

松嫩平原人工草地野大麦无性系冬眠 构件的结构及形成规律

杨允菲, 张宝田, 李建东

(东北师范大学草地研究所, 植被生态科学教育部重点实验室, 长春 130024)

摘要:野大麦属短根茎丛生型禾草, 是典型的无性系植物。在松嫩平原, 野大麦无性系的冬眠构件是由冬眠芽和冬眠苗组成。按照分蘖节营养繁殖世代的龄级划分方法, 在生长季末期, 野大麦无性系的芽库由 5 个龄级组成, 苗库由 4 个龄级组成, 均呈增长型的龄级结构。苗库对潜在无性系的贡献将远远大于芽库。结合建植时间估计, 人工草地野大麦的分蘖节最多存活了两个年度, 分蘖节在一个生长季最多可繁殖 4 个世代。野大麦无性系的根茎芽数、分蘖节芽数、总芽数、总苗数、总冬眠构件数均随着丛径、丛面积和亲株数量的增加呈幂函数形式增长。野大麦无性系冬眠构件各组分具有相同的形成规律, 但在形成过程中则存在着不同的生态可塑性。

关键词:野大麦; 无性系; 营养繁殖; 冬眠构件; 芽库; 苗库; 年龄结构

Structure and development regulation on dormancy modules of *Hordeum brevisubulatum* clone on cultivated condition in the Songnen Plains of China

YANG Yun-Fei, ZHANG Bao-Tian, LI Jian-Dong (Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Key Laboratory for Vegetation Ecology, Ministry of Education, Changchun 130024, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 268~273.

Abstract: *Hordeum brevisubulatum* is a typical clonal plant of grass family with short rhizome. It was widely spread in the alkali-saline meadow in the Songnen plains of China, and there were some biological-ecological and productive characters, such as the tough alkali-saline environment endurance, vigorous vegetative reproduction, long vegetative period after fruit and high value of forage nutrition.

In term of the modular theory of plant population, perennial plants all lived through cold winter by hibernated modules in the temperate zone, so they were called the dormancy modules. In the Songnen plains, the dormancy modules of *H. brevisubulatum* clone consisted of the dormancy buds and dormancy seedlings.

In evenness environment, *H. brevisubulatum* clone usually spread equably and became round cluster. There were two-quantity index to measure the size of the clone: one was diameter of the cluster and another was area. In 30 investigated clones, the minimum diameter of the clone was 4cm and the maximum was 31cm, the samples as a whole were 17.1 ± 8.0 cm; The minimum area of the cluster was 12.6 cm and the maximum was 754.8cm, the samples as a whole were 278.5 ± 226.4 cm²; The least number of parent tillers was 16 and the most was 192, the samples as a whole were 91.1 ± 54.5 . In the end of the growing season, the members of the bud bank were 243.0 ± 187.0 , which was 2.7 times of the parent tillers; the members of the seedling bank were 210.6 ± 155.3 , which was the 2.3 times of the parent tillers.

In term of the generations of the nodes' vegetative reproduction to mark off the age classes, the results showed that the bud bank consisted of 5 age classes and the seedling bank consisted of 4 age classes, they were all the expanding age structure. Estimated with the time of cultivating, the nodes of the parent tillers should live for two years and reproduce four generations at most within one growth season in the cultivated plot. The number of the rhizome buds, the node buds, total buds, total

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30070137, 30270260)

收稿日期:2002-11-03; **修订日期:**2003-03-26

作者简介:杨允菲(1956~), 女, 山东省掖县人, 教授。主要从事植物种群生态学研究。E-mail: yangyf@nenu.edu.cn

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (No. 30070137, 30270260)

Received date: 2002-11-03; **Accepted date:** 2003-03-26

Biography: YANG Yun-Fei, Professor, research field are plant population ecology. E-mail: yangyf@nenu.edu.cn

seedlings, total dormancy modules all increased with the diameter, area of the clusters and the number of the parent tillers by power function. Though there was the same developmental regulation of each component on the dormancy module of the clone, there was different ecological plasticity in the process of their forming.

Key words: *Hordeum brevisubulatum*; clone; vegetative reproduction; dormancy module; bud bank; seedling bank; age structure
文章编号:1000-0933(2004)02-0268-06 中图分类号:Q945.3, Q948 文献标识码:A

20 世纪 70 年代初,Harper 提出了植物种群的构件结构理论^[1],从此植物生态学的研究摆脱了过去在数量特征和统计学上的困境而一跃成为最热门的研究领域,不仅使植物种群生态学理论得到了迅速发展,也使构件生物学理论日趋完善^[2,3]。按照植物种群的构件理论,在温带地区,多年生植物都是依靠休眠构件度过寒冷的冬季,所以称冬眠构件。

国内外有关植物种群的构件的研究内容十分广泛,不仅研究方法频频问世^[4~7],研究对象多样,诸如蕨类植物^[8],1 年生草本植物^[4,9]、灌木^[10]和有重要经济价值的木本植物^[11~16],以及无性系植物^[17~25],而且内容既涉及到狭义概念的芽、无性系小株(ramet)构件的数量特征和扩展行为,也涉及到广义概念的叶、花、果、枝条(shoot)的数量变化及其与生长或生产的关系。但有关温带无性系禾草冬眠构件结构的研究,迄今尚很少报道^[26,27]。

野大麦属短根茎丛生型禾草,是典型的无性系植物^[28],在松嫩平原盐碱化草地广泛分布,具有耐盐碱性强,营养繁殖力强,果后营养期长,营养价值高等生物生态学及生产特性。在冬眠构件中,野大麦是既有冬眠芽,又有冬眠苗的禾草之一。本文通过对松嫩平原人工草地建植第 2 年的野大麦无性系冬眠构件的统计分析,从营养繁殖的芽库和苗库的结构中了解无性系的动态,揭示其芽库和苗库的形成规律,不仅可为相同生活型植物的相关研究起导向作用,也可为构件生物学理论及根茎植物种群趋同适应机理的深入研究提供科学积累。

1 研究材料与方法

本项研究是在松嫩平原南部、吉林省长岭种马场境内、东北师范大学草地生态研究站(44°38'N,123°41'E)的人工草地进行。该区属于温带半湿润、半干旱气候^[29]。

野大麦人工草地于 2000 年 8 月播种建立,条播的行距为 30 cm,面积为 500 m²。实验地原为农田耕地,土壤为风沙土。苗期定期清除杂草,未作灌水和虫害防除。

2001 年,在野大麦停止生长的 9 月底,采用整个无性系挖出的取样方法,共挖取 30 个无性系。野大麦无性系分蘖丛大多呈圆形,挖掘前测定基部丛径,以 3 个方向测定的平均值作为丛径的大小,编号后挖出分置。注意对不同丛径大小的无性系取样。回室内逐个无性系记数,将拔节的分蘖株作为亲株,未拔节的分蘖株和刚破土变绿的初生营养苗一并作为冬眠苗,按照分蘖节营养繁殖世代的龄级划分方法^[28],将亲株和冬眠苗分龄级记数,再将相同龄级亲株和冬眠苗分蘖节的芽合并为该龄级的芽数。将根茎剪下,逐个无性系记数,将根茎顶端和根茎节间未破土的和明显活动的芽作为 0 龄级芽数^[28]。对全体调查和测定的数据作统计分析,用 30 个无性系的平均数作为芽库和苗库组分年龄结构的数量指标,计算各龄级组分比例。用各龄级所占的百分比构成年龄谱。用 0 龄级的根茎芽数、全体分蘖节芽数、总芽数、总苗数、总冬眠构件数等 5 项指标,作它们与无性系大小及亲株的相关性分析,取相关程度最高的函数作为各冬眠构件形成的定量刻画模型。

2 结果与分析

2.1 冬眠构件的结构

在松嫩平原的生长季末期,野大麦有两个潜在无性系库:即由冬眠芽构成的芽库和由冬眠苗构成的苗库(表 1)。从表 1 可以反映出,芽库由 5 个龄级组成,苗库由 4 个龄级组成,亲株由 3 个龄级组成。其中,芽库中以 0 龄级的数量最大,占整个芽库的 69.2%,并且随着龄级的增加迅速减少,至最高 4 龄级仅占 1.4%,呈增长型龄级结构。苗库中以 1 龄级的数量最大,占整个苗库的 45.1%,亦呈随着龄级的增加而依次减少的趋势,至最高 4 龄级仅占 8.2%,也表现为增长型龄级结构。亲株同样明显地呈增长型龄级结构。按照无性系植物分蘖株和芽的龄级划分标准^[28],0 龄级的冬眠芽和 1 龄级的冬眠苗将形成翌年的 1 龄级分蘖株,1 龄级的冬眠芽和 2 龄级的冬眠苗将形成翌年的 2 龄级分蘖株,依次类推。由此预示着该人工草地野大麦无性系的分蘖株翌年也将呈增长型的龄级结构。

2.2 冬眠构件的数量与无性系大小的关系

在匀质环境中,野大麦无性系一般较均匀向外扩展,使无性系呈圆形丛生。衡量其无性系大小有 2 个数量指标,一个是丛径,另一个是丛面积。在调查的 30 个无性系中,野大麦丛径最小为 4 cm,最大为 31 cm,整体水平为 17.1±8.0 cm;丛面积最小为 12.6 cm²,最大为 754.8 cm²,整体水平为 278.5±226.4 cm²。在冬眠构件中,根茎芽最少为 11 个,最多为 512 个,整体水平为 168.2±142.7 个;分蘖节芽最少为 13 个,最多为 219 个,整体水平为 74.8±59.2 个;总芽数最少为 24 个,最多为 608 个,整体水平为 243.0±187.0 个;总苗数最少为 23 个,最多为 513 个,整体水平为 210.6±155.3 个;总冬眠构件数最少为 35 个,最多为 1125 个,整体水平为 378.8±308.5 个。

为 1266 个,整体水平为 421.2 ± 348.4 个。经统计分析,野大麦无性系的根茎芽数、分蘖节芽数、总芽数、总苗数、总冬眠构件数分别与丛径和丛面积之间有着极密切的正相关关系,其相关程度最佳的为幂函数,即野大麦无性系冬眠构件各组分均为随着丛径和丛面积的增加呈幂函数形式增长,其相关性均达到了 $P<0.000$ 的极显著水平,确定系数也普遍较高,在 74.11%~93.21% 之间。拟合的方程参数及显著性检验见表 2,观测值及拟合曲线见图 1。

表 1 野大麦无性系冬眠构件及亲株组分的数量及年龄谱

Table 1 Number of component and age spectrum on dormancy modules and tillers of the parents in <i>Hordeum brevisubulatum</i> clone				年龄谱 Age spectrum (%)		
龄级 Age class	芽 Buds	数量 Number 苗 Seedlings	亲株 Parents	芽 Buds	苗 Seedlings	亲株 Parents
0	168.2±142.3	—	—	69.2	—	—
1	30.8±28.6	95.0±79.0	55.1±37.8	12.7	45.1	60.5
2	24.2±19.6	64.6±50.7	28.1±18.2	10.0	30.7	30.8
3	16.3±14.4	33.8±30.5	7.9±6.0	6.7	16.0	8.7
4	3.5±4.3	17.2±14.1	—	1.4	8.2	—
合计 Total	243.0±187.0	210.6±155.3	91.1±54.5	100	100	100

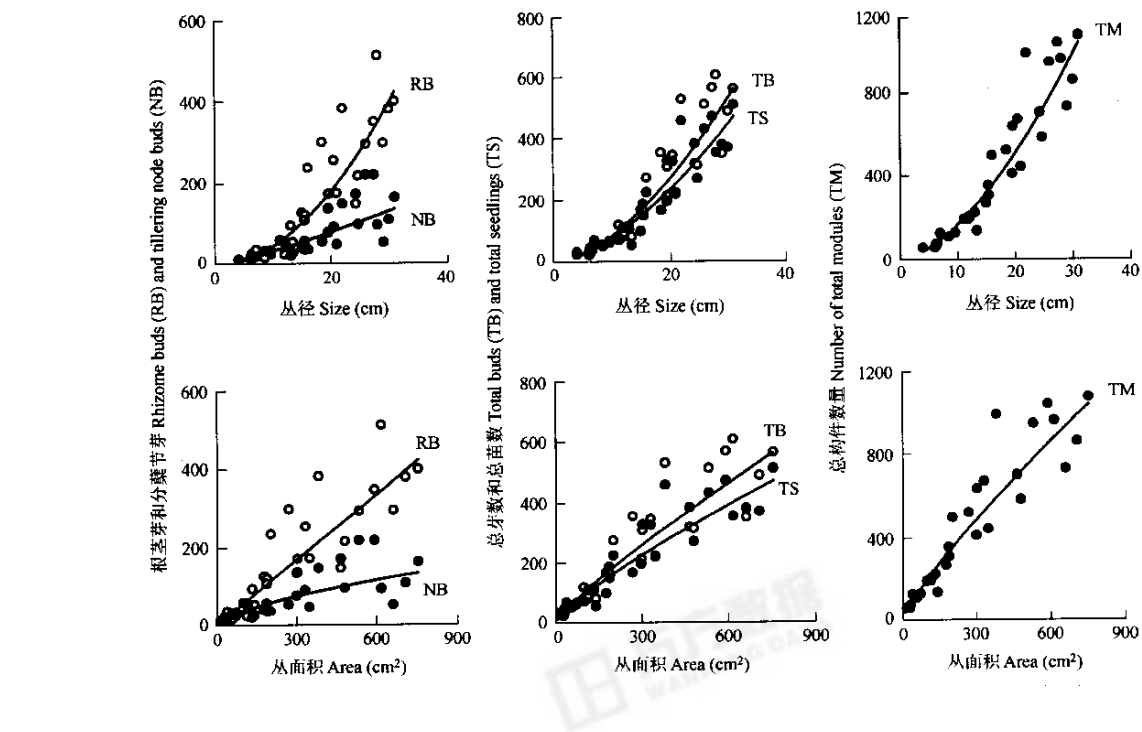


图 1 野大麦无性系冬眠构件的数量与无性系大小的观测值及拟合曲线

Fig. 1 Observed data and simulated curves on relationship between number of dormancy modules and clonal size in *Hordeum brevisubulatum* clone ($n=30$)

表 2 中的 a 为曲线的截距, b 为幂增长速率。从表 2 可以看出,随着无性系大小和面积的增加,各冬眠构件组分以根茎芽增长的 b 值最高,分蘖节芽增长的 b 值最低,但总芽数增长的 b 值则高于总苗数增长的 b 值。由此反映出,不同冬眠构件组分在增长速度上有着或大或小的差异,但相同的函数变化蕴涵着它们具有相同的形成规律。

2.3 冬眠构件的数量与亲株数量的关系

在调查的 30 个无性系中,野大麦亲株数量最少为 16 个,最多为 192 个,整体水平为 91.1 ± 54.5 个。经统计分析,野大麦无性系的根茎芽数、分蘖节芽数、总芽数、苗数、总冬眠构件数与亲株数量之间均有着极密切的正相关关系,其相关程度最佳的为幂函数,即野大麦无性系冬眠构件各组分均为随着亲株数量的增加呈幂函数形式增长,其相关性均达到了 $P<0.000$ 的极显著水平,确定系数在 65.89%~88.36% 之间。其拟合的方程参数及显著性检验见表 2,其观测值及拟合曲线见图 2。

从表 2 的参数可以看出,随着无性系亲株的增加,各冬眠构件组分也是以根茎芽增长的 b 值最高,分蘖节芽增长的 b 值最低,总芽数增长的 b 值高于总苗数增长的 b 值。亲株是形成冬眠构件的基础,这种冬眠构件与亲株之间较稳定的函数变化,进一步反映出,不同冬眠构件组分具有相同的形成规律。

表 2 野大麦无性系冬眠构件的数量与无性系大小及亲株数量的幂函数方程参数及显著性检验 *

Table 2 Parameters of simulated equation on power function and significance tests on relationships between number of dormancy modules and both clonal size and tillers of the parents in *Hordeum brevisubulatum* clone

X		Y	a	b	R ²	P
丛径 Size (cm)	根茎芽数	Number of rhizome buds	0.4870	1.9710	0.8811	<0.000
	分蘖节芽数	Number of buds in tillering node	2.0032	1.2278	0.7411	<0.000
	总芽数	Number of total buds	1.7506	1.6821	0.9303	<0.000
	总苗数	Number of total seedlings	1.9078	1.6059	0.8949	<0.000
	总构件数	Number of total modules	3.7186	1.6415	0.9321	<0.000
丛面积 Area (cm ²)	根茎芽数	Number of rhizome buds	0.6179	0.9855	0.8811	<0.000
	分蘖节芽数	Number of buds in tillering node	2.3234	0.6139	0.7411	<0.000
	总芽数	Number of total buds	2.1450	0.8410	0.9303	<0.000
	总苗数	Number of total seedlings	2.3161	0.8030	0.8949	<0.000
	总构件数	Number of total modules	4.5340	0.8208	0.9321	<0.000
亲株数量 Tillers of parents	根茎芽数	Number of rhizome buds	0.2484	1.4057	0.8504	<0.000
	分蘖节芽数	Number of buds in tillering node	1.5314	0.8404	0.6589	<0.000
	总芽数	Number of total buds	1.0284	1.1897	0.8836	<0.000
	总苗数	Number of total seedlings	1.1868	1.1280	0.8378	<0.000
	总构件数	Number of total modules	2.2312	1.1590	0.8818	<0.000

* $Y = ax^b, n = 30$

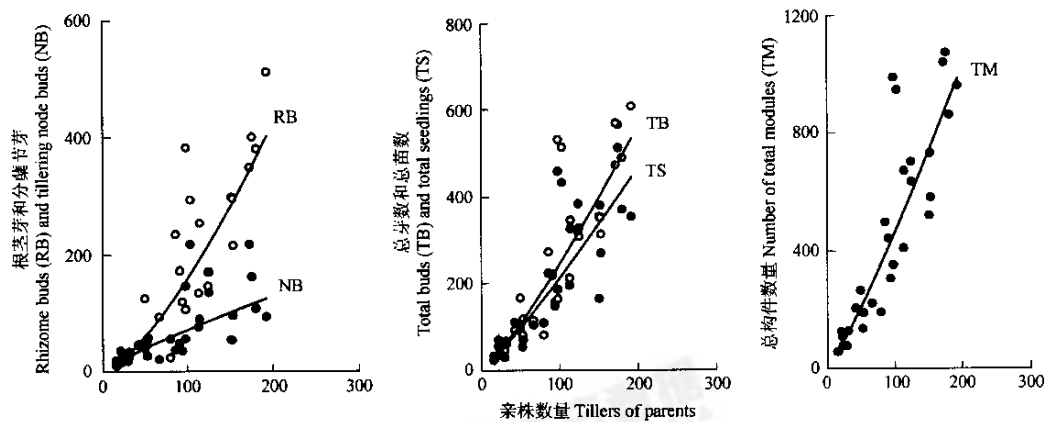


图 2 野大麦无性系冬眠构件的数量与亲株数量的观测值及拟合曲线

Fig. 2 Observed data and simulated curves on relationship between number of dormancy modules and number of the parents in *Hordeum brevisubulatum* clone ($n = 30$)

3 讨论

3.1 野大麦无性系的冬眠构件由冬眠芽和冬眠苗组成,共同构成野大麦的潜在无性系。经进一步统计,在松嫩平原的生长季末期,建植第 2 年人工草地野大麦潜在无性系的贮量是现实无性系(亲株数量)的 5 倍。其中,芽库贮量是现实无性系的 2.7 倍,苗库贮量是现实无性系的 2.3 倍。据报道,在松嫩平原,野大麦冬眠苗的越冬率为 96%,在生长季前期的 6 月初,野大麦种群的分蘖株中有 95%是由冬眠苗形成的冬性分蘖株,只有 5%是由冬眠芽形成的春性分蘖株^[28]。由此不仅可以估计该人工草地的野大麦无性系翌年将发生 2 倍以上的增长,而且可以估计对于翌年的野大麦无性系,苗库将远远大于芽库的贡献。

3.2 在松嫩平原的生长季末期,建植第 2 年人工草地野大麦的芽库由 5 个龄级组成,苗库由 4 个龄级组成,均呈增长型的龄级结构。这种用营养繁殖世代所组成的龄级结构,不仅可以反映无性系的数量发展方向,也可以估计分蘖节的生活年限和再生世代。由于建植时间短,又为条播,有较充分的生长空间,使野大麦得以发挥其营养繁殖潜力。结合建植时间估计,该人工草地的野大麦无性系分蘖株的一部分分蘖节最多生活了 2a,一些分蘖节在一个生长季最多可繁殖 4 个世代。

3.3 丛面积与芽库数据一种倍数关系,野大麦无性系冬眠构件各组分与其丛面积与丛径之间不仅有着相同的函数关系、相关性

及确定系数,而且其相对应参数的 a 值和 b 值也具有较稳定的倍数关系,即 b 值之间为 2 倍, a 值之间在 1.2 倍左右。因此,对于

无性系大小及扩展的定量刻画,匀质环境中的可用直径指标,异质环境中的可用面积指标。

3.4 尽管一些冬眠构件组分观测值的分布距拟合曲线较远,但由于是大样本取样,还是能够极好地反映出稳定的规律性变化。如果把这些相同的生长变化规律看作是由遗传因子控制的,用拟合方程的确定系数 R^2 来估计,随机环境影响用 $1-R^2$ 来估计,则野大麦无性系在冬眠构件形成过程中,有 65.89%~93.21% 是由遗传控制的,有 6.79%~34.11% 是由随机环境影响的。由此表明野大麦无性系冬眠构件各组分尽管具有相同的形成规律,但在形成过程中则存在着不同的生态可塑性。

References:

- [1] Harper J L and White J. The demography of plants. *Ann. Rve. Ecol. Syst.*, 1974, **5**:419~463.
- [2] Li Y X, Liu Y C, Zhong Z C. Modular theory in plant population ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, **14**(6):35~41.
- [3] Liu Q, Zhong Z C. Advances in ecological research of clonal plant population and some related concepts. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, **14**(3):40~45.
- [4] Bazzaz F A and Harper J L. Demographic analysis of the growth of *Linum usitatissimum*. *New Phytol.*, 1977, **78**:29~52.
- [5] Maillette L. Seasonal model of modular growth in plants. *Journal Ecology*, 1992, **80**:123~130.
- [6] McGraw J B and Garbutt K. Demographic growth analysis. *Ecology*, 1990, **71**(3): 1199~2004.
- [7] Porter J R. A modular approach to analysis of plant growth. *New Phytologist*, 1983, **94**:183~190.
- [8] Abulfaith H A and Bazzaz F A. The biology of *Ambrosia trifida* L. IV. Demography of plants and leaves. *New Phytologist*, 1980, **84**:107~112.
- [9] He W M, Dong M. Ramets and genets in the tillering clonal herb *Panicum miliaceum* in hierarchical response environments. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(2):169~175.
- [10] Zhang G F. Characteristics of soil seed bank and seedling bank of shrubland in Tiantong range, Zhejiang Province. *Acta Botanica Yunnanica*, 2001, **23**(2):209~215.
- [11] Lehtila K, Tuomi J, Sulkinoja M. Bud demography of mountain birch *Betula pubescens* spp. *tortuosa* near tree line. *Ecology*, 1994, **75**(4): 945~955.
- [12] Maillette L. Structural dynamics of silver birch 1. the fates of buds. *Journal Applied Ecology*, 1982, **19**:203~239.
- [13] Maillette L. Effects of bud demography and elongation pattern on *Betula cordifolia* near the tree line. *Ecology*, 1987, **68**(5): 1251~1261.
- [14] He B H. *Theories and application of modular biology in Ginkgo biloba*. Chinese Forestry Press, 2001. 1~7.
- [15] Li Y X, Liu Y C, Zhong Z C. Quantitative structure and dynamics of leaf populations of *Gordonia acuminata* on Jinyun mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21**(1):67~76.
- [16] Sun S C, Chen L Z. Bud demography of *Quercus liaotungensis*: the fates of buds. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(3):385~390.
- [17] Dong M, Zhang S M, Chen Y F. Clonal plasticity in responses to nutrient availability in the stoloniferous herb *Duchesnea indica*. *Acta Botanica Sinica*, 2000, **42**(5):518~522.
- [18] Hartnett D C and Bazzaz F A. The genet and ramet population dynamics of *Solidago canadensis* in an abandoned field. *J. Ecol.*, 1985, **73**:407~414.
- [19] Li H, Yang Y F, Zhang C W. Quantitative analysis on modules of *Hordeum brevisubulatum* clone in alkalized meadow in the Songnen Plains of China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2000, **9**(4):13~19.
- [20] Ma W L, Zhong Z C. Morphological adaptability of clonal herb *Iris japonica* to changed light condition. *Chinese Journal Applied Ecology*, 1998, **9**(1): 23~26.
- [21] Tao J P, Zhong Z C. Morphological responses to different nutrient supply in the stoloniferous herb *Glechoma longituba*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(2): 207~211.
- [22] Zhang S M, Chen Y F, Dong M. Clonal plasticity in responses to partial neutral shading in the stoloniferous herb *Potentilla reptans* var. *sericophylla*. *Acta Botanica Sinica*, 2000, **42**(1):89~94.
- [23] Yu F H, Dong M, Zhang C Y, *et al.* Phenotypic plasticity in response to salinity gradient in a stoloniferous herb *Halerpertes ruthenica*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(2):140~148.
- [24] Li H, Yang Y F, Qiao X B. Age structure of tillers of *Hordeum brevisubulatum* clone in Songnen plains of China. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2000, **11**(3):403~407.
- [25] Yang C, Yang L. Plasticity of clonal modules of *Leymus chinensis* in response to different environments. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2002, **13**(3):265~268.
- [26] Yang Y F, Zhu L. Analysis of winter dormancy characters of vegetative forms in fifteen perennial grass species population in the Songnen

Plain of China. *Acta Prataculturae Sinica*, 1994, **3**(2):26~31.

[27] Yang Y F, Zheng H Y. Comparison analysis on the experimental communities during progressive succession on alkaline patches in the Songnen Plain of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, **22**(3):210~221.

[28] Yang Y F, Zheng H Y, Li J D. Methods of study on age structure of clonal population in rhizome type grass. *Journal Northeast Normal University(Natural Sceince)*, 1998, **30**(1):59~53.

[29] Yang Y F, Yang L M, Zhang B T, *et al.* Relationships between the seed production of *Leymus chinensis* population and annual climatic variations in natural meadow in Northeast China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(3):337~343.

参考文献:

[2] 黎云祥,刘玉成,钟章成. 植物种群生态学中的构件理论. 生态学杂志, 1995, **14**(6):35~41.

[3] 刘庆, 钟章成. 无性系植物种群生态学进展及有关概念. 生态学杂志, 1995, **14**(3):40~45.

[9] 何维明, 董鸣. 分蘖型克隆植物黍分株和基株对异质养分环境的等级反应. 生态学报, 2002, **22**(2):169~175.

[10] 张光富. 浙江天童灌丛植被的土壤种子库与幼苗库特征. 云南植物研究, 2001, **23**(2):209~215.

[14] 何丙辉. 银杏构件生物学理论与应用. 中国林业出版社, 2001. 1~7.

[15] 黎云祥,刘玉成,钟章成. 缙云山四川大头茶叶种群的结构及其动态. 植物生态学报, 1997, **21**(1):67~76.

[16] 孙书存,陈灵芝. 辽东栎芽库统计:芽的命运. 生态学报, 2001, **21**(3):385~390.

[17] 董鸣,张淑敏,陈玉福. 匍匐茎草本蛇莓对基质养分条件的克隆可塑性. 植物学报, 2000, **42**(5):518~522.

[19] 李红,杨允菲,张成武. 松嫩平原碱化草甸野大麦无性系构件的定量分析. 草业学报, 2000, **9**(4):13~19.

[20] 马万里,钟章成. 克隆植物蝴蝶花在光梯度环境上的形态适应性研究. 应用生态学, 1998, **9**(1): 23~26.

[21] 陶建平,钟章成. 匍匐茎草本活血丹(*Glechoma longituba*)在不同养分条件下的克隆形态. 生态学报, 2000, **20**(2): 207~211.

[22] 张淑敏,陈玉福,董鸣. 匍匐茎草本绢毛匍匐委陵菜对局部遮荫的克隆可塑性. 植物学报, 2000, **42**(1):89~94.

[24] 李红,杨允菲,乔喜波. 松嫩平原野大麦无性系分蘖株的年龄结构. 应用生态学报, 2000, **11**(3):403~407.

[25] 杨持,杨理. 羊草无性系构件在不同环境下的可塑性变化. 应用生态学报, 1998, **9**(3):265~268.

[26] 杨允菲,祝玲. 松嫩平原十五种多年生禾草种群营养繁殖体冬眠特性的分析. 草业学报, 1994, **3**(2):26~31.

[27] 杨允菲,郑慧莹. 松嫩平原碱斑进展演替实验群落的比较分析. 植物生态学报, 1998, **22**(3):210~221.

[28] 杨允菲,郑慧莹,李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法. 东北师范大学学报(自然科学版), 1998, **30**(1):59~53.

[29] 杨允菲,杨利民,张宝田,等. 东北草原羊草种群种子生产与气候波动的关系. 植物生态学报, 2001, **25**(3):337~343.