叶和鸭茅在各生育阶段生物量的空间结构特征, 以期为该类型草地的合理利用提供依据。

收稿日期: 2003-08-15; 修回日期: 2003-12-29

基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所创新领域项目(SJ10G-C00-04)资助

作者简介: 樊江文(1961-), 汉族, 甘肃陇西人, 研究员, 主要从事草地生态和草地资源的研究, 已发表论文60余篇

# 1 材料和方法

## 1.1 试验区自然概况

试验在重庆市巫溪县红池坝中国科学院南方山区草地生态系统试验站进行(31°33'N, 109°04'E), 海拔1760 m, 年均气温7.2℃, 0℃积温2878℃, 无霜期135 d, 一月平均气温-19.3℃, 年均降水量2024.7 mm。土壤为沙壤土, 中等肥力, 有机质含量3.11%, 全N 0.164%, 全P 0.077%, 全K 1.99%, pH 5.56。

## 1.2 试验处理

试验分别在2年生巫溪红三叶(*Trifolium pratense* L. cv. Wuxi)和鸭茅(当地野生种)单播草地进行。草地于1992年4月建植, 红三叶播种量11.25 kg/hm<sup>2</sup>, 鸭茅18.75 kg/hm<sup>2</sup>。1993年在4月4日(红三叶分枝初期、鸭茅分蘖期)、5月5日(分枝盛期、拔节初期)、5月28日(现蕾期、拔节中期)、6月14日(开花期、拔节盛期)、6月30日(结实初期、孕穗期), 测试5次。

## 1.3 生物量层次结构

1.3.1 地上生物量采用分层刈割法测定, 为了便于操作, 掌握自然高度和绝对高度的关系, 首先在野外分别测量了25株红三叶和鸭茅的自然高度和株高, 计算各结构层(按10 cm 分层)自然高度和株高的比例关系。

1.3.2 地上生物量测定样方面积为50 × 50 cm<sup>2</sup>, 齐地

面剪取后, 按种进行分拣, 再按其自然高度和株高的比例关系, 按自然高度每10 cm 一层进行分层切片。其后, 各层按叶片、叶柄(或叶鞘)、茎、花序4部分分检, 分别编号、装袋。

1.3.3 在5月4日、5月14日、5月26日和6月7日分别采集100个红三叶枝条和50个鸭茅茎条, 对地上部 < 14 cm 的部分, 以每2 cm 一层切割, 分别测定各层的干重, 计算各层占总生物量和叶量的比例。

1.3.4 叶面积指数采用干重系数法测定, 在各期红三叶随机选取50片复叶(即150片单叶)、鸭茅选取90片叶进行测定。

1.3.5 地下部采用土柱法测定, 样方面积25 × 25 cm<sup>2</sup>, 每10 cm 一层, 共取3层, 洗净带土样品后去杂, 分检出红三叶、鸭茅地下部(包括根系及根颈、分蘖节), 并分别装袋、编号。地上和地下部测定均重复5次。所有样品均在80℃烘箱烘干24 h 后, 分别称重。

# 2 结果与分析

## 2.1 地上、地下部生物量时空结构特征

2.1.1 6月底以前红三叶和鸭茅地上、地下部生物量均随着生育期的后移而增长。鸭茅的生物量明显低于红三叶, 从4月4日至6月30日的90 d 中, 红三叶地上生物量增加12.54倍, 地下增加了49%, 鸭茅地上生物量增加5.5倍, 地下增加1.57倍(图1)。

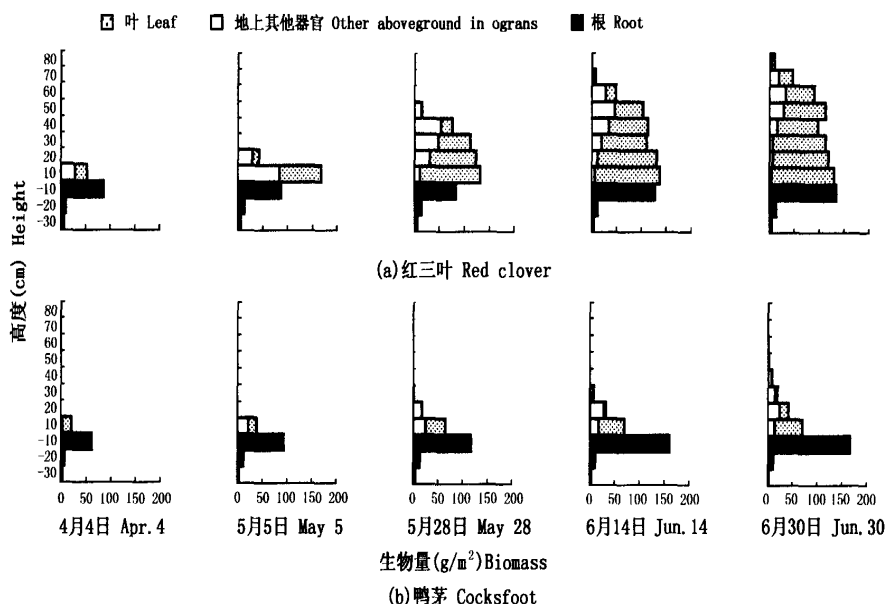


图1 红三叶和鸭茅生物量时空结构(各器官重复间差异不显著  $P > 0.05$ ; 生长期间差异极显著  $P < 0.01$ )

Fig. 1 Biomass spatial structure of red clover (a) and cocksfoot (b) ( $P > 0.05$  among replications, and  $P < 0.01$  among growth stage treatments of the 2 species)

2 1 2 在空间结构上,红三叶和鸭茅亦有所差异。5月初以前,红三叶地上生物量集中在0~ 10 cm,其后各层分布比较均匀;而鸭茅则主要分布在0~ 10 cm。如以种群中部为界,分为上下两层,可清楚地看出两种牧草的差别,其上部/下部比值,鸭茅远远小于红三叶(图2a)。

2 1 3 两种牧草地下生物量虽主要集中在0~ 10 cm,但10~ 30 cm 红三叶的生物量高于鸭茅,随着生育期的延长,红三叶根量变化不大,而鸭茅根系明显增加。红三叶地上与地下的比值显著大于鸭茅,除苗期(4月4日)外,红三叶皆大于1,而鸭茅在6月底之前均小于1。结果表明,在生长第2年,鸭茅地下生物量相对较大(图2b)。

2 1 4 为研究留茬高度与存留量的关系,笔者对地上部> 14 cm 部分,以2 cm 一层进行切片(表1),其特点是在同一时期,随着留茬高度的增加,刈割存留率增大;随着生育期的推后和草高的增长,同一留茬高度的存留率减少;当同期利用,留茬< 8 cm,在相同留茬高度下,鸭茅的存留率大于红三叶;但留茬> 8 cm,在相同留茬高度下,鸭茅的存留率小于红三叶。同时,方差分析结果表明,在< 14 cm 范围内,红三叶各分层高度及各生长期间生物量之间差异不显著( $P > 0.05$ ),而鸭茅之间差异极显著( $P < 0.01$ )。表明在此范围内红三叶生物量的变化较小。

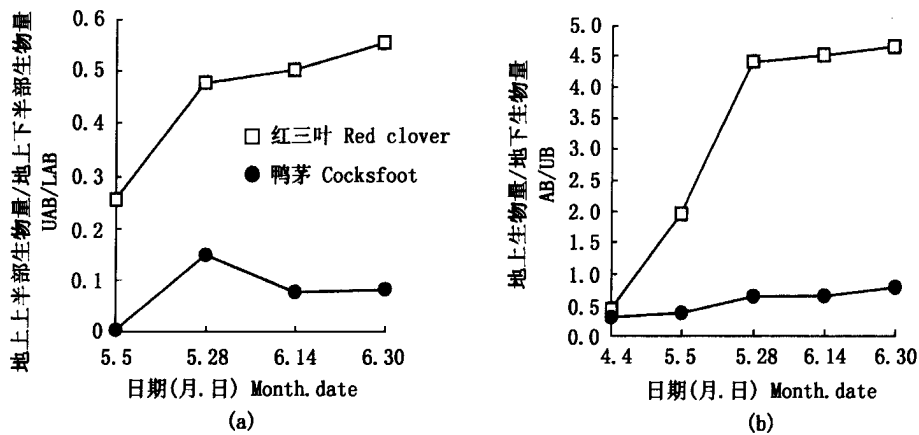


图2 红三叶和鸭茅生物量比值动态

Fig. 2 Different ratios of biomass of red clover and cocksfoot

(a) 地上上半部和下半部比值动态。(b) 地上地下生物量比值动态

(a) The upper aboveground biomass (UAB)/the lower aboveground biomass (LAB)

(b) The aboveground biomass (AB)/the underground biomass (UB)

表1 地上部生物量垂直结构(%)

Table 1 The vertical structure of aboveground biomass (%)

植物种类 Species	测定期 Date	株高 Height (cm)	分层高度 Layer height (cm)							
			0~ 2	2~ 4	4~ 6	6~ 8	8~ 10	10~ 12	12~ 14	> 14
红三叶 Red clover	5月4日 May 4	9.9	16.8	18.0	15.5	16.9	17.1	11.7	4.0	
	5月14日 May 14	16.4	9.0	10.5	12.0	11.1	13.5	13.1	10.6	20.2
	5月26日 May 26	31.2	8.0	7.4	7.4	7.8	8.8	9.1	9.1	42.4
	6月7日 June 7	45.6	6.0	6.1	5.8	5.7	5.3	5.8	5.5	59.8
鸭茅 Cocksfoot	5月4日 May 4	12.0	21.7	28.3	21.3	16.5	7.4	3.4	0.9	0.5
	5月14日 May 14	15.6	18.3	20.2	19.9	14.7	11.1	7.4	3.6	4.8
	5月26日 May 26	30.5	12.1	13.5	13.0	13.2	11.3	9.2	6.3	21.4
	6月7日 June 7	50.5	9.2	9.1	8.3	7.7	7.3	7.7	5.9	44.8

2 2 叶量空间结构特征

2 2 1 叶片是植物进行光合作用和物质生产的最重要器官。图1显示红三叶和鸭茅各生长期叶量的垂直结构。从空间结构看,两种草底部叶所占比重最小,随着位置上移,叶的比例逐渐增大,特别是鸭茅,在6月底之前,其顶部几乎全为叶片,而红三叶则呈均匀分布水平

叶,各结构层叶量变化的幅度相对较小。

2 2 2 从时间结构看(图3a),红三叶以4月上旬的叶量最高,而后随着生育期的后移逐渐降低,至6月底,该比值仅为0.23。鸭茅则以5月上旬的比例最高,而后则逐渐下降,当6月底时,该比值仍可达1.11。表明鸭茅具有比红三叶相对强大的光合系统,且光合器官维持的时间较长。

2.2.3 从10 cm 以下叶量的垂直结构来看(图3b), 其特点与上述生物量的情况相似, 但随着生育期的后移, 两种草的叶量均迅速下降, 特别是从5月5日(红三叶枝条形成盛期、鸭茅分蘖盛期)至5月28日(现蕾期、孕穗期), 两种草叶量下降极为明显。

2.2.4 留茬高度对叶片的损失量, 具有对茎叶生物量相同的特点, 但需指出, 当留茬高度 < 2 cm 时, 在4个利用期, 叶片均几乎不受损失。此外, 以相同留茬高度比较, 随着生育期的后移和草高的增加, 叶片损失率比茎叶总的损失率小, 其中红三叶尤为明显(表2)。

2.3 叶面积指数时空结构特征

在生育初期, 两种草的叶面积均以0~ 10 cm 层最大; 随着植株的增高, 0~ 10 cm 层叶面积逐渐减小, 最大叶面积的层次上移。这是由于种群下部光强减弱, 老叶逐渐枯死脱落所致。两种草之间, 最明显的差异是在5月下旬之后, 红三叶上部叶面积较大, 而鸭茅则相反, 以下部叶面积为高(图4)。如以种群中部为界分为上部和下部, 红三叶上部与下部的比值均大于0.35, 且随着生育期的推后, 比值明显增大, 至6月底, 高达2.43; 而鸭茅皆小于0.35, 且随着生育期的推后, 变化相对平缓。同时, 随着生育期的变化, 两种草生物量结构特性的差异表现得更加明显(图5)。

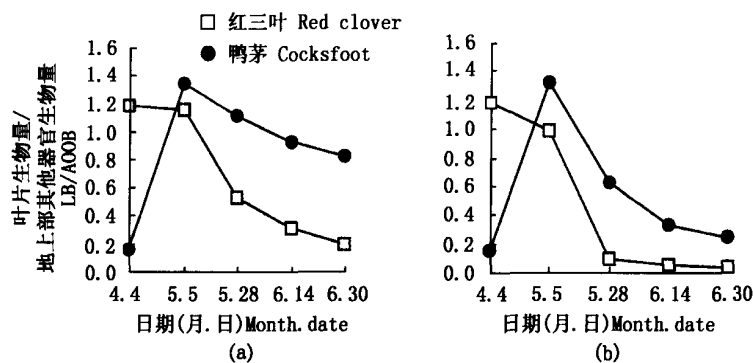


图3 红三叶和鸭茅叶量与地上部其他器官生物量比值动态

Fig 3 The ratio varieties of leaf biomass (LB) and other aboveground organs biomass (AOOB) of red clover and cocksfoot (a) 整个群落; (b) 距地面0~ 10 cm。(a) Whole community. (b) Plant part 0~ 10 cm above ground

表2 叶片生物量垂直结构(%)

Table 2 The vertical structure of leaf biomass (%)

植物种类 Species	测定期 Date		分层高度 Layer height (cm)					
			0~ 2	2~ 4	4~ 6	6~ 8	8~ 10	> 10
红三叶 Red clover	5月4日	May 4	1.2	7.2	14.5	23.3	27.1	26.7
	5月14日	May 14		0.8	4.1	8.1	14.9	72.1
	5月26日	May 26		0.6	0.8	2.6	6.1	89.9
	6月7日	June 7		0.1	0.9	1.2	1.4	96.4
鸭茅 Cocksfoot	5月4日	May 4	1.7	26.6	30.0	23.9	10.7	7.1
	5月14日	May 14	0.7	13.0	24.8	21.3	16.1	24.1
	5月26日	May 26	0.3	5.7	10.2	13.5	14.4	55.9
	6月7日	June 7		0.7	4.7	5.8	6.2	82.6

生长期间及分层高度间生物量差异极显著 ( $P < 0.01$ )。  $P < 0.01$  marked differences of biomass of the two species during the growth period and at different heights

3 结论与讨论

3.1 在空间结构方面, 鸭茅地上生物量和叶面积以下半部较大; 红三叶各层生物量分布较均匀, 但相对而言, 上半部生物量较鸭茅明显大。随着生育期的后移, 两种草生物量结构的差异愈加明显。结果表明, 鸭茅具下繁草特性, 较适合放牧利用; 红三叶具上繁草特性, 更适合割草利用。Frame<sup>[2]</sup>, 樊江文等<sup>[8, 12]</sup>, Holmes<sup>[13]</sup>,

Goman<sup>[14]</sup>, Langer<sup>[15]</sup> 和 Taylor<sup>[16, 17]</sup>, Fergus 等<sup>[18]</sup> 也都曾指出, 由于红三叶较为高大, 且上部分枝多, 更适于刈割利用。

3.2 由于红三叶10 cm 高度以下生物量占整个群落的比重相对较小, 而鸭茅主要集中在10 cm 以下, 因此这两种牧草在空间结构上有较好的互补性和竞争共存性, 同时鸭茅与较高的红三叶混合生长, 其耐遮阴的特点能够较好发挥, 从这个角度分析, 红三叶、鸭茅在种间组合的配置上是较为合理的。

3.3 试验结果表明,在各生育期,地下与地上生物量的比值,鸭茅均显著高于红三叶,表明鸭茅地下生物量所占比例相对较大,其根系具有较强的竞争力。同时,

随着生育期的后移,红三叶根量变化不大,而鸭茅则明显增加,由此可以推断,随着生育期的延长,鸭茅根系的竞争力逐渐增强。Lee<sup>[11]</sup>的试验也有相同的结果。

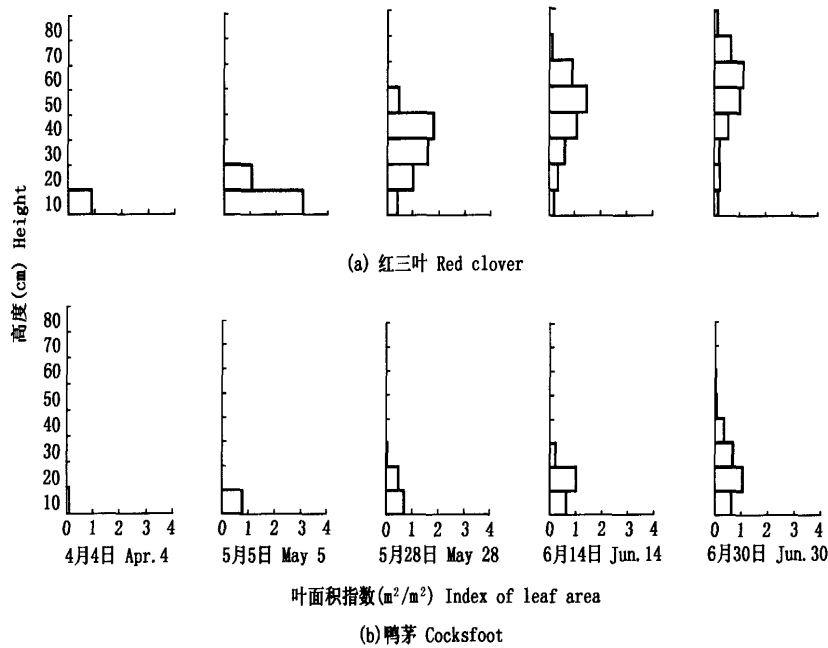


图4 红三叶和鸭茅叶面积指数时空结构特征

Fig. 4 Spatial structures indices of leaf area of red clover (a) and cocksfoot (b)

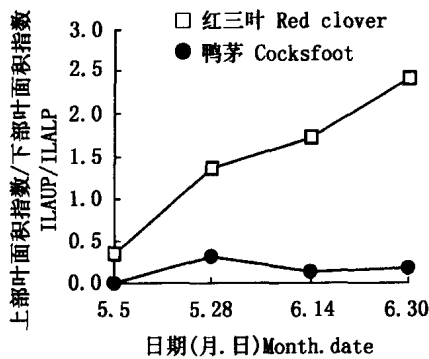


图5 红三叶和鸭茅上半部与下半部叶面积指数比值动态  
Fig. 5 Ratios of indices of leaf area of the plant's upper part (LAUP) and lower part (LALP) of red clover and cocksfoot

3.4 留茬试验表明,同期利用,在留茬 < 8 cm, 相同留茬高度下鸭茅总比红三叶的刈割存留率大,留茬高度对鸭茅收获量的影响比红三叶大;但 > 8 cm, 留茬高度相同,鸭茅的存留率小于红三叶,留茬高度对鸭茅收获量的影响比红三叶小。

3.5 分析两种草叶量的时空结构特征,上部叶量所占的比重较大,特别是鸭茅,在6月底之前,其顶部几乎全为叶器官,这种结构特征显然对光合作用有利。同时,鸭茅叶量的比例比红三叶高,具有较强大的光合作用能力,同时比红三叶维持光合的时间较长,是鸭茅具有明显的耐遮阴特点的一个重要原因。另一方面,在现蕾期

或孕穗期以后,两种草的叶量下降极为明显。这可能是造成在该生育期后,生长趋于减缓的重要原因。因此,在现蕾期或孕穗期前利用,可获得最大的光合生产效率。

3.6 分析红三叶和鸭茅叶面积指数时空结构特征可以看出,红三叶的叶量主要集中在上半部;鸭茅主要集中在下半部,同时,随着生长期的后移,红三叶上半部的叶面积指数越来越大,而鸭茅上半部和下半部的叶面积指数则变化不大。表明红三叶和鸭茅混播,其叶分布格局和光合生产结构是较为合理的。

参考文献

[1] 陈佐忠,汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 24~ 36, 49~ 66  
 [2] Frame J. The role of red clover in United Kingdom pastures[J]. Outlook on Agriculture, 1990, 19(1): 49~ 55  
 [3] Lancashire J A. The distribution and use of forage legumes in New Zealand[A]. In: Burns, J. C. ed Forage legumes for energy-efficient animal production[C]. Proceedings of A Trilateral Workshop Held in New Zealand, 1984. 5~ 23  
 [4] Burns J C. Environmental and management limitation of legume-based forage system in the Northern United States [A]. In: Burns J C, ed Forage legumes for energy-efficient animal production[C]. Proceedings of A Trilateral Workshop Hold in New Zealand, 1984. 56~ 71

(下转213页)

- [6] YANG Yun-fei, WANG De-li, ZHANG Bao-tian, LI Jian-dong Structures on the clone populations of *Artemisia mongolica* in the Songnen Plains in China [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12 (3): 8~ 15
- [7] 杨允菲, 刘庚长, 张宝田 羊草种群年龄结构及无性繁殖对策的分析[J]. *植物学报*, 1995, 37(2): 147~ 153
- [8] Zhang C Y, Yang C, Dong M. The significance of rhizome connection of semi-shrub *Hedysarum laeve* in an Inner Mongolian dune, China[J]. *Acta Oecologica*, 2002, 23(2): 109~ 114
- [9] Miao S L. Rhizome growth and nutrient resorption: mechanisms underlying the replacement of two clonal species in Florida Everglades [J]. *Aquatic Botany* 2004, 78(1): 55~ 66
- [10] 邢福, 祝廷成 内蒙古东部线叶菊草地生物量与净第一性生产力的初步研究[J]. *植物生态与地植物学学报*, 1992, 16(2): 149~ 157
- [11] 邢福, 杨允菲 松嫩平原野艾蒿无性系种群根茎的年龄结构分析[J]. *草业学报*, 2004, 13(1): 21~ 25
- [12] 杨允菲, 郎慧卿 不同生态条件下芦苇无性系种群的调节分析[J]. *草业学报*, 1998, 7(2): 1~ 9
- [13] 邢宝山, 张之一, 徐琪 三江平原白浆土发生学特性[J]. *土壤学报*, 1994, 31(11): 95~ 104
- [14] 杨允菲, 张宝田, 李建东 松嫩平原硬拂子茅无性系种群营养繁殖的数量特征[J]. *草业学报*, 1998, 7(4): 7~ 12
- [15] 田迅, 杨允菲 西辽河平原不同生境草芦种群分株生长的可塑性[J]. *草地学报*, 2004, 12(1): 17~ 20

### (上接208页)

- [5] Frame J, Harkess R D, Hunt IV. The influence of date of sowing and seed rate on the production of pure-sown red clover[J]. *Journal of British Grassland Society*, 1976, 31: 117~ 122
- [6] 樊江文 红三叶和鸭茅混播草地综合管理优化模式的研究[J]. *草业科学*, 2001, 18(3): 11~ 16
- [7] 樊江文 红三叶和鸭茅混播草地施肥优化模式的研究[J]. *草业学报*, 1997, 6(1): 1~ 9
- [8] 樊江文, 刘玉红, 廖国藩等 红三叶和鸭茅牧草刈割利用特性的研究[J]. *四川草原*, 1994, (4): 14~ 18
- [9] 樊江文 在施肥和不施肥条件下刈割频率和强度对红三叶和鸭茅混播草地生产力的影响[J]. *草业科学*, 1996, 13(3): 23~ 28
- [10] 杜占池, 李继由, 钟华平 不同利用时期对红三叶种群营养元素含量和积累速率的影响[J]. *草地学报*, 1996, 4(4): 266~ 273
- [11] Ho-jin LEE, M yeong-je CHO. 四种牧草在单播与两草种间混播条件下根系间的竞争与产草量[A]. 第十五届国际草地会议论文集[C]. 北京农业大学出版社, 1988 372~ 375
- [12] 樊江文 红三叶的研究和利用[J]. *草业科学*, 1994, 11(5): 10~ 14
- [13] Holmes W. 唐文青译 草地生产及其利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986 47~ 48; 49~ 50
- [14] Goman L W. Species and strains of pasture plants[J]. *Grasslands Bulletin*, 1951, 4: 5~ 16
- [15] Langer R H M. Pastures, their ecology and management[M]. Auckland, New Zealand: Oxford University Press, 1990 39~ 76
- [16] Taylor N L, Quesenberry K H. Red clover science[M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers 1996 203~ 210
- [17] Taylor N L, Smith R R. Red clover. In: Barnes R F. Miller D A.; Nelson C J, eds Forages, the science of grassland agriculture[M]. Ames, IA: Iowa State University Press, 1995 217~ 226
- [18] Fergus E N, Hollowell E A. Red clover[J]. *Advances in Agronomy*, 1960, 12: 366~ 436

## 《中国草地》2005年征订启事

《中国草地》是农业部主管、中国农业科学院草原研究所和中国草学会共同主办的国家级草地科学学术期刊,自1979年创刊以来,先后获全国农业优秀期刊、中国农科院优秀科技期刊、华北地区优秀期刊和内蒙古自治区优秀科技期刊等奖项7次,并两次入选全国畜牧类核心期刊,现为科技部中国科技核心期刊。其宗旨是在我国科技工作方针政策的指导下,积极报道我国草地科学研究的新成果、新进展与发展动态,传播草地科技知识,培养草地专业人才,开展学术交流,推动学科发展,为促进草地畜牧业可持续发展服务。立足全国,面向世界,内容以草地科学的基础理论研究和应用研究为主,兼纳开发研究与高新技术研究,主要刊登我国草地与牧草资源、牧草遗传育种与引种栽培、草地改良建设与培育利用、草地生态与保护、饲草料生产与调制加工、宏观决策与发展战略等方面的研究报告、研究简报、专论与综述。读者对象主要是从事草地科研、教学、管理和生产的科技人员及大专院校师生,也可供从事植物学、生态学、农学、环保绿化、国土治理、水土保持等有关方面的科技与管理工作者及种草养畜专业户和国营农牧场技术骨干阅读,对农、林、牧、副、渔各业及图书情报信息行业的有关人员也有较大的参考价值。

双月刊,16开80页,国内外公开发行。中国标准刊号  $\frac{JSSN}{CN} \frac{1000-6311}{15-1097/S}$ , 国内邮发代号16—32,全国各地邮局(所)均可订阅,每册定价3.00元,全年6期共18.00元;错过订期或漏订者可直接向本刊编辑部补订。通讯地址:呼和浩特市乌兰察布东街120号;邮编:010010;电话:0471-4926880。