施肥和刈割对垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)和羊茅(*Festuca ovina*)种间竞争力的影响

顾梦鹤[1],杜小光[1],文淑均[1],马 涛[1],陈 敏[1],任青吉[2],杜国祯[1,*]
(1. 兰州大学草地与农业生态实验室 730000 2. 甘南州合作草原站 747000)

摘要:试验选用青藏高原东部高寒草甸普遍存在的 3 种禾本科牧草垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)以及羊茅(*Festuca ovina*)进行种间竞争的野外研究。通过测定 3 种牧草生物量的干重,对其进行方差分析并计算了相对产量总和(*RYT*)以及竞争率(*CR*)。结果如下:对实验物种竞争率(*CR*)的分析表明垂穗披碱草的竞争力最强,中华羊茅次之,羊茅最差。施肥和刈割处理对于原来的竞争格局没有影响,即在施肥、刈割及其交互作用下 3 种牧草的竞争等级均是一致的。对试验物种混播的相对产量总和(*RYT*)的分析表明:在中华羊茅与垂穗披碱草的混播中,两种组成物种利用相同的资源,表现出相互竞争的趋势,这种趋势是非密度依赖的;垂穗披碱草和羊茅混播,在低密度时,羊茅和垂穗披碱草可以共享资源,但是随着密度增加,羊茅和垂穗披碱草表现出竞争相同资源的趋势;在中华羊茅和羊茅的混播中,二者在生长过程中能够共享资源,有相互促进的趋势,表现出共生的关系,且是非密度依赖的。

关键词:种间竞争;施肥;刈割;交互作用;高寒草甸
文章编号:1000-0933(2008)06-2472-08 **中图分类号**:Q142,Q143,Q145,Q948 **文献标识码**:A

Effect of fertilization and clipping intensities on interspecific competition between *Elymus nutans*, *Festuca sinensis* and *Festuca ovina*

GU Meng-He[1], DU Xiao-Guang[1], WEN Shu-Jun[1], MA Tao[1], CHEN Min[1], REN Qing-Ji[2], DU Guo-Zhen[1,*]
1 *Key Laboratory of Arid and Grassland Agroecology at Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*
2 *Grassland Workstation of Gannan, Hezuo* 747000, *China*
***Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2472 ~ 2479.**

Abstract: The experiment chooses three kinds of perennial grasses, *Elymus nutans*, *Festuca sinensis* and *Festuca ovina*, which distributed widely in the east of Qing-Hai Tibet alpine meadows and used a field replacement series to study the interspecific competition. The experiment was of four total densities and two interference factors, fertilization and clipping. The competition ability of *Elymus nutans* was the strongest, then *Festuca sinensis*, followed *Festuca ovina* based on Relative Yield Total (*RYT*) and Competition Ratio (*CR*) which were calculated from harvested shoot dry weights. Fertilization and clipping had no obvious influence on the competition pattern. *F. sinensis/E. nutans* mixture sutilized the same resource and showed competitive trend when mixed at various seeding densities. In the *F. ovina/E. nutans* mixtures, they shared the same resource and showed the commensal relationship when density was lower. When density increased they utilized the same

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90202009)
收稿日期:2007-03-02; **修订日期**:2007-11-07
作者简介:顾梦鹤(1974 ~),女,甘肃,博士,主要从事种群生态学研究. E-mail: e_dewdrop@yahoo.com.cn.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guozdu@lzu.edu.cn
Foundation item: The project was financially supported by National Natural Foundation of China (No. 90202009)
Received date: 2007-03-02; **Accepted date**: 2007-11-07
Biography: GU Meng-He, Ph. D., maily engaged in population ecology. E-mail: e_dewdrop@yahoo.com.cn.

resource and showed competitive relationship. *F. sinensis/F. ovina* mixtures shared the same resource and facilitated each other. They showed the commensal relationship and it was density-independent.

Key Words: interspecific; fertilization; cutting; interaction; alpine meadow

竞争是塑造植物形态、生活史以及植物群落结构和动态特征的主要动力之一,同时也是决定生态系统结构和功能的关键生态过程之一[1,2]。植物竞争实验中,替代实验(replacement series)使用的比较多[3,4],它被称赞为是用来比较两个混播种的竞争输出的非常有效的设计,可以使人们对于生态位分化的特征有更深入的理解[5]。同样,它被认为是用于研究两个物种相互作用的相当优雅的方法[6]。在诸多竞争的研究中,一些问题值得深思,许多实验材料是1年生的草本植物,研究往往是针对短期水平及个体水平,但是所依托的理论文献却是基于平衡状态及群落水平的[7];这些实验大多是在温室或者花盆中进行的,太多地强调了人为控制条件而不是野外条件下的研究[3,8,9],这种环境中的实验物种与其在自然界中的经历不同,同时,室内的简单环境遗漏了一些重要的生态位纬度,它可能会妨碍生态位分化的产生[3],依据这些实验来讨论和理解竞争结果是缺乏说服力的,至少这种结论是不完全准确的,容易造成片面性。本试验选取青藏高原普遍存在的多年生禾本科牧草垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)和羊茅(*Festuca ovina*)作为试验材料,采用替代实验方法,研究了3种牧草在不同程度的干扰环境(施肥和刈割)中,基于较稳定状态下其竞争等级是否发生变化。针对近年来青藏高原东部高寒草地大面积退化,草地生产力下降,自然生态系统严重受损的问题,旨在在青藏高原牧区寻求一种高寒草地资源保护与利用相结合的可持续发展模式。通过对垂穗披碱草、中华羊茅和羊茅混播草地种间竞争的动态研究,为青藏高原高寒草地畜牧业发展、退化草地治理和生态环境建设中人工草地的建植和管理提供科学依据。

1　材料及方法

1.1　试验地点及试验材料

本试验在甘肃省兰州大学高寒草甸生态系统定位研究站进行,试验地点位于甘南藏族自治州合作市郊,此地位于青藏高原东部边缘地区,地理坐标为34°55′ N,102°53′ E,海拔2900 m。年均气温为2.0℃,年降水量557 mm[10]。研究所用的试验材料——垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)和羊茅(*Festuca ovina*)为青藏高原常见的禾本科牧草。于2001年9月在甘南藏族自治州合作市附近采集种子,妥善保存至2002年6月份播种进行实验。

1.2　试验设计

试验设计分混播和单播两部分。混播是1:1的替代实验,共有四种组合,即垂穗披碱草和中华羊茅混播,中华羊茅和羊茅混播,垂穗披碱草和羊茅混播及3种草混播,混播种的种子均为等比例,有4个总密度梯度:400,800,1600,3200粒/m^2。小区面积为12 m^2(3 m×4 m),小区间的缓冲带为0.5m。试验时将小区按短边分为2等分,分别设计为施肥和不施肥,再把长边分为3等分,分别设计为对照(不刈割)、轻度刈割(留茬6cm)和重度刈割(留茬2 cm),即每个小区被划分为6个亚小区。混播中密度、施肥、刈割及物种组合处理分别有4、2、3、4个水平,试验重复4次,每个重复内小区按随机区组布置,共64个小区。在单播中,处理水平同混播,共4个重复,重复内小区按随机区组布置,共48个小区。

1.3　试验方法

2003年6月21日播种。10d后垂穗披碱草出苗,中华羊茅出苗时间相对晚4~5d,羊茅的又晚3~4d。8月4日第一次幼苗测定。使用0.25m×0.25m的样方,在每个亚小区的中心做样方,并将其定位,便于下次测定,测定了样方内的幼苗丛数(一个植株所有的分蘖计为一丛),并随机选择其中3株测定高度。2004年4月中旬植物返青,5月4日测定,方法同前,测定后,进行施肥处理,使用$(NH_4)_2HPO_4$,施肥量为60g/m^2,在每个小区的西半部分均匀撒播,东半部分作为对照。6月下旬再次测定,测定中增加刈割处理,与测定同时进行,

按照设计以不同强度刈割各样方内的植株,将其生物量在实验室烘干至恒重,同时以相同强度刈割样方周围的植株,以保证样方内植株的光照。7 月下旬再次刈割,方法相同。9 月初最后一次测定,测定后收获,刈割样方内的植株(齐地面剪下),得到 3 种牧草的恒重。

1.4 竞争参数

在替代实验中,相对产量总和 *RYT*(De Wit 1960)是测定混播两种植物间竞争力的重要指标[11],相对产量总和用公式表示为:

$$RYT = Yav/Yaa + Yva/Yvv \quad (1)$$

式中,*Yav* 与 *Yva* 分别为密度为 *N* 的混播中 *A* 和 *V* 的生物量,*Yaa* 与 *Yvv* 分别为密度为 *N* 的单播中 *A* 和 *V* 的生物量,*RYT* 值可以表明两种植物间的相互作用以及对同一环境资源的利用情况。*RYT* > 1 时,植物种占有不同的生态位,利用不同的资源,表现出共生关系;*RYT* = 1 时,植物种间利用共同的资源;*RYT* < 1 时,表示植物间的相互拮抗关系。竞争率 *CR* 用于研究农作物中植物间相对竞争力的大小[12],它的公式表示为:

$$CR = (Yav/Yaa \cdot Zav)/(Yva/Yvv \cdot Zva) \quad (2)$$

式中,*Yav*、*Yva*、*Yaa*、*Yvv* 表示意义同上,*Zav* 为混播中 A 的混播比例. *Zva* 为混播中 *V* 的混播比例。在本试验中,由于混播是等比例播种,故 *Zva* 与 *Zav* 可以相互约去。当 *CR* > 1 时,表示 *A* 的竞争力大于 *V*;当 *CR* = 1 时,表示 *A* 和 *V* 竞争力相似;当 *CR* < 1 时,,表示 *A* 的竞争力小于 *V*,计算 *RYT*、*CR* 值时生物量都用干物质产量[13,14]。

竞争参数中所用生物量为 2004 年获得的 3 次生物量总和,使用统计软件 spss13.0 进行统计分析。

3 结果与讨论

3.1 垂穗披碱草、中华羊茅和羊茅的定株密度

2004 年植物返青后,测定的 3 种牧草与播种密度对应的定株密度见表 1。3 个物种的定株密度间多重比较结果表明,垂穗披碱草最大密度与第一第二两个密度之间差异显著,各相邻密度间均无显著差异,中华羊茅和羊茅的最高密度与其他密度之间有显著差异(表 1)。方差分析的结果表明,垂穗披碱草的定株密度与中华羊茅和羊茅的定株密度均有显著性差异($P < 0.05$,$P < 0.001$)。幼苗期往往是种群密度最大的阶段, 也是植物生活史中对环境条件反映比较敏感的时期,幼苗生长发育成为成年植株而定居下来,要不断同外界的各种不利因素作斗争,包括激烈的种间和种内竞争。当密度增加时,竞争加剧,竞争力强的物种得以充分发展,竞争力弱的物种受到严重抑制。在本试验中,3 个物种在混播中都以等比例播种,但是定株密度之间却表现出显著差异,与试验设计的初始播种的密度梯度相差甚远,即在幼苗生长期,3 种牧草之间已经竞争激烈,完全破坏了人为设计的相同密度平等竞争的初衷,形成了初步的竞争格局,垂穗披碱草相对于其他两种牧草表现出较强的竞争能力,在竞争中处于优势地位。

表 1 垂穗披碱草、中华羊茅和羊茅的定株密度

Table 1 The regrowth rate of *Elymus nutans*, *Festuca Sinensis* and *Festuca ovina*

播种密度(seed/m²) Seeding rate	垂穗披碱草 *Elymus nutans*	中华羊茅 *Festuca sinensis*	羊茅 *Festuca ovina*
400	246 ± 55.4a	127 ± 26.1a	91 ± 45.3a
800	413 ± 120 ab	175 ± 52.2a	134 ± 50.4a
1600	477 ± 145 bc	292 ± 153 ab	174 ± 30.9a
3200	681 ± 265c	428 ± 156b	381 ± 168b

3.2 3 种牧草的生物量

两种肥力条件下 3 种牧草在不同组合中的生物量图如图 1 所示,不同处理对牧草生物量及竞争参数影响的方差分析见表 2。施肥处理使平均生物量增加了 82%,方差分析结果表明,施肥对垂穗披碱草的生物量影响不显著,对中华羊茅和羊茅的生物量影响极显著(表 2,$P < 0.001$),对竞争参数 *RYT* 和 *CR* 均无显著影响。

不同刈割强度下 3 种牧草在不同组合中的生物量图见图 2。刈割降低了 3 种牧草的生物量,随着刈割强度的增加生物量逐渐下降,轻度刈割使平均生物量降低了 23%,重度刈割使之降低了 28%。方差分析结果表明,刈割对 3 种牧草的生物量均有极显著影响(表 2,$P<0.001$),对竞争参数 *RYT* 有显著影响(表 2,$P<0.05$)。另外,混播组合对于中华羊茅及羊茅生物量有极显著影响(表 2,$P<0.001$),定株密度对中华羊茅和羊茅的生物量有显著影响(表 2,$P<0.05$,$P<0.001$)各因子交互作用见表 2。

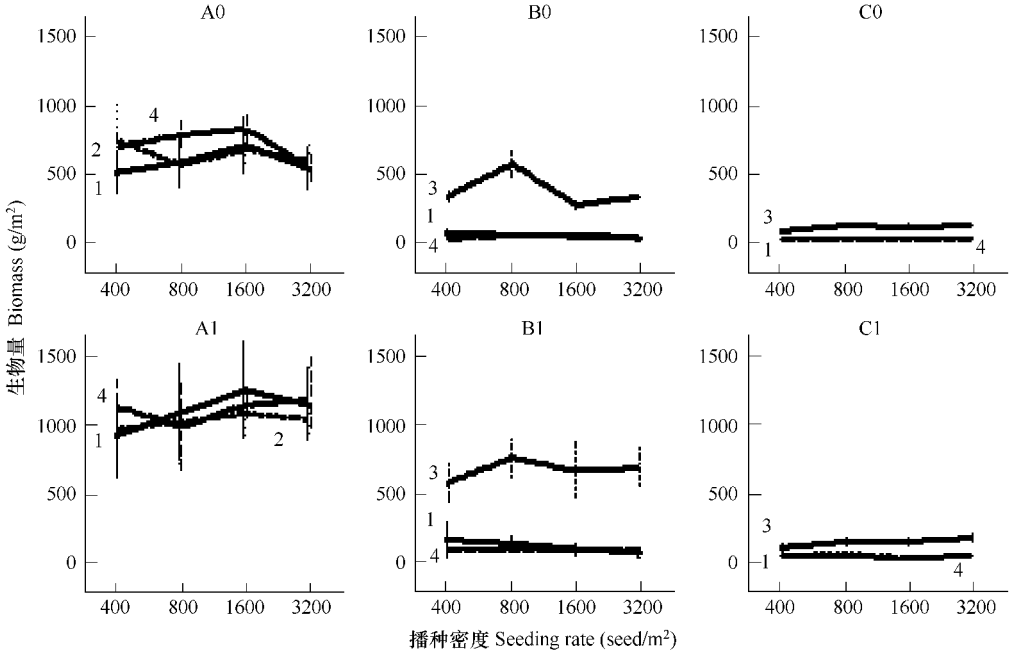

图 1　施肥及对照条件下 3 种牧草在不同组合中的生物量

Fig. 1　The biomass of three species in different combinations over fertilization treatments

A:垂穗披碱草;B:中华羊茅;C:羊茅; 0:不施肥;1:施肥; 下同

1:垂穗披碱草-中华羊茅;2:垂穗披碱草-羊茅;3:中华羊-羊茅;4:垂穗披碱草-中华羊茅-羊茅

A:*E. nutans* ,B:*F. sinensis*,C: *F. ovina*. 0: non-fertilized, 1:fertilized; the same below

1:*E. nutans -F. sinensis*, 2:*E. nutans- F. ovina*,3:*F. sinensis-F. ovina*, 4:*E. nutans -F. sinensis-F. ovina*

表 2　不同处理对 3 种牧草混播生物量和竞争参数影响的方差分析

Table 2　ANOVA of treatment effects on shoot biomass and competitive indices on three grass species mixtures

处理 Treatment	自由度 Df	显著性 Significance				
		En	Fs	Fo	RTY	CR
混播组合 Mixtures	2	NS	* * *	* * *	* * *	* * *
定株密度 Regrowth rate		NS	*	* *	* * *	* * *
施肥 Fertilizer	1	* * *	* * *	* * *	NS	NS
刈割 Clipping	2	* * *	* * *	* * *	*	NS
交互作用 Interaction						
F*x*C	2	* *	* * *	* *	NS	NS
F*x*C*x*M	4	*	* *	* *	NS	NS

* * * = $P<0.001$, * * = $P<0.01$, * = $P<0.05$, NS = no significance;En:*E. nutans*, Fs:*F. sinensis*, Fo:*F. ovina*

本试验中,施肥使垂穗披碱草、中华羊茅和羊茅 3 种牧草的生物量均有增加(图 1),提高了混播草地的生产力,改善了草地基况,这与前人的研究是一致的[15,16]。刈割对植株生长的影响主要是由于它干扰了植株对光的截流和光合作用的进行,其强度大小决定了叶面积对光的有效截取和恢复的快慢,从而影响植株体内物质的合成速率[17]。在本试验中,刈割后,垂穗披碱草的生物量明显下降,是因为垂穗披碱草植株高大,其生物

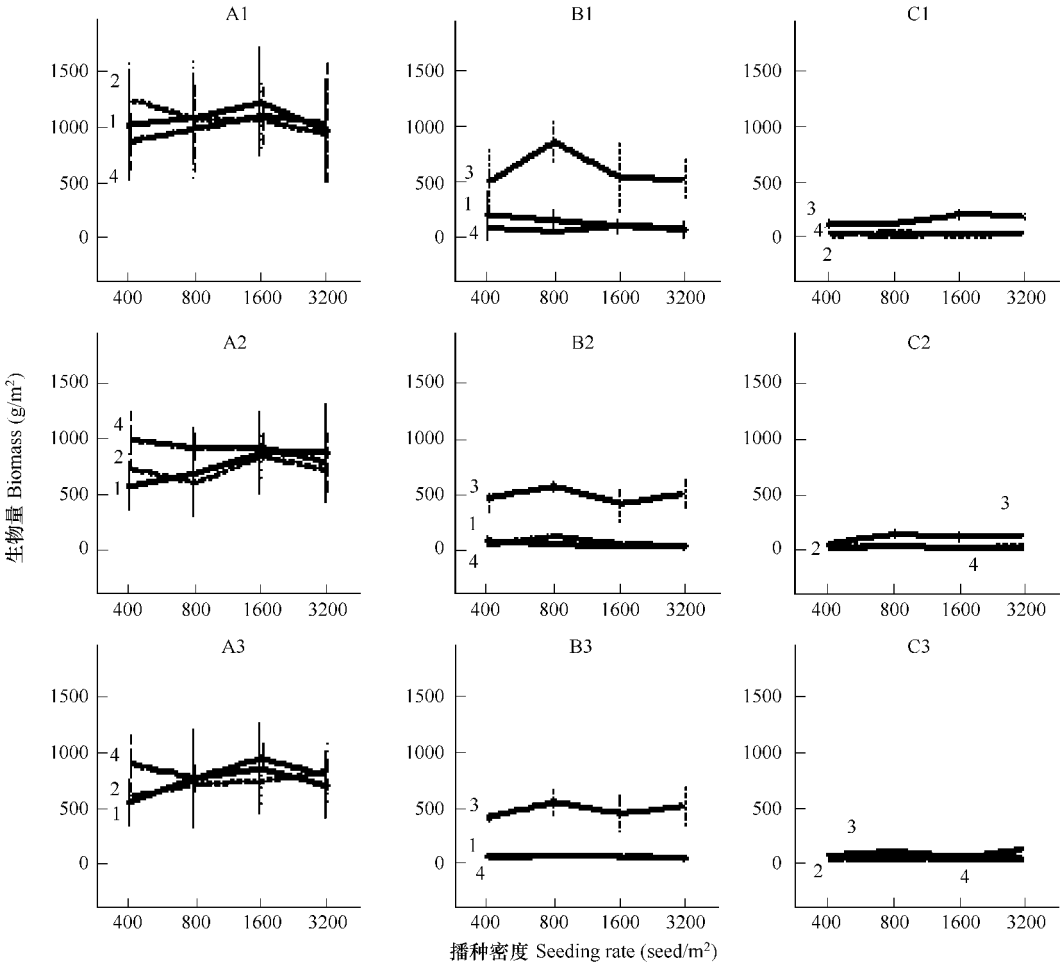

图2 不同刈割条件下3种牧草在不同组合中的生物量

Fig. 2 The biomass of three species in different combinations over cutting treatments

1:不刈割 no cutting;2:轻度刈割 light cutting;3:重度刈割 heavy cutting

量在混播草地中所占比例较大,刈割大幅降低了其在整个群落中的生物量(百分比),同时减少了它的叶面积对光的截流,减缓了其再生率,从而降低了混播草地的生产力。

3.3 竞争参数及3种牧草的竞争等级

垂穗披碱草,中华羊茅和羊茅3种牧草两两混播的相对产量总和 *RYT* 及竞争率 *CR* 值见表3。方差分析结果表明,混播组合对两个竞争参数有极显著影响(表2,$P<0.001$),刈割对相对产量总和有显著影响(表2,$P<0.05$)。垂穗披碱草和中华羊茅混播,其相对产量总和小于1,表明二者在混播中利用同一资源,表现出相互竞争的趋势;中华羊茅相对于垂穗披碱草的竞争率小于1,表明中华羊茅的竞争力小于垂穗披碱草,其生长在很大程度上受到垂穗披碱草的抑制。垂穗披碱草和羊茅混播,相对产量总和在低密度时大于1,高密度基本都是小于1,表明在低密度时,羊茅可以和垂穗披碱草共享资源达到共生,但是随着密度增加,羊茅和垂穗披碱草表现出竞争相同资源的趋势;羊茅相对于垂穗披碱草的竞争率表明,羊茅的竞争力小于垂穗披碱草,它在竞争中处于劣势,生长受到垂穗披碱草的抑制。中华羊茅和羊茅混播,相对产量总和均大于1,表明中华羊茅和羊茅能够共享同一资源,表现出共生的趋势,羊茅相对于中华羊茅的竞争率表明中华羊茅的竞争力强于羊茅。至此,可以得到3种牧草之间的相互竞争能力,即垂穗披碱草的竞争能力最强,中华羊茅次之,羊茅最差。

表3　不同密度、刈割程度及不同肥力条件下3种牧草混播的 *RYT* 和 *CR* 值(±S.E.)

Table 3　Value of *RYT* and *CR* over the mixture of three species in different densities, different cutting levels and different fertilities

物种 Species	肥力 Fertility	刈割 Cutting	播种密度 Seeding rate(seed/m^2))							
			400		800		1600		3200	
			RYT	CR	RYT	CR	RYT	CR	RYT	CR
E. nutans-	不施肥 Unfertilized	1	1.741±1.61	10.85±10.4	0.903±0.52	13.12±14.9	0.923±0.26	6.469±4.05	0.827±0.69	16.80±8.06
F. sinensis		2	0.680±0.161	3.668±2.051	2.053±1.807	21.22±21.86	1.032±0.535	11.94±9.42	1.229±0.770	22.00±22.17
		3	1.017±0.396	15.23±14.74	0.883±0.457	6.204±4.864	0.927±0.375	10.45±5.541	1.322±0.667	16.00±9.410
	施肥 Fertillized	1	2.144±0.776	2.016±0.722	0.945±0.265	3.361±3.150	0.767±0.249	11.37±14.21	0.932±0.488	12.71±9.392
		2	0.883±0.060	6.648±2.816	0.798±0.107	9.567±7.819	0.868±0.240	13.74±6.296	1.246±0.496	38.60±36.04
		3	1.186±0.365	23.52±27.47	0.893±0.361	8.912±4.981	0.118±0.475	15.47±11.87	1.219±0.916	28.45±29.66
E. nutans-	不施肥 Unfertilized	1	1.749±0.675	14.79±2.565	1.114±0.816	14.79±2.565	0.805±0.381	8.661±4.143	0.946±0.395	9.885±5.011
F. ovina		2	1.141±0.642	4.681±2.629	2.148±1.120	4.681±2.629	1.188±0.367	18.02±18.46	0.889±0.191	15.92±13.59
		3	1.661±0.269	7.160±5.052	0.951±0.426	7.160±5.052	0.862±0.337	7.842±5.027	1.519±0.280	14.87±6.187
	施肥 Fertilization	1	1.639±0.244	10.81±15.57	10.12±14.04	10.81±15.55	0.578±0.162	11.70±5.207	0.579±0.062	10.39±1.042
		2	1.168±0.342	3.352±1.977	0.862±0.360	3.352±1.977	0.907±0.442	10.32±6.229	1.024±0.236	18.20±12.63
		3	1.777±1.041	3.218±1.727	0.988±0.057	3.218±1.727	0.923±0.332	11.26±2.376	1.272±0.962	28.21±19.65
F. sinensi-	不施肥 Unfertilized	1	1.885±0.824	12.53±14.88	5.883±4.156	0.598±0.551	2.093±1.649	2.139±1.932	1.172±0.2732	2.500±.656
F. ovina		2	1.701±0.489	5.924±5.822	3.307±0.556	1.021±0.313	1.560±0.783	1.772±0.714	1.719±0.451	7.591±6.585
		3	2.978±1.122	1.474±1.611	2.624±0.941	1.542±0.801	1.054±0.302	3.866±2.247	1.527±0.283	2.979±1.715
	施肥 Fertilization	1	3.217±2.263	3.447±2.823	10.67±9.162	0.849±1.139	1.894±1.290	2.432±2.624	0.725±0.342	2.008±0.891
		2	2.264±2.035	3.515±2.024	2.196±0.407	2.569±2.702	1.834±1.601	2.305±1.361	1.316±0.521	5.508±5.383
		3	1.599±0.248	2.48±2.2213	1.820±0.617	1.511±0.799	1.437±0.679	8.440±11.60	1.390±0.370	7.246±3.203

有研究报道,在植物的竞争中,叶面积较大及叶片位置较高的植物在竞争中占据竞争等级的上部,而不受营养条件的影响,莲座型叶丛及叶片位置较低的植物通常处于竞争等级的较低位置[18]。本试验物种中,垂穗披碱草和中华羊茅具有较大叶面积且植株个体较大,而羊茅属密丛型植物,具有较多分蘖,植株个体较小,它们在形态学特征上有较大差异。垂穗披碱草植株高大,优先捕获光资源的同时抑制了其它两种禾草对光资源的捕获,施肥处理促进了这种优势,使竞争等级更加明显和稳定;刈割大幅降低了垂穗披碱草在整个群落中的生物量,在一定程度上抑制了垂穗披碱草的竞争优势,但中华羊茅和羊茅依然受到垂穗披碱草的竞争抑制,即物种的竞争能力与其形态特征(叶面积及叶片位置)有密切的联系,研究结果和前人一致。

幼苗的出土时间是决定植物竞争能力的重要因素,虽然初始出苗时间并不能决定物种最终的竞争结局,但是它对竞争结局有很大的影响,物种间的比较说明竞争反应能力与物种的平均出土时间呈负相关[1]。本试验中,垂穗披碱草出苗较早,在幼苗期的竞争中优先捕获光资源、水资源及土壤中的营养,这种优先捕获资源的能力抑制了其它两种牧草的竞争能力,造成3种牧草幼苗竞争的不对称性。在牧草的生长期,施肥进一步强化了幼苗期形成的不对称竞争格局,使竞争等级趋于明显和稳定;刈割在一定程度上抑制了这种竞争等级的强化,却不改变竞争等级的次序,3个物种的竞争等级与其在幼苗期形成的不对称竞争格局是一致的,即3个试验物种的竞争能力与其相应的出苗时间呈现负相关,这与前人的[1]的试验结论也是一致的。因此,施肥和刈割对于试验物种的竞争等级没有影响,不同干扰环境中的竞争等级和原始状态下(没有干扰)的竞争等级是一致的。

References:

[1] Li B, Cheng J K, Atkinson A R. A literature review on plant competition. Chinese Bulletin Btany, 1998, 15(4): 18 - 29.

[2] Du F, Liang Z S, Hu L J. Study review of plant competition. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(4): 157 - 163

[3] Wang G, Zhang D Y. Theories of Biological Competition. Xi'an: The Technology Publishing Company of Shanxi Province, 1996.

[4] Joliffe P A. The replacement series. Journal of Ecology, 2000, 88: 371 - 385.

[5] Firbank L G, Watkinson A R. On the effects of competition: from monocultures to mixtures. Perspective on Plant competition. USA, Academic Press, San Diego, 1990. 165 - 192.

[6] Harper J L. Plant population Biology. USA, Academic Press, San Diego, 1977.

[7] Goldberg D E. Competitive ability: definitions, contingency and correlated traits. Philosophical Transactions of the Royal Society London, 1996, 351: 377 - 1385.

[8] Goldberg D E, Barton A M. Patterns and consequences of interspecific competition in natural communities: a review of field experiments with plants. American Naturalist, 1992, 139: 771 - 801.

[9] Connolly J, Wayne P, Bazzaz F A. Interspecific competition in plants: how well do current methods answer fundmental questions? The Naturalist American Naturalist, 2001, 57(2): 107 - 125.

[10] Zhao Z G, Du G Z, Ren Q J. Size-dependent reproduction and sex allocation in five species of ranunculaceae. Acta Phytoecological Sinica, 2004, 8(1), 9 - 16.

[11] Taylor D R, Aarssen. On the density dependence of replacement-series competition experiments. Journal of Ecology, 1989, 77: 975 - 988.

[12] Weigelt A, Jolliffe P. Indices of plant competition. Journal of Ecology, 2003, 91: 707 - 720.

[13] Ma C H, Han J G, Li H X, *et al*. The dynamic study on the biomass, quality, and interspecific competition of annual mixture grassland. Acta Agrestia Sinica, 1999, 7(1): 62 - 71

[14] Austin M P, Fresco L F M, Nicholls A O, *et al*. Competition and relative yield: estimation and interpretation at different densities and under various nutrient concentrations using Silybum Marianum and Cirsium Vulgar. Journal of Ecology, 1988, 6: 57 - 171.

[15] Zhou Q P, Jin J Y, De K J, *et al*. Study on benefit of forage yield increase at different level of N application in alpine rangeland. Soil Fertilizer, 2005, 3: 9 - 31.

[16] Ma J X, Hu Z Z, Dong S K, *et al*. Dynamics of theabove ground Phytomassand Effect of Nitrogenon Mixed Artificial Perennial Grassland in Alpine

Region. Grassland and Turf, 2003,102(3): 23 －28.

[17] Xia J X. Progress in studies of the effects of defoliationon regrowth and production in grass pasture. Acta Agrestia Sinica, 1994,2 (1):45 －55

[18] Keddy P A, Twolan-strutt L, Shipley B. Experimental evidence that interspecific competitive asymmetry increases with soil production. Oikos, 1997,80:253 －256.

参考文献:

[1] 李博,陈家宽,A. R. 沃金森. 植物竞争研究进展. 植物学通报,15(4):18 ~29.

[2] 杜峰,梁宗锁,胡莉娟. 植物竞争研究综述. 生态学报,2004,3(4):157 ~163.

[3] 王刚,张大勇. 生物竞争理论. 西安:陕西科学技术出版社,1996

[13] 马春辉,韩建国,李鸿祥,等. 一年生混播草地生物量和品质以及种间竞争的动态研究. 草地学报,1999,7(1):62 ~71.

[10] 赵志刚,杜国祯,任青吉. 5 种毛茛科植物个体大小依赖的繁殖分配和性分配. 植物生态学报,2004,28(1):1 ~16.

[15] 周青平,金继运,德科加,等. 不同施氮水平对高寒草地牧草增产效益的研究,2005,3:9 ~31.

[16] 马金星,胡自治,董世魁,等. 高寒地区多年生禾草混播草地地上植物量动态及氮素效应研究. 草原与草坪, 2003,102(3): 23 ~28.

[17] 夏景新. 刈牧对禾草草地的再生和生产力影响的研究进展. 草地学报,1994,2(1):45 ~55.