

松嫩平原朝鲜碱茅无性系种群构件生物量结构及相关模型分析*

刘佩勇^{1**} 张庆灵¹ 杨允菲²

(¹ 东北大学理学院, 沈阳 110006; ² 东北师范大学草地研究所, 长春 130024)

【摘要】 从构件水平对松嫩平原碱化草甸朝鲜碱茅无性系种群各功能构件的生物量结构, 各功能构件生物量与丛径之间的关系, 以及各功能构件生物量之间的关系均建立相应的模型进行了定量分析。结果表明, 在孕穗和果后营养两个生育期, 朝鲜碱茅无性系种群各功能构件生物量及所占总生物量的比率具有相同的规律; 各功能构件生物量与丛径之间的定量关系在孕穗期以直线函数模型相关性最大, 在果后营养期以幂函数模型相关性最大; 各功能构件生物量之间的定量关系除光合构件与支持构件在孕穗期以直线函数模型相关性最大外, 其他各构件生物量之间在两个生长期均以幂函数模型相关性最大。

关键词 朝鲜碱茅 构件 生物量 模型

文章编号 1001-9332(2004)04-0543-06 **中图分类号** Q948.1 **文献标识码** A

Biomass structure and quantitative relationship models of modules in clonal population of *Puccinillia chinampoensis* in Songnen plain. LIU Peiyong¹, ZHANG Qingling¹, YANG Yunfei² (¹ Science Institute, Northeast University, Shenyang 110006, China; ² Northeast Normal University, Changchun 130024, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(4): 543~548.

In this paper, quantitative analysis was conducted at module level on the biomass structure of modules in clonal population of *Puccinillia chinampoensis*, the relationship between modules' biomass and turf sizes, and the relationship between one module' biomass and another one's. Based on these, the corresponding models of these relationships were established. The results showed that the regularities on the biomass of all functional modules and their ratio were the same at earing stage and at vegetative stage after fruiting. There existed linear correlation between functional modules and turf sizes at earing stage, and exponential correlation at vegetative stage after fruiting. Among all quantitative relationship models, only the one between photosynthesis modules and supporting modules was linear function at earing stage and exponential correlation at vegetative stage after fruiting. The relationship models between any other two functional models were all exponential correlation at two stages.

Key words *Puccinillia chinampoensis*, Module, Biomass, Model.

1 引 言

20世纪70年代, 一批植物生态学者提出了植物种群统计构件(module)理论^[17], 使植物种群生态学的研究摆脱了过去的困境, 从单一的所有个体集群的种群划分出两个层次, 即由遗传单位基株形成的个体种群和由株上的构件单位形成的构件种群两个结构水平。自70年代以来, 国内外一些植物生态学者利用构件理论成功地解释了植物种群统计中某些方面的问题, 使这一理论被迅速接受并运用于植物种群生态学多方面的研究。当前关于无性系植物种群中构件水平的研究, 尤其是构件种群生物量结构及特性等的研究已成为植物种群生态学研究的一个前沿课题^[1~12, 14]。

朝鲜碱茅(*Puccinillia chinampoensis*)是多年生丛生型禾草, 耐盐碱性较强, 在松嫩平原上广泛分

布, 在土壤碱化后形成的碱斑、碱湖周围和草甸碱土上均能生长, 并形成大面积的单优群落。朝鲜碱茅叶量大、营养价值丰富、适口性强, 各种家畜均喜食。具有耐践踏性、再生性强、春季返青早、秋季营养期长等生物学特性, 是耐盐碱植被中饲用价值较高的优良牧草。在松嫩平原改造碱化草地的多年生产实践中, 无论是对天然碱化草地的改良, 还是人工草地建设, 朝鲜碱茅都是比较理想的草种之一。因此, 有关朝鲜碱茅的引种驯化、品种选育、形态解剖及生理特性已经作了多方面的研究^[13], 对于该种群有性生殖及营养繁殖特性的定量分析已有一些积累工作^[13~16], 但有关无性系种群构件水平特征及构件之间定量关系的模型研究尚无报道。本文从构件水平对朝鲜碱茅无性系种群内的光合构件(叶)、支持

* 国家自然科学基金资助项目(39770536)。

** 通讯联系人。

2002-10-21 收稿, 2003-04-25 接受。

构件(茎)、有性生殖构件(花序)、营养繁殖构件(以分蘖芽为例)等功能构件的生物量结构及各功能构件间的关系作了定量的统计和分析. 可为深入研究松嫩平原碱斑植被的自然演替过程提供理论依据, 同时对于合理、高效地利用和管理天然草地及开展退化草地的恢复与重建工作也具有一定的指导意义.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

研究地区位于松嫩平原南部, 吉林省长岭县境内的东北师范大学草原生态定位研究站的天然碱化草甸上进行. 地理位置为 $120^{\circ}31' \sim 124^{\circ}10'E$, $44^{\circ}30' \sim 44^{\circ}45'N$, 海拔 140~160 m. 年降水量为 434.8 mm, 主要集中在 6~9 月份, 年蒸发量为 1368 mm, 约为降水量的 3 倍. $\geq 10^{\circ}C$ 的积温 2579~3144 $^{\circ}C$, 无霜期 136~163 d. 该区四季风多, 年平均风速为 $3.5 m \cdot s^{-1}$, 以 4 月份最大, 为 $5.0 m \cdot s^{-1}$. 5 月份次之, 为 $4.5 m \cdot s^{-1}$; 8 月份最小, 为 $2.4 m \cdot s^{-1}$; 6、7 月份分别为 3.3 和 $2.9 m \cdot s^{-1}$. 年 ≥ 8 级的大风日数为 18.8 d, 其中春季占 71%, 夏季占 11%, 秋季占 8%, 冬季占 10%. 在 16 个风向中, 6、7 月份平均以西南偏南方向(S-S-W)的频率最高, 分别为 17% 和 18%, 而以西北偏西方向(W-N-W)的频率最低, 均为 2%. 样地盐碱植物群落为主, 朝鲜碱茅除可形成单优群落外, 也经常零星分散丛生各盐碱群落中.

2.2 研究方法

2.2.1 样地调查 样地设在生长季内无人干扰、生境条件一致的大面积朝鲜碱茅单优群落地段. 于 1999 年 6 月 20 日和 7 月 20 日, 即在朝鲜碱茅孕穗期和果后营养期以独立的株丛为单位, 分别取 30 个大小不等的株丛, 测定其丛径后, 连根挖出, 去掉根部泥土. 回到室内洗净后, 计数每丛的生殖蘖数、营养蘖数、新生蘖数、营养蘖和生殖蘖下的分蘖芽数, 并把茎、叶分开, 生殖蘖上的花序部分剪下, 将各部分分置, $80^{\circ}C$ 烘至恒重后以功能构件为单位分别称重, 如光合构件: 叶; 支持构件: 茎; 有性生殖构件: 花序; 营养繁殖构件: 以分蘖芽为例, 下同; 非生殖构件: 除去花序的部分.

2.2.2 数据分析方法 根据测定的数据, 以株丛为单位计算

表 1 朝鲜碱茅无性系种群各功能构件的数量特征 ($n = 30$)

Table 1 Quantitative characteristics of functional modules in clonal population of *Puccinellia chinampoensis* population in different growth stage

数量性状 Quantitative characters	最大值 Max.		最小值 Min		平均值 Mean		标准差 SD	
	孕穗 es	果后营养 bs	孕穗 es	果后营养 bs	孕穗 es	果后营养 bs	孕穗 es	果后营养 bs
丛生物量 Weight per turf(g)	44.86	83.30	7.28	10.81	17.53	37.32	9.08	16.01
茎生物量 Weight of stems(g)	16.20	19.41	1.70	2.14	5.43	7.63	3.39	3.77
茎生物量比率 Ratio of stems' weight(%)	41.8	38.9	19.4	18.2	29.7	25.6	0.57	0.50
叶生物量 Weight of leaves(g)	25.00	40.64	4.40	5.57	9.48	16.58	4.90	7.15
叶生物量比率 Ratio of leaves' weight(%)	66.9	70.1	42.7	45.7	53.8	56.8	6.6	5.9
花序生物量 Weight of spikes(g)	4.994	5.124	0.404	0.453	2.239	1.854	1.301	1.008
花序生物量比率 Ratio of spikes' weight(%)	25.74	12.81	4.95	3.24	20.54	6.38	4.74	1.64
分蘖芽生物量 Weight of buds(g)	0.2170	0.4871	0.0075	0.0486	0.1419	0.1858	0.0461	0.0983
分蘖芽生物量比率 Ratio of buds' weight(%)	1.24	1.36	0.09	0.25	0.44	0.66	0.21	0.26

es: 孕穗期 Earing stage; bs: 果后营养期 Vegetative stage after fruiting.

各功能构件所占的生物量比率. 所有定量关系均进行直线函数 $y = a + bx$, 幂函数 $y = ax^b$, 指数函数 $y = ae^{bx}$ 3 种函数模型的回归分析, 并对各回归模型的相关系数作显著性检验, 采用相关性最高者作为其描述模型. 所有函数模型的回归分析和模型中相关系数的显著性检验均使用 MINITAB 软件操作完成.

3 结果与分析

3.1 无性系种群功能构件的生物量结构分析

朝鲜碱茅无性系种群在孕穗期和果后营养期各功能构件的数量特征见表 1. 从表 1 可以看出, 在两个不同的生长期, 朝鲜碱茅无性系种群各功能构件的生物量及其所占总生物量的比率具有相同的规律: 叶 > 茎 > 花序 > 分蘖芽. 从孕穗期到果后营养期, 有性生殖构件(花序)的生物量及所占比率呈下降趋势, 而营养繁殖构件(以分蘖芽为例)的生物量及所占比率则呈上升趋势, 其变化幅度分别为 68.9% 和 50%. 在植物生长、发育过程中, 茎和叶是个体所有形态结构中最重要两个营养器官, 植物生长所需的大部分营养物质都要靠这两个器官来合成、储存和运输. 所以, 从种群角度来讲, 这两个构件的生物量投入会最大. 有性生殖是种群实现其扩展和延续的重要手段之一. 但朝鲜碱茅属于典型的 r-选择物种, 要实现有性生殖的最终成功, 必须以产生大量后代的形式来提高物种存活的几率. 所以, 在有性生殖阶段, 种群会投入比营养繁殖更多的生物量给有性生殖构件.

3.2 无性系种群各功能构件生物量与丛径的关系模型

对于一个无性系种群来说, 丛径是其利用营养繁殖方式所能占据生态位空间大小的一个重要标志, 其大小能直接影响种群内个体的生长发育, 进而制约各构件的生长. 经回归分析和相关性检验, 在孕穗期和果后营养期朝鲜碱茅无性系种群各功能构件的生物量与丛径均有较好的相关关系, 即受到丛径

表 2 朝鲜碱茅无性系种群各功能构件生物量与丛径之间不同函数关系模型及相关性检验 ($n = 30$)Table 2 Stimulated models and correlation tests of different equations on relationship between functional modules and turf sizes of *Puccinellia chinampoensis* clonal population

Y	方程 Equation	孕穗期 Earing stage			果后营养期 Vegetative stage		
		参数 Parameter		相关系数 Correlative coefficient r	参数 Parameter		相关系数 Correlative coefficient r
		a	b		a	b	
支持构件生物量(g) Weight of supporting modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.1705 -3.1446 1.194	1.4707 0.8762 0.1385	0.7019*** 0.7297*** 0.6954**	0.6895 2.573 3.0687	0.9228 0.4023 0.0634	0.5910** 0.4384** 0.5283**
光合构件生物量(g) Weight of photosynthesis modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.4396 -4.382 2.4533	1.3185 1.4159 0.1268	0.7789*** 0.8169*** 0.7678***	2.0471 2.9862 7.0445	0.8103 1.0817 0.0617	0.6307** 0.6220** 0.6245**
有性生殖构件生物量(g) Weight of sexual reproductive modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.1253 0.1121 0.6177	1.1978 0.2174 0.1117	0.4727** 0.4739** 0.4640**	0.0949 0.166 0.6866	1.2319 0.1846 0.086	0.7419*** 0.6730** 0.6773**
营养繁殖构件生物量(g) Weight of clonal reproductive modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.0031 -0.02 0.0182	1.334 0.0096 0.125	0.5505** 0.5907** 0.5426**	0.0144 -0.0162 0.0612	0.9818 0.0161 0.0785	0.6724** 0.6129** 0.6372**
非生殖构件生物量(g) Weight of non-reproductive modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	-7.5266 0.6163 3.7002	2.2922 1.3666 0.1303	0.7748** 0.8034*** 0.7673***	2.7724 5.5592 10.239	0.8398 1.484 0.0619	0.6370** 0.5930** 0.6105**

** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

大小的严格制约. 其中, 在孕穗期, 无性系种群各功能构件的生物量与丛径的关系均可以用直线模型较好地表达出来. 其不同函数的拟合方程见表 2, 观测值及最佳拟合曲线见图 1A₁ - A₅. 由直线模型拟合方程的参数 b 可以反映出, 在孕穗期, 丛径对于无性系种群各功能构件生物量的制约程度为非生殖构件 > 光合构件 > 支持构件 > 有性生殖构件 > 营养繁殖构件. 在果后营养期, 无性系种群各功能构件的生物量与丛径的关系可以用幂函数模型较好地表达出来. 其不同函数模型的拟合方程见表 2, 观测值及最佳拟合曲线见图 1B₁ - B₅. 在该生长期丛径对于各功能构件生物量的制约程度为有性生殖构件 > 营养繁殖构件 > 支持构件 > 非生殖构件 > 光合构件.

3.3 无性系种群各功能构件生物量之间的关系模型

3.3.1 光合构件与支持构件生物量之间的关系模型

朝鲜碱茅无性系种群在孕穗期和果后营养期其光合构件生物量与支持构件生物量之间均有较好的相关关系. 经回归分析和相关性检验, 在两个生长期内二者关系分别可以用直线函数模型和幂函数模型较好地表达出来. 其不同函数模型的拟合方程见表 3. 观测值和最佳拟合曲线见图 2. 通过模型的拟合方程可以反映出, 在孕穗期朝鲜碱茅无性系种群光合构件的生物量会随支持构件生物量以 $b = 1.2789$ 的直线形式增加; 而在果后营养期, 光合构件的生物量则随支持构件生物量呈 $b = 0.6765$ 的幂函数形式增加.

叶和茎作为无性系种群两个重要的制造、储存和运输营养物质的构件, 二者之间较好的相关性及其定量关系模型反映出了植物个体营养器官之间在结构与功能上的相互依存、相互协调、相互影响的密切关系.

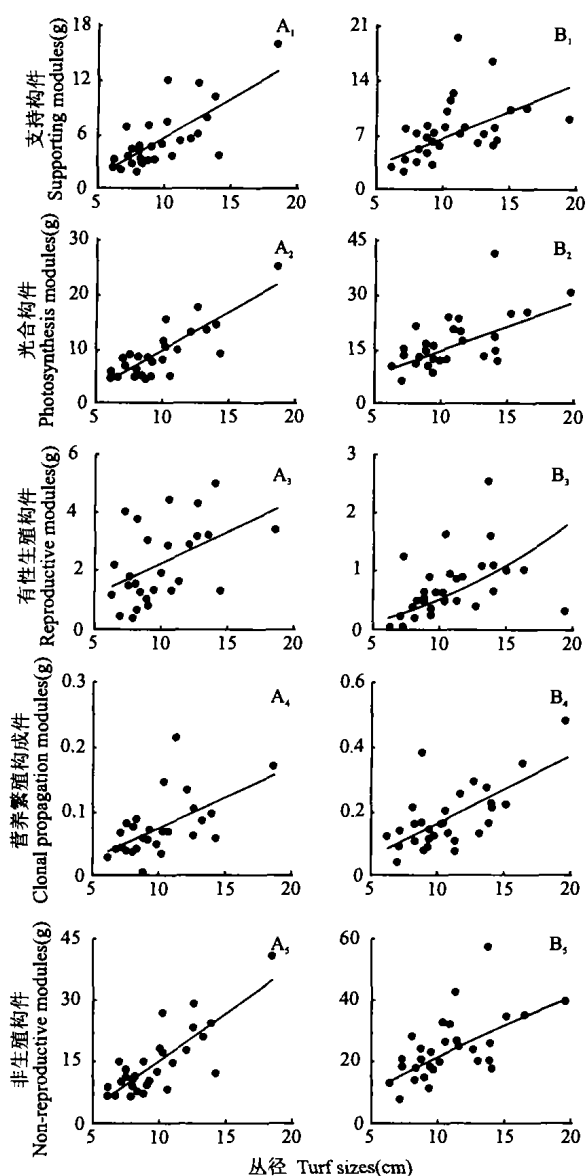


图 1 朝鲜碱茅无性系种群各功能构件生物量与丛径的定量关系模型
Fig. 1 Quantitative relation models between biomass of functional modules and turf sizes in clonal population of *Puccinellia chinampoensis*.
A: 孕穗期 Earing stage, B: 果后营养期 Vegetative stage after fruiting.
下同 The same below.

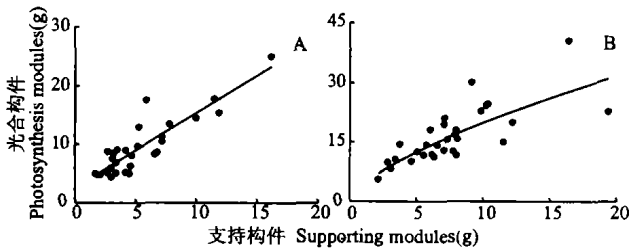


图2 朝鲜碱茅无性系种群光合构件生物量与支持构件生物量之间的定量关系模型

Fig.2 Quantitative relation models between biomass of photosynthesis modules and biomass of supporting modules in clonal population of *Puccinellia chinampoensis*.

3.3.2 两种生(繁)殖构件与两种营养构件生物量之间的关系模型 经回归分析和相关性检验,朝鲜碱茅无性系种群在孕穗期和果后营养期其有性生殖构件和营养繁殖构件二者的生物量与支持构件生物量均有很好的相关关系,且其定量关系模型均可以用幂函数形式较好地表达出来.其不同函数模型的拟合方程见表3,观测值和最佳拟合曲线见图3A₁-A₂,B₁-B₂.从模型拟合方程可以反映出,在孕穗期,两种生(繁)殖构件的生物量分别随支持构件生物量呈 $b=0.9823$ 和 $b=0.6609$ 的幂函数形式增加;而在果后营养期,也均随支持构件生物量以幂函数形式增加, b 值分别为 0.8763 和 0.4454 .

两种生(繁)殖构件生物量与光合构件生物量的

定量关系与支持构件生物量的相关关系规律相同,在两个生长期也均可以用幂函数模型较好地表达出来.其不同函数模型的拟合方程见表3,观测值及最佳拟合曲线见图4A₁-A₂,B₁-B₂.从模型拟合方程同样反映出,有性生殖构件和营养繁殖构件二者的生物量在孕穗期随光合构件生物量分别以 $b=1.0149$ 和 $b=0.9432$ 的幂函数形式增加;而在果后营养期,也均随光合构件生物量以幂函数形式增加, b 值分别为 0.9206 和 0.7653 .通过各描述模型方程的 b 值也反映出这种制约作用的一个很强的规律性,即两种营养构件对两种生(繁)殖构件的影响在不同的生长期表现为:孕穗期 > 果后营养期;两种营养构件对于不同生(繁)殖构件的影响为:有性生殖构件 > 营养繁殖构件;不同营养构件对于两种生(繁)殖构件的影响为:光合构件 > 支持构件.

3.3.3 有性生殖构件与非生殖构件生物量之间的关系模型 经回归分析和相关性检验,无论从种群水平还是从个体水平,朝鲜碱茅无性系种群的生殖构件生物量与非生殖构件生物量之间在孕穗期和果后营养期均具有较好的相关关系.其不同函数模型的拟合方程见表3,观测值及最佳拟合曲线见图5A₁-A₂,B₁-B₂.

表3 朝鲜碱茅无性系种群各功能构件生物量之间不同函数关系模型相关性检验 ($n=30$)

Table 3 Stimulated models and correlation tests of different equations on relationship between functional modules of *Puccinellia chinampoensis* clonal population

Y	X	方程 Equation	孕穗期 Earing stage			果后营养期 Vegetative stage		
			参数 Parameter		相关系数 Correlative coefficient r	参数 Parameter		相关系数 Correlative coefficient r
			a	b		a	b	
光合构件 Photosynthesis modules	支持构件 Supporting modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	2.9107 2.5301 4.5386	0.6979 1.2789 0.115	0.8417*** 0.8859*** 0.8417***	4.1771 5.7141 8.1934	0.6765 1.4245 0.0818	0.8223*** 0.7513*** 0.7600***
有性生殖构件 Reproductive modules	支持构件 Supporting modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.409 0.7246 0.867	0.9823 0.2789 0.1389	0.8123*** 0.7284*** 0.6925**	0.3766 0.7519 0.9453	0.8763 0.1991 0.0997	0.8236*** 0.7454*** 0.7162***
营养繁殖构件 Clonal reproductive modules	支持构件 Supporting modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.0225 0.0296 0.0343	0.6609 0.0082 0.1085	0.6047** 0.5715** 0.5660**	0.0699 0.1327 0.1203	0.5328 0.007 0.0407	0.5328** 0.4423* 0.4014*
有性生殖构件 Sexual reproductive modules	光合构件 Photosynthesis modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.2105 0.6107 0.8033	1.0149 0.1719 0.0877	0.6958** 0.6480** 0.6310**	0.1617 0.5375 0.9069	0.9206 0.1045 0.0484	0.7418*** 0.7163*** 0.6587**
营养繁殖构件 Clonal reproductive modules	光合构件 Photosynthesis modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.0082 0.0173 0.0283	0.9432 0.006 0.0827	0.6716** 0.6386** 0.6222**	0.0204 0.0563 0.0849	0.7653 0.0078 0.0398	0.6136** 0.5682** 0.5618**
有性生殖构件 Sexual reproductive modules	非生殖构件 Non-reproductive modules	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.11 0.5561 0.7882	1.091 0.1129 0.057	0.7694*** 0.7005*** 0.6750**	0.0961 0.4012 0.8307	0.9816 0.0772 0.0368	0.7887*** 0.7790*** 0.7203***
生殖囊内有性生殖构件 Sexual reproductive modules inside of reproductive plants	生殖囊内非生殖构件 Non-reproductive modules inside of reproductive plants	(1) $y = ax^b$ (2) $y = a + bx$ (3) $y = ae^{bx}$	0.4507 0.6827 0.8598	0.843 0.2279 0.1116	0.9231*** 0.8583*** 0.8028***	1.0781 1.5386 1.3863	0.4248 0.1208 0.0624	0.7426*** 0.5638** 0.5646**

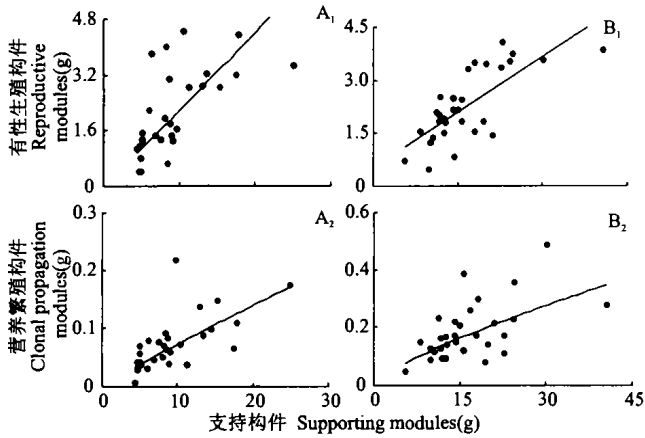


图3 朝鲜碱茅无性系种群两种生殖构件生物量与两种营养构件生物量之间的定量关系模型
Fig.3 Quantitative relation models between biomass of two reproductive modules and biomass of two vegetative modules in clonal population of *Puccinellia chinampoensis*.

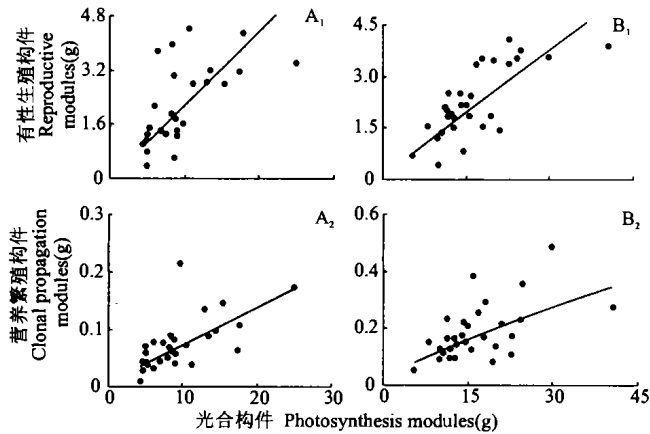


图4 朝鲜碱茅无性系种群两种生殖构件生物量与光合构件生物量之间的定量关系模型
Fig.4 Quantitative relation models between biomass of two reproductive modules and biomass of photosynthesis modules in clonal population of *Puccinellia chinampoensis*.

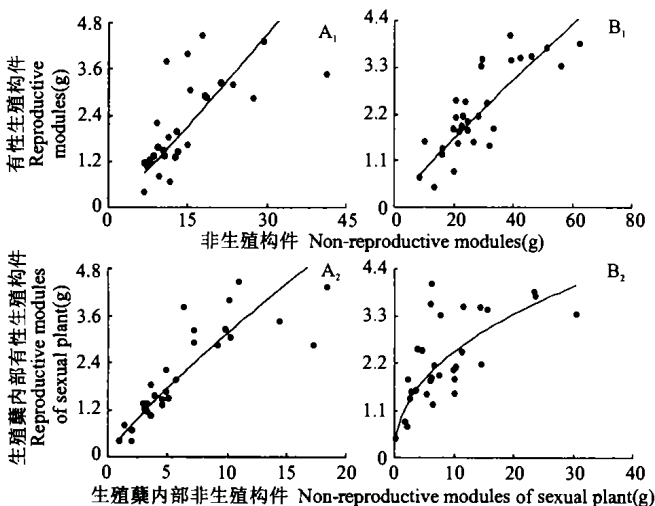


图5 有性生殖构件生物量与非生殖构件生物量之间的定量关系模型
Fig.5 Quantitative relation models between biomass of reproductive modules and biomass of non-reproductive modules of sexual plant modules in clonal population of *Puccinellia chinampoensis*.

在种群水平上,有性生殖构件(花序)与非生殖构件二者生物量之间的定量关系在两个生长期均可以用幂函数模型较好地表达出来,即随非生殖构件生物量的增加,有性生殖构件生物量在两个生长期分别以 $b=1.091$ 和 $b=0.9816$ 的幂函数形式增加.在个体水平上,生殖囊内部生殖构件与非生殖构件二者生物量的关系规律与种群水平上相同,两个生长期均可以用幂函数形式进行表达, b 值分别为 0.843 和 0.4284 .有性生殖构件和非生殖构件在种群和个体的整个发展、延续过程中均起着至关重要的作用,二者相互影响、相互制约,缺一不可.这种关系的存在是必然的.这与有性生殖构件与两种营养构件生物量之间的相关关系相一致.

4 结 论

4.1 孕穗期和果后营养期两个生长季内朝鲜碱茅无性系种群各功能构件的生物量及所占比率具相同的规律,即叶构件 > 茎构件 > 花序构件 > 分蘖芽构件,并且从孕穗期到果后营养期,种群对有性生殖构件的生物量投入减少,而对营养繁殖构件的生物量投入增加.这是种群有性生殖活动减弱,营养繁殖活动加剧的结果.

4.2 在两个生育期内,朝鲜碱茅无性系种群各功能构件的生物量均受丛径大小的严格制约.即在孕穗期,各功能构件生物量与丛径之间均为直线正相关关系模型;而在果后营养期,则均随丛径呈幂函数模型形式增加.

4.3 植物种群的各功能构件之间,或称植物体的各个器官之间均存在结构和功能上的相互依存和制约关系.主要表现在,光合构件与支持构件二者的生物量之间在孕穗期和果后营养期分别呈直线正相关模型和幂函数正相关模型关系;而两种生(繁)殖构件生物量与两种营养构件生物量之间,及在种群和个体两个水平上有性生殖构件生物量与非生殖构件生物量之间的关系均可用幂函数模型较好地表达出来.

参考文献

- 1 Chen S(陈 尚), Ma Y(马 艳), Li Z-Z(李自珍), et al. 1999. Analysis and measurement of the fitness of seed reproduction and vegetative reproduction of clonal plant. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(2): 287~289(in Chinese)
- 2 Hu B-Z(胡宝忠), Liu D(刘 娣). 1999. Advances in ecological of clonal population. *Pratacult Sci* (草业科学), 16(3): 62~67(in Chinese)
- 3 Husband BC and Barrett SC. 1998. Source of plants colonizing experimentally disturbed patches in an acidic grassland. *J Ecol*, 86

- (6):1032~1042
- 4 Jury S and Pascal F. 1994. Effect of plant size and morphological constraints on variation in reproductive components in two species of *Epilobium*. *J Ecol*, **82**(4):735~746
 - 5 Kryslina F. 1995. Genet disintegration in *Filipendula ulmaria*: consequences for population dynamics and vegetation succession. *J Ecol*, **83**(1):9~21
 - 6 Li Y-X(黎云祥), Liu Y-C(刘玉成), Zhong Z-C(钟章成). 1995. Molecular theory in plant population ecology. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **14**(6):35~41(in Chinese)
 - 7 Liu P-Y(刘佩勇), Yang Y-F(杨允菲). 2000. Quantitative analysis on the relationship between the above-ground biomass and density in the population of *Puccinillia chinampoensis* in the alkalized meadow in the Songnen plain of China. *J Northeast Normal Univ* (*Nat Sci*) (东北师范大学学报[自然科学版]), **32**(1):60~66(in Chinese)
 - 8 Liu Q(刘庆), Zhong Z-C(钟章成). 1995. Advances in ecological research of clonal plant population and some related concept. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **14**(3):40~45(in Chinese)
 - 9 Liu Q(刘庆), Zhong Z-C(钟章成). 1996. Studies on dynamics and regulation of propagative module of *Pleiblastus maculata* clone population. *Bull Bot Res* (植物研究), **16**(2):228~233(in Chinese)
 - 10 Su A-X(苏智先), Zhang S-L(张素兰), Zhong Z-C(钟章成). 1998. Advances in plant reproductive ecology. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **17**(1):39~46(in Chinese)
 - 11 Sun F(孙凡), Zhong Z-C(钟章成). 1997. Quantitative characters of reproductive anaptation of *Gordonia acuminata* population in MT. Jinyun. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **21**(1):1~8 (in Chinese)
 - 12 Wang R-Z(王仁忠), Li J-D(李建东). 1999. Correlation analysis of *Aeluropus littoralis* var. *sinensis* population density and biomass with its sexual reproduction characteristics. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(1):23~25(in Chinese)
 - 13 Wang R-Z(王仁忠). 2001. Comparative study on clonal and sexual reproductive traits of *Leymus chinensis* population in different habitats. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(1):379~383(in Chinese)
 - 14 Yang Y-F(杨允菲), Fu L-Q(傅林谦). 1997. Density dependence of *Phalaris aruandinacea* clonal population on middle mountain region of subtropical zone of China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **8**(1):77~82(in Chinese)
 - 15 Yang Y-F(杨允菲), Zhu L(祝玲), Li J-D(李建东). 1995. Quantitative characters of vegetative propagation and sexual reproduction of *Puccinellia tenuiflora* population on alkalized meadow of Songnen Plain. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **6**(2):166~171(in Chinese)
 - 16 Yin S-Y(殷淑燕), Liu Y-C(刘玉成). 1997. Biomass and leaf area dynamics of modular populations in *Gordonia acuminata*. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **21**(1):83~89(in Chinese)
 - 17 Zhong Z-C(钟章成). 1995. Reproductive strategies of plant populations. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **14**(1):37~42(in Chinese)

作者简介 刘佩勇,女,1975年生,在职博士,讲师,从事种群生态学和生物控制研究,发表文章3篇. Tel:024-24142790 (H) E-mail:peiyongliu1975@yahoo.com.cn
