

恢复措施对退化草地羊草种群有性生殖数量特征的影响*

李红¹ 杨允菲^{2**}

(¹北京林业大学资源与环境学院,北京 100083;²东北师范大学草地研究所,长春 130024)

【摘要】 在封育和翻耙处理的退化羊草草地上,对羊草种群有性生殖的数量特征进行了比较研究.结果表明,翻耙样地羊草种群密度下降显著,生殖蘖密度变化不显著,生殖蘖穗长、节间长、生殖生长比率、穗节数、小穗数、小花数、饱满籽实数和结实率都有显著增长,籽实产量、净籽实重和千粒重分别是封育样地的2.68、3.49和1.3倍.在翻耙样地中,羊草种群发育有复小穗的生殖蘖比封育样地多16%,生殖蘖上复小穗的数量也显著增加,生殖蘖以相对少的小穗,生产了较多的小花和更多的籽实来提高种群的籽实产量.两个样地中羊草种群的生物量生殖分配在种群对生殖蘖 RA₁、生殖蘖对穗序 RA₄、穗序对籽实 RA₆ 3个层次上无显著差异,而种群对穗序 RA₂、生殖蘖对籽实 RA₅ 的生殖分配差异显著,种群对籽实 RA₃ 的生殖分配差异极显著.

关键词 松嫩平原 退化草地 羊草种群 生殖构件 生殖分配

文章编号 1001-9332(2004)05-0819-05 **中图分类号** X171.4 **文献标识码** A

Effect of restorative measures on quantitative characters of reproduction for *Leymus chinensis* population in the degenerated grassland. LI Hong¹, YANG Yunfei² (¹College of Natural Resource and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ²Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(5): 819~823.

Studies on the reproductive characters of *Leymus chinensis* population in two plots showed that the density of *L. chinensis* population declined significantly in plowing plot, while the density of reproductive tillers varied insignificantly. The reproductive tiller had longer ear, longer inter-node, higher ratio of reproductive growth, higher seedling percentage, more ear-nodes, more spikelets, more florets and grains in plowing plot than in enclosing plot. The grain yield, net weight of grain, and the weight of 1000 grains was 2.68 times, 3.49 times and 1.3 times higher in plowing plot than in enclosing plot, respectively. The reproductive tillers with double-spikelet were 16% more in plowing plot than in enclosing plot, and they developed more double-spikelets. Relatively, the reproductive tiller in plowing plot developed few double-spikelets, more florets and more grains, so that, the grain yield of the population was enhanced largely. The reproductive allocations of *L. chinensis* didn't response differently to both plowing and enclosing at three module levels, including population to reproductive tiller, reproductive tiller to ear, and ear to grain, but the allocation of population to ear and to grain, and the allocation of reproductive tiller to grain were significantly higher in plowing plot than in enclosing plot.

Key words Songnen plains, Degenerated grassland, *Leymus chinensis* population, Reproductive module, Reproductive allocation.

1 引言

松嫩平原天然羊草草地是东北地区发展畜牧业生产的重要基地,是优良的天然割草场和放牧场^[2].羊草(*Leymus chinensis*)是一种典型的根茎禾草,营养繁殖力强,抗逆、抗干旱,适口性好,具有较高的营养价值、饲用价值和经济价值,具有许多优良的特性^[4].近些年来,由于长期实行粗放的经营方式,草地严重超载过牧,松嫩平原大面积的羊草草地出现了十分严重的退化、盐碱化现象,草群的高度、盖度明显下降,生产力降低,甚至导致草地植被丧失,草地上出现了大量裸露的盐碱斑,退化草地有效

改良和恢复利用势在必行.长期以来人们对天然羊草草地的研究高度重视,特别是羊草的生态学特性和营养繁殖特性引发了众多学者的兴趣.有关羊草种群有性生殖特性也有一些研究成果^[8~18],但有关退化羊草草地恢复过程中羊草种群有性生殖特征的变化方面的研究至今未见报道.在松嫩平原天然草地中,羊草种群主要以营养繁殖方式进行种群的延续和更新,但羊草种群的有性生殖在生产实践中也有着重要意义,如对退化草地进行补播,以及建立以

* 国家自然科学基金资助项目(30070137, 39770536).

** 通讯联系人.

2002-10-12 收稿, 2003-02-28 接受.

羊草为主的人工和半人工草地都需要大量的羊草种子,这就有必要促进羊草种群进行有性生殖来生产尽可能多的种子。

围栏封育是退化草地改良和恢复的简单而经济的有效措施之一。在围栏封育的基础上实施其它一些可操作性强的恢复措施,也是使退化草地尽快得到恢复的捷径。例如对退化严重的多年生根茎禾草草地实行围栏后翻耙,可以疏松表层土壤,改良土壤性状^[3],切断根茎,促进根茎禾草的营养繁殖,有利于植物根系的生长发育,使退化草地的植被状况发生较大的变化。掌握退化羊草草地中羊草种群的繁殖特性对恢复措施的响应机理,是实施改良和恢复退化羊草草地的理论基础。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

研究地区位于松嫩平原南部、吉林省长岭县种马厂境内东北师范大学草地生态研究站,44°45'N和123°45'E,天然草原面积约 $2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。本区属于半湿润半干旱温带季风型气候,年平均降水约450 mm,年蒸发量1368 mm,约为年降水量的3倍, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温2579~3144 $^\circ\text{C}$,最低月均温-14~-19 $^\circ\text{C}$,最高月均温21.5~23.6 $^\circ\text{C}$,无霜期平均为150 d左右。区内地带性土壤为黑土,以黑钙土和碳酸盐黑土为主,天然草地以天然羊草群落为主,常形成单优势的植物群丛。

在松嫩平原羊草草原吉林省长岭县境内的退化天然羊草草地上,为使退化草地尽快得到恢复,1995年建立了一块面积约为3000 hm^2 的临时封育区。1997年,在封育区内南部退化比较严重的地段上进行了翻耙,深度大约在20~30 cm。观测发现,翻耙区羊草群落分布不均匀,呈大斑块状,斑块内羊草密度为 $854.4 \pm 86.61 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$,生产量为 $599.04 \pm 96.31 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,但斑块间也有一些小区域羊草,极其稀疏甚至裸露;封育后未经翻耙处理的天然草地羊草群落和退化的草地植被得到了一定程度的恢复,羊草群落分布均匀,羊草种群密度为 $1276.8 \pm 326.42 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$,显著大于翻耙区羊草密度,生产量为 $324.8 \pm 48.25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,显著小于翻耙区羊草种群生产量。

2.2 研究方法

2000年7月20~23日,在羊草种子的乳熟~完熟期,选择封育后始终处于自然恢复状态的天然草地羊草群落(记为封育样地)和封育后又经翻耙处理的羊草群落地段(记为翻耙样地)两个样地进行取样调查。样方大小为 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$,主要调查羊草的密度和抽穗植株的数量,各重复10次,并将每个样地中的5个样方内所有的羊草分蘖株齐地面剪下,分别装入纸袋,带回室内,把每个样方的营养蘖和生殖蘖分开,风干称重。先测定每个样方中的整株高度和穗序长度,然后称株重(0.0001 g),剪下穗序,称穗序重,数穗节数、复

小穗数、小穗数、小花数、饱满籽实数,并测定带籽实重。将同一样地中获得的籽实混合,随机分出10组,每组100粒,称重,取平均值乘10即为带籽实千粒重。

从不同生殖构件的角度考虑,将羊草种群生殖分配共分为6类,计算方法分别为:种群对生殖蘖的生殖分配 $RA_1 = \text{生殖蘖重} / (\text{生殖蘖重} + \text{营养蘖重}) \times 100\%$;种群对穗序的生殖分配 $RA_2 = \text{穗序重} / (\text{生殖蘖重} + \text{营养蘖重}) \times 100\%$;种群对籽实的生殖分配 $RA_3 = \text{籽实重} / (\text{生殖蘖重} + \text{营养蘖重}) \times 100\%$;生殖蘖对穗序的生殖分配 $RA_4 = \text{穗序重} / \text{生殖蘖重} \times 100\%$;生殖蘖对籽实的生殖分配 $RA_5 = \text{籽实重} / \text{生殖蘖重} \times 100\%$;穗序对籽实的生殖分配 $RA_6 = \text{籽实重} / \text{穗序重} \times 100\%$ 。

用Excel软件完成全部数据处理和作图过程,用方差分析法(ANOVA)检验相应数据的差异显著性。数据处理过程中,先将测定结果换算为 1 m^2 样方的数值,以重复取样的平均值作为样本的代表值,以标准差反映样本的变异程度^[5]。

3 结果与分析

3.1 生殖蘖的数量特征

调查结果表明,翻耙样地羊草种群分蘖株密度远远小于封育样地,差异极显著($P < 0.01$),而生殖蘖密度仅略高于封育样地,差异不显著($P > 0.05$),即单位面积内进入生殖生长的抽穗植株数量受不同恢复措施的影响不明显(表1)。由于抽穗率与分蘖株密度成反比,因而翻耙样地抽穗率显著高于封育样地。羊草为穗状花序,是由带节的穗序轴和着生在穗节上的小穗组成的^[13]。在穗序轴上,从基部到顶端生有许多小穗。小穗在穗序轴上着生的位置称为穗节。多数穗节上只着生一个小穗,但有些穗节上可同时发育2个小穗^[7]。在本文中,把同一穗节上着生的两个小穗称为复小穗,把同时发育两个小穗的穗节称为复小穗节。由表1可见,两个样地中穗序构件的生长发育情况明显不同,穗序构件的各数量特征,无论是绝对数量指标(穗长、节间长、穗节数、复小穗数、小穗数、小花数、饱满籽实数),还是相对数量指标(生殖生长比率^[19]和结实率),均是以翻耙样地不同程度地大于封育样地,其间差异均达到显著和极显著水平。籽实产量和净籽实重是衡量种子产量的重要指标。籽实是对羊草种群的有性生殖最有实际意义的生殖构件,翻耙样地羊草种群的籽实产量和净籽实重分别是封育样地的2.68和3.49倍,在一定程度上反映了翻耙处理对促进退化天然草地羊草种群种子生产是十分有效的,带籽实千粒重是反映籽实质量大小的重要指标。翻耙样地羊草种群带籽实千粒重是封育样地的1.3倍,表明翻耙

措施提高了籽实营养物质的输入量。

表 1 两个样地中羊草种群有性生殖的数量特征(M±SD)

Table 1 Quantitative characters of sexual reproduction for *L. chinensis* population

项目 Item	翻耙样地 Plowing plot	封育样地 Enclosing plot	平均 M±SD
生殖蘖密度 Density of reproductive tiller	128.0 ^a ±22.63	108.8 ^a ±53.55	118.4±36.46
抽穗率 Earring percentage(%)	15.29 ^{Aa} ±4.22	8.725 ^{Ab} ±4.79	12.01±5.16
生殖生长比率 Ratio of ear to reproductive tiller at length(%)	21.77 ^{Aa} ±3.82	17.91 ^{Ab} ±2.99	19.68±2.82
穗长 Length of ear(cm)	15.10 ^{Aa} ±2.67	9.300 ^{Bb} ±1.85	12.20±3.30
节间长 Length of inter-node(cm)	0.885 ^{Aa} ±0.08	0.670 ^{Bb} ±0.03	0.775±0.15
穗节数/穗 number of ear-node	17.07 ^{Aa} ±2.89	13.86 ^{Bb} ±1.90	15.47±1.89
复小穗数/穗 Number of double-spikelet	4.371 ^{Aa} ±1.63	2.074 ^{Ab} ±0.91	3.223±1.71
小穗数/穗 Number of spikelet	21.43 ^{Aa} ±5.26	15.93 ^{Bb} ±3.76	18.68±3.52
小花数/穗 Number of floret	117.6 ^{Aa} ±39.01	62.87 ^{Bb} ±28.6	90.23±35.49
饱满籽实数/穗 Number of plump grain	50.86 ^{Aa} ±20.12	18.06 ^{Bb} ±10.8	34.46±20.09
结实率 Seeding percentage(%)	43.56 ^{Aa} ±0.101	30.55 ^{Ab} ±0.19	36.61±11.02
籽实产量 Yields of grain(粒·m ⁻²)	6378 ^{Aa} ±1512	2376 ^{Bb} ±595	4377±2363
净籽实重 Weight of grain(g·m ⁻²)	16.40 ^{Aa} ±3.98	4.695 ^{Bb} ±1.20	10.55±8.28
千粒重 Weight of 1 000 grain(g)	2.571 ^{Aa} ±0.103	1.976 ^{Bb} ±0.172	2.254±0.34

同一行中小写字母和大写字母分别表示两个样地的差异显著性为 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ Letter and capital letter in one line implied difference of two plots is at level of $P<0.05$, $P<0.01$, respectively.

3.2 生殖蘖上复小穗的数量特征

羊草种群的不同生殖蘖穗序轴上着生的复小穗数量有较大差异。本文按穗序轴上发育复小穗数量的不同,把穗序分为 4 类:1)穗序轴上没有复小穗的穗序;2)具有 1~3 个复小穗的穗序;3)具有 4~6 个复小穗的穗序;4)具有 6 个以上复小穗的穗序。对两个样地中生殖蘖穗序所属类别进行调查分析结果见表 2。由表 2 可知,在两个样地中,穗序轴上有复小穗发育的生殖蘖是较为常见的,翻耙样地多达 75% 的生殖蘖上有复小穗,封育样地接近 60% 的生殖蘖上有复小穗。不同样地中,生殖蘖按复小穗数量的多少和所归属的类别有较大差异。翻耙样地仅有 25% 的生殖蘖穗序轴上没有复小穗发育,约 57.5% 的生殖蘖有 4 个以上的复小穗,其中 30% 的生殖蘖上复小穗多于 6 个;封育样地 41.18% 的生殖蘖穗序无复小穗发育,38.24% 的生殖蘖上有 1~3 个复小穗,多于 6 个复小穗的生殖蘖仅占 8.82%,远远少于翻耙样地。由此可见,对退化羊草草地实施封育后翻耙,不仅可以促进羊草种群生殖蘖复小穗的发育,同

时也使生殖蘖穗序轴上发育复小穗的数量明显增加,其结果使翻耙样地平均每个穗序上的复小穗数约是封育样地的 2 倍(表 2)。

表 2 羊草种群生殖蘖穗序发育复小穗数量多少的类别组成

Table 2 Class and percentage of reproductive ear according to number of double-spikelet for *L. chinensis* population(%)

样地 Plot	样本数 <i>n</i>	穗序的类别(复小穗数量) Class of ear(number of double-spikelet)				合计 Total
		I (0)	II (1~3)	III (4~6)	IV (>6)	
翻耙样地 Plowing plot	160	25.00	17.50	27.50	30.00	100
封育样地 Enclosing plot	136	41.18	38.24	11.76	8.82	100

如果以 1 cm 长度穗序上着生的小穗、小花和籽实数量来衡量生殖蘖穗序的生产能力,则在翻耙样地,平均 1 cm 穗序上生有 1.42 个小穗、7.79 个小花和 3.37 个饱满籽实,在封育样地 3 个性状数值分别为 1.71、6.76 和 1.94。由此可见,翻耙样地羊草生殖蘖穗序上大量复小穗的发育,相对减少了单位长度穗序上的小穗产量,而小花和籽实的产量分别增加到 1.15 和 1.74 倍。这表明翻耙样地中羊草生殖蘖以相对较少的小穗,孕育了较多的小花,并生产了更多的籽实,是一种比较经济的繁殖机制。就平均单株生殖蘖来看,翻耙样地生殖蘖的穗序长是封育样地的 1.62 倍,而每穗序的穗节数是封育样地的 1.23 倍,即翻耙样地生殖蘖穗序的节间长增加到封育样地的 1.32 倍。节间长的增加有利于风在穗节间的流动。传粉是确定产生果实的花所占比例的主要因素^[6]。因此,增加通风可以有效增加小花的授粉概率,进而提高结实率。在翻耙样地中每穗序的小穗数是封育样地的 1.35 倍,平均每个小穗上发育的小花数是封育样地的 1.39 倍,结实率是封育样地的 1.43 倍,最终使翻耙样地每穗的籽实产量是封育样地的 2.82 倍,可见复小穗的大量发育是生殖蘖提高籽实产量的一种有效机制。翻耙样地中羊草种群较高的籽实产量是通过增加单个小穗上小花的产量和提高结实率来实现的。复小穗生长的其它生物学意义还需要进一步深入研究。

3.3 羊草种群的生殖分配

植物生殖分配的概念已被众多学者陈述过^[1,3,6,19]。Silvertown^[6]将生殖分配定义为 1 株植物 1 年所同化的资源用于生殖的比例,实际上它是将植物干重分为生殖构件和非生殖构件。生殖构件可以指整株生殖蘖,也可以指穗序构件,或者只指籽实(种子)部分。因此,种群生殖分配,可以从不同的构件层次和角度来衡量。如果把整株生殖蘖作为生

殖构件,把营养蘖作为非生殖构件,或者把穗序作为生殖构件,生殖蘖的其余部分也作为非生殖构件,或者只把籽实作为生殖构件,穗序的其余部分也作为非生殖构件来考虑生殖分配,得到的结果和实际意义都是不同的.本文以两个样地中的羊草种群为例,从不同的构件层次和角度,对种群的生物量生殖分配进行层层分析.

在一个生长季中,如果只按植物地上部分计算,羊草种群所积累的营养物质有2种存在形式,即营养蘖和生殖蘖,所以种群在一个生长季中所同化的资源应当是营养蘖和生殖蘖资源量总和.由图1可见,从不同的生殖构件层次和角度考虑生殖分配,均是以翻耙样地不同程度地大于封育样地,但其差异显著性有很大不同.其中,种群对生殖蘖生殖分配 RA_1 、生殖蘖对穗序生殖分配 RA_4 和穗序对籽实生殖分配 RA_6 在两个样地间均无显著差异(图1a, d, f);种群对穗序生殖分配 RA_2 和生殖蘖对籽实生殖分配 RA_5 在两个样地间差异显著(图1b, e);种群对籽实生殖分配 RA_3 在两个样地间差异极显著(图1c).由此可见,在两种恢复措施影响下,羊草种群在种群对生殖蘖 RA_1 、生殖蘖对穗序 RA_4 、穗序对籽实 RA_6 3个层次上的生物量生殖分配仍然保持相同水平.两个样地中,羊草种群对生殖蘖生物量分配比例 RA_1 变化不大,生殖蘖也总是按相对稳定的比例 RA_4 将自身生物量分配到穗序中,穗序又将自身生物量以较为稳定的比例 RA_6 用来形成籽实,即羊草种群在种群对生殖蘖 RA_1 、生殖蘖对穗序 RA_4 、穗序对籽实 RA_6 3个构件层次的生物量分配是相对稳定的.种群对穗序生殖分配 RA_2 和生殖蘖对籽实生殖分配 RA_5 已经表现出对不同生境条件的适应性变化.种群对籽实生殖分配 RA_3 则表现出更大的适应性差异.分析其原因,种群对籽实生殖分配 RA_3 在翻耙样地比封育样地的极显著增加,应该是由种群对生殖蘖生殖分配 RA_1 ,再由生殖蘖对穗序生殖分配 RA_4 ,然后由穗序对籽实生殖分配 RA_6 ,3个层次生殖分配的增加量(均未达到显著水平)逐步积累的结果.同理,翻耙样地比封育样地在种群对穗序生殖分配 RA_2 的显著增加,是种群对生殖蘖生殖分配 RA_1 的增加量和生殖蘖对穗序生殖分配 RA_4 的增加量积累的结果;生殖蘖对籽实生殖分配 RA_5 的显著增加,是生殖蘖对穗序生殖分配 RA_4 的增加量和穗序对籽实生殖分配 RA_6 的增加量积累的结果.由此可见,羊草种群生物量在从一种构件到另一种构

件进行分配与再分配的过程中,其生殖分配的增加量可以逐步积累,反映了翻耙样地羊草种群籽实产量的提高是通过种群对生殖蘖、生殖蘖对穗序、穗序对籽实不同层次构件间的生物量生殖分配逐渐增加、累积而实现的,是一个逐步积累的过程,籽实收获量的提高是以种群总生物量以及生殖蘖生物量的提高为基础的.

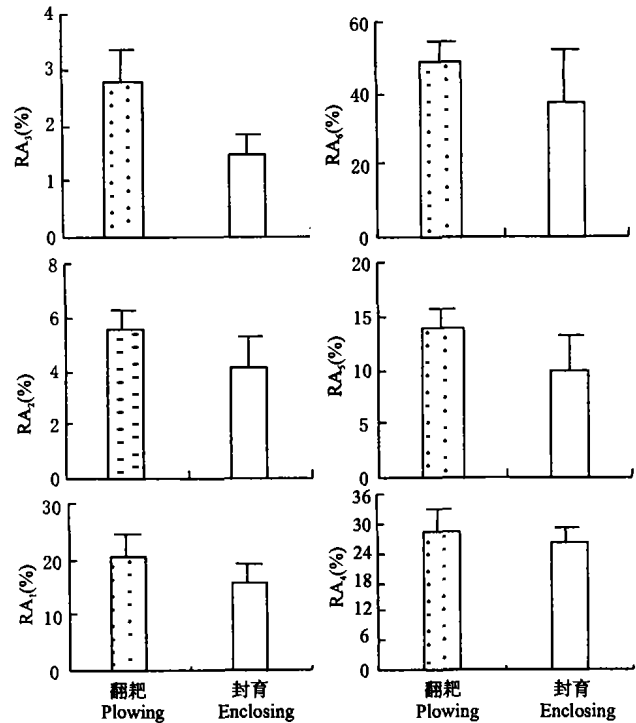


图1 两个样地中羊草种群的生物量生殖分配(%)

Fig.1 Reproductive allocation at biomass for *Leymus chinensis* population in two plots.

柱体间的标记字母同表1 Letters above bars are the same as Table 1. RA_1 : 生殖蘖/种群 Reproductive tiller/Population, RA_2 : 穗序/种群 Ear/Population, RA_3 : 籽实/种群 Grain/Population, RA_4 : 穗序/生殖蘖 Ear/Reproductive tiller, RA_5 : 籽实/生殖蘖 Grain/Reproductive tiller, RA_6 : 籽实/穗序 Grain/Ear.

从平均水平来看,如果以生殖蘖作为生殖构件,那么羊草种群在一个生长季中所积累的全部生物量用于生殖的比例 RA_1 为 17.90%;如果只把穗序作为生殖构件,分别以生殖蘖和种群的生物量作为全部生物量来考虑生殖分配,则生殖蘖对穗序生殖分配 RA_4 为 27.04%(即为经典的生殖分配),而种群对穗序生殖分配 RA_2 仅为 4.81%;如果只把籽实作为生殖构件,分别以穗序、生殖蘖、种群的生物量作为全部生物量来考虑生殖分配,则穗序对籽实生殖分配 RA_6 为自身生物量的 43.29%,生殖蘖对籽实生殖分配 RA_5 为 11.67%,种群对籽实生物量生殖分配 RA_3 仅为 2.09%.由此可见,羊草种群对其有性生殖的实际贡献仅占种群总生物量中极少的一部分,松嫩平原羊草种群对有性生殖的投入是极低的.

4 结 论

4.1 经封育和翻耙处理后,退化草地羊草种群的生长发育状况得到明显改善,特别是封育后翻耙处理有效地促进了羊草种群的有性生殖生长;在群体上,显著提高了种群的抽穗率,增加了种群对有性生殖的相对投入比例,使翻耙样地的籽实产量比封育样地多 2.68 倍;在个体上,种群生殖蘖的生殖生长量、小穗数、小花数、结实率和饱满籽实数都有显著增长,反映了羊草种群有性生殖在适应不同生境的过程中将不断进行相应的适应性调节,翻耙措施有利于退化草地的羊草种群进行有性生殖.天然草地中羊草种群抽穗率往往较低,而翻耙处理使羊草种群抽穗率显著提高,种群密度下降,降低了种内竞争,有利于分蘖株的生长发育和生殖蘖生长发育状况的改善,大大提高了籽实产量和籽实质量,使羊草种群对有性生殖过程的相对投入比例显著增大.

4.2 封育后进行翻耙处理可促进羊草种群中更多的生殖蘖发育复小穗,并显著提高生殖蘖发育复小穗的数量.复小穗数量的增加不仅能使生殖蘖穗的节间长度增大,减少单位长度穗序上的小穗数,而且能通过增加单个小穗上发育小花的数量,提高结实率,增加种群籽实的产量.

4.3 如果分别以种群、生殖蘖、穗序作为全部的生物量来考虑生殖分配,两个样地中羊草种群在种群对生殖蘖 RA_1 、生殖蘖对穗序 RA_4 、穗序对籽实 RA_6 3 个构件层次上的生物量生殖分配没有显著差异,此 3 个构件层次上的生殖分配对不同措施的适应是相对稳定的.种群对穗序生殖分配 RA_2 和生殖蘖对籽实生殖分配 RA_5 均以翻耙样地显著大于封育样地,此 2 个构件层次上的生殖分配,已表现出对不同生境条件适应调节的显著变化.种群对籽实生殖分配 RA_3 则翻耙样地极显著地大于封育样地,表现出更大的适应性差异.对松嫩平原退化羊草草地实施封育、翻耙处理后,羊草种群抽穗率增加显著,对有性生殖的分配比例增大,种群有以增加有性生殖产生更多的种子来扩展种群规模的潜势.

参考文献

- 1 Du G-Z(杜国祯), Sun G-J(孙国钧), Wang X-Z(王兮之). 1999. The relationship of reproductive allocation depended by individual

- size to density on *Elymus nutans* population. *Acta Prata Sin* (草业学报), 8(2): 26~33(in Chinese)
- 2 Li J-D(李建东), Zheng H-Y(郑慧莹). 1988. The discuss on relativity of vegetation to environment in South of Songnen Plain. *Acta Bot Sin* (植物学报), 30(4): 420~429(in Chinese)
- 3 Li J-D(李建东), Zheng H-Y(郑慧莹). 1997. Control on Salinized Grassland and its Bio-ecological Mechanism in Songnen Plain. Beijing: Science Press. 232~233(in Chinese)
- 4 Li J-D(李建东). 1978. *Aneurolepidium chinense* (Trin) Kitag grassland of China. *J Northeast Normal Univ (Nat Sci Ed)* 东北师大学报·自然科学版, (1): 145~159(in Chinese)
- 5 Nanjing Agricultural University(南京农业大学). 1978. Examination in Field and Statistic Methods. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 6 Silvertown JW. 1982. Trans. Zhu N(祝宁). 1987. Introduction to Plant Population Ecology. Harbin: Northeast Forestry University Press. 107~117(in Chinese)
- 7 Wang K-P(王克平). 1984. Study on species differentiation of *Leymus chinensis* I. The survey on *Leymus chinensis* natural population. *Grassland China* (中国草地), (2): 32~36(in Chinese)
- 8 Wang R-Z(王仁忠). 1997. Biomass formation dynamics of *Leymus chinensis* population affected by grazing. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 8(5): 505~509(in Chinese)
- 9 Wang R-Z(王仁忠). 2000. Energy allocation to growth and reproduction in *Leymus chinensis* population. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(4): 591~594(in Chinese)
- 10 Wang R-Z(王仁忠). 2000. Effect of grazing on reproduction in *Leymus chinensis* population. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(3): 399~402(in Chinese)
- 11 Yang Y-F(杨允菲), Li J-D(李建东). 1994. Effects of different utilization methods on reproductive characters of *Aneurolepidium chinense*. *Grassland China* (中国草地), (5): 34~37(in Chinese)
- 12 Yang Y-F(杨允菲), Yang L-M(杨利民), Zhang B-T(张宝田), et al. 2001. Relationships between seed production in *Leymus chinensis* and climatic variation in natural meadows in Northeastern China. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 25(3): 337~343(in Chinese)
- 13 Yang Y-F(杨允菲), Zhang B-T(张宝田). 1991. Effects of sunshine-temperature factors in different stages on seed yield of *Aneurolepidium chinense* population. *Pratacult Sin* (草业科学), 8(5): 8~13(in Chinese)
- 14 Yang Y-F(杨允菲), Zhu L(祝玲). 1993. The relationship between the variation of fruit-bearing organic characters in natural *Aneurolepidium chinense* population and the climatic factors in the Songnen Plain of China. *Acta Bot Sin* (植物学报), 35(6): 472~479(in Chinese)
- 15 Yang Y-F(杨允菲), Zhu T-C(祝廷成). 1988. A study on seed production of *Aneurolepidium chinense* population in different ecological conditions. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 8(3): 256~262(in Chinese)
- 16 Yang Y-F(杨允菲), Zhu T-C(祝廷成). 1989. The tentative study on seed production of *Leymus chinensis* population. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 13(1): 73~78(in Chinese)
- 17 Yang Y-F(杨允菲). 1988. The productive capacity on seed of natural *Leymus chinensis* grass in the condition of grazing and cutting. *China Pratacult Sin* (中国草业科学), 5(6): 30~32(in Chinese)
- 18 Yang Y-F(杨允菲). 1989. Effect of cutting on the quantitative characters of reproductive organs in *Leymus chinensis* population. *Grassland China* (中国草地), (4): 49~52(in Chinese)
- 19 Zhang C-H(张春华), Yang Y-F(杨允菲). 2001. Analysis of quantitative on reproductive tillers in *Hierochloa glabra* population in the Songnen Plain China. *Acta Pratacult Sin* (草业学报), 10(3): 1~7(in Chinese)

作者简介 李 红,女,1968 生,博士后,主要从事植物种群生态学研究,发表论文 9 篇. E-mail: xingli@sohu.com