

不同供氮水平下野慈菇生物量分配及形态可塑性的研究

郭伟 邓巍 孙备 潘星极 赵丽丽 燕雪飞

(沈阳农业大学 农学院 辽宁 沈阳 110866)

摘要:通过对盆栽,并以不同氮素水平处理的稻田杂草野慈菇(*Sagittaria trifolia* L.)的取样测定,研究野慈菇在不同生育期各构件的生物量分配特点以及形态特征。结果表明:不同处理下,野慈菇的叶柄长和叶片长具有较大的可塑性,而处理间的变异度较小;从开花前期到结实期,野慈菇各器官生物量及总生物量呈增加趋势,根茎生物量分配比例上升,叶生物量分配比例下降,生殖器官分配比例上升;在盛花期,生物量分配格局表现为:叶>根茎>生殖附属器官(花萼)>花,随着供氮量的增加,根茎生物量分配呈增大趋势,叶生物量分配呈减小趋势;在结实期分配格局则为:根茎>叶>果>生殖附属器官(花萼),优先将生物量分配给营养贮藏器官——根茎,随着供氮量的增加,根茎生物量分配呈下降趋势,叶生物量分配呈上升趋势。同时,在低供氮量下(CK和N1),氮素成为限制因素,野慈菇以营养生长和无性繁殖为主;在高供氮量下(N2和N3),野慈菇则以生殖生长和有性繁殖为主。供氮量影响野慈菇营养繁殖器官和有性繁殖器官生物量分配策略,使其生长和繁殖策略都出现权衡。

关键词:氮;野慈菇;生物量;生殖分配;可塑性

中图分类号:S451.1 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)03-0452-06

A Study on Biomass Allocation and Morphological Plasticity of *Sagittaria trifolia* L. under Different Nitrogen Levels

GUO Wei, DENG Wei, SUN Bei, PAN Xing-ji, ZHAO Li-li, YAN Xue-fei

(Department of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Through potting and sampling measures for the paddy field weed *Sagittaria trifolia* L. under different nitrogen element levels, each component biomass allocation and the morphological characters were studied in different growth stages. The results indicated that in each treatment, there was a large plasticity on the petiole length and leaf length, and a small variation among treatments. From the seeding stage to the ripening stage, each organ biomass and the total biomass increased, the biomass allocation of root and stem increased, that of leaf decreased, that of the reproductive organ increased. In the flowering stage, the biomass allocation pattern showed that leaf > root and stem > scape > flower, and the biomass of root and stem increased, that of leaf decreased with increasing nitrogen supply. In the ripening stage, the biomass allocation pattern showed that root and stem > leaf > fruit > scape, the priority of biomass was allocate to reserve organ (root and stem), and the biomass allocation of root and stem decreased, that of leaf increased with increasing nitrogen supply. Meanwhile, the nitrogen element became a limiting factor, giving priority to vegetative growth

收稿日期:2010-12-16 修回日期:2011-03-15

基金项目:辽宁省教育厅高等学校创新团队科研项目(2009T088)和沈阳农业大学博士后基金项目

作者简介:郭伟(1973—)男,副教授,博士,主要从事植物生态学和污染生态学研究, E-mail: guowei_233@163.com.

and clone reproduction in a low nitrogen supply level(CK and N1). And *Sagittaria trifolia* L. gave priority to reproductive growth and sexual reproduction in a high nitrogen supply level(N2 and N3). Nitrogen supply affected biomass allocation strategy of vegetative reproductive organ and sexual reproductive organ, making its growth and reproductive strategy trade-off.

Key words: nitrogen; *Sagittaria trifolia* L.; biomass; reproductive allocation; plasticity

植物种群的更新和种群中植物个体生活史的完成依赖于生殖过程。在生殖过程中生殖分配格局以及植物如何调节其生殖分配以适应特定生存环境,是植物生殖生态学研究热点问题之一。植物的生殖分配是指植物一年所同化的资源用于生殖的比例,实际上是指总资源供给生殖器官的比例,它控制着植物生殖与生存的平衡^[1-7]。近年来,对于生殖分配,国内外学者大多从生物量的角度进行研究,而且开始关注不同因子对植物生殖分配的影响^[8-13]。氮是植物需求量最大的矿质营养元素,氮的供应量限制植物生长和生物量更甚于其他营养元素^[14-15]。因此,不同供应氮肥量将会显著影响植物的生长规律及生殖分配格局^[16]。

野慈菇(*Sagittaria trifolia* L.)系泽泻科,慈菇属,为多年生草本植物。野慈菇因生长迅速,枝叶密集,争肥夺光和降低水温,成为稻田恶性杂草之一^[17]。近年来,一些学者研究了野慈菇的生物学特性^[18-19],但对于野慈菇在不同氮肥处理下生物量分配规律及形态可塑性仍不清楚。本研究通过盆栽试验,在不同氮素水平下,对不同生育期的野慈菇各构件进行了生物量分配及形态可塑性分析,藉以探讨野慈菇生长与生殖分配对策,进一步丰富植物生殖分配理论,为稻田杂草的防除提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

野慈菇采自沈阳市周边稻田。盆栽土壤类型为水稻土,有机质 16.1 g/kg,全氮 1.39 g/kg,碱解氮 0.099 g/kg,速效磷(P_2O_5) 0.019 2 g/kg,速效钾(K_2O) 0.096 g/kg, pH 6.1。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 研究采用盆栽试验(盆直径 30 cm,盆高 25 cm),每盆装土 15 kg。野慈菇于 2010 年 5 月上旬播种,待长至 10 cm 左右,留取株高及生长状况基本一致的植株进行试验,每盆 3 株。以稻田正常施氮量、野慈菇植株能够生长为标准,上下梯度共设 4 种氮肥处理:CK(0 kg/hm²)、N1(112.5 kg/hm²)、N2(225 kg/hm²)、N3(337.5 kg/hm²),每个处理 3 个重复,同时分别施磷、钾量 34.5 kg/hm²、52.5 kg/hm²(以田间施用量计)。肥料一次性施入,无追肥。

1.2.2 测定方法 分别在野慈菇开花前期、盛花期、结实期取样。进行全株测量:株高、叶柄长、叶长、花序长,记录有性生殖器官的个数。统计各形态指标的平均数(M)、标准差(SD)和变异系数(CV)。其中, M 代表种群水平形态指标量度; SD 用以反映各处理内的绝对变异度; CV 用以反映其相对变异度,其计算公式为:

$$CV = \frac{SD}{M} \times 100\% \quad [20] \quad (1)$$

将每株按根、茎、叶、花、果等构件分开,所有构件分别装入纸袋,80℃烘干至恒重。生物量分配采用下式进行计算(以干物质质量计):

$$\text{生物量分配}(\%) = \frac{\text{各器官生物量} + \text{附属器官生物量}}{\text{总生物量}} \times 100 \quad (2)$$

由于野慈菇是须根、根状茎,根很小,在研究中,把根、茎合在一起进行分析。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 统计分析程序进行试验数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理下野慈菇形态数量特征

从表 1 可以看出,从盛花期到结实期,各处理的野慈菇叶柄长和叶长基本不变,株高和花序长呈上升趋势;盛花期以后,随着生殖生长的增强,有性生殖器官数呈现上升趋势。在 N1、N2、N3 条件下,盛花

期和结实期的野慈菇的植株高度、花序长度均高于对照;但是在 N2 和 N3 条件下,野慈菇的株高基本保持不变。从各处理形态特征的变异系数来看,不论是盛花期还是结实期,野慈菇的叶柄长和叶片长的变异系数都较大,而各处理间的变异系数相差不大;相比较而言,花序长等形态特征的变异系数较小。可见,在不同氮素水平下,野慈菇的叶片性状(叶柄长和叶片长)的可塑性较强。

表 1 不同氮素水平下野慈菇形态特征及其变异度

Tab. 1 Morphological characters and the degrees of variation on *Sagittaria trifolia* under different nitrogen element levels

时期 Stage	处理 Treatment	叶柄/cm Petiole		叶片/cm Leaf		花序/cm Inflorescence		株高/cm Plant height		有性生殖器官数/个 Sexual reproduction organs number	
		<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>CV</i> /%	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>CV</i> /%	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>CV</i> /%	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>CV</i> /%	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>CV</i> /%
盛花期 Flowering stage	CK	24.0 ^a ± 10.1	42.0	12.9 ^a ± 5.7	43.8	43.6 ^c ± 1.9	4.3	50.0 ^c ± 1.9	3.8	27 ^d ± 1.7	6.4
	N1	27.0 ^a ± 10.9	40.3	20.1 ^a ± 8.3	41.3	49.0 ^b ± 1.3	2.7	58.2 ^b ± 1.1	1.9	36 ^c ± 1.5	4.3
	N2	34.6 ^a ± 11.5	33.3	24.6 ^a ± 9.1	37.0	54.8 ^a ± 0.9	1.7	63.8 ^a ± 3.1	4.8	50 ^b ± 1.2	2.3
	N3	33.0 ^a ± 11.6	35.1	20.8 ^a ± 8.5	40.8	50.3 ^b ± 2.0	3.9	62.9 ^a ± 2.5	3.9	54 ^a ± 1.2	2.1
结实期 Ripening stage	CK	25.4 ^a ± 10.6	41.7	13.0 ^a ± 5.3	41.1	44.1 ^c ± 2.1	4.7	50.8 ^b ± 2.3	4.5	36 ^d ± 0.6	1.6
	N1	30.1 ^a ± 12.2	40.4	19.9 ^a ± 8.0	40.2	52.6 ^b ± 1.1	2.1	59.7 ^a ± 0.4	0.7	51 ^c ± 1.4	2.6
	N2	35.4 ^a ± 12.7	35.9	24.7 ^a ± 9.8	39.5	55.3 ^a ± 0.7	1.2	64.2 ^a ± 5.5	8.6	72 ^b ± 1.5	2.1
	N3	34.1 ^a ± 13.5	39.7	20.2 ^a ± 8.2	40.3	53.2 ^{ab} ± 1.0	1.9	65.2 ^a ± 4.5	7.0	85 ^a ± 1.0	1.2

同一时期同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different letters in same stage and column mean significant differences at 0.05 levels.

2.2 不同处理下野慈菇生物量及分配动态

从表 2 可以看出,在不同氮素水平下,从开花前期到盛花期以及盛花期到结实期,野慈菇总生物量呈增加趋势,增长量均高于对照。其中以 N3 水平增长量最大,分别达到 11.68 g、8.14 g,可见,增施氮肥加速了野慈菇的生长。同时,各器官生物量也大体呈现上升趋势。自开花前期开始,随着营养生长的增强,植株的株高呈上升趋势,但在盛花期以后,株高上升量较小,基本保持不变(表 1)。

表 2 不同氮素水平下野慈菇各器官生物量

Tab. 2 Biomass of different organs of *Sagittaria trifolia* under different nitrogen element levels

时期 Stage	处理 Treatment	营养器官 Vegetative organ		生殖器官 Sexual organ			总生物量 /(g · 株 ⁻¹) Total biomass
		根茎/(g · 株 ⁻¹) Root and stem	叶/(g · 株 ⁻¹) Leaf	花萼/(g · 株 ⁻¹) Scape	花/(g · 株 ⁻¹) Flower	果/(g · 株 ⁻¹) Fruit	
开花前期 Before flowering stage	CK	0.21 ^d ± 0.02	0.68 ^c ± 0.05				0.89 ^d ± 0.07
	N1	0.34 ^c ± 0.04	0.88 ^b ± 0.07				1.22 ^c ± 0.11
	N2	0.48 ^b ± 0.05	0.94 ^{ab} ± 0.07				1.42 ^b ± 0.12
	N3	0.58 ^a ± 0.04	1.03 ^a ± 0.05				1.60 ^a ± 0.09
盛花期 Flowering stage	CK	2.45 ^c ± 0.46	3.27 ^c ± 0.35	0.39 ^b ± 0.05	0.21 ^c ± 0.05		6.32 ^d ± 0.22
	N1	3.89 ^b ± 0.31	4.83 ^b ± 0.37	0.43 ^b ± 0.04	0.29 ^c ± 0.09		9.44 ^c ± 0.11
	N2	5.14 ^a ± 0.32	5.65 ^a ± 0.25	0.75 ^a ± 0.12	0.66 ^b ± 0.06		12.20 ^b ± 0.39
	N3	5.84 ^a ± 0.38	5.80 ^a ± 0.32	0.85 ^a ± 0.11	0.79 ^a ± 0.06		13.28 ^a ± 0.51
结实期 Ripening stage	CK	4.06 ^c ± 0.21	3.39 ^d ± 0.40	0.91 ^b ± 0.05		1.87 ^c ± 0.32	10.23 ^d ± 0.12
	N1	5.21 ^b ± 0.60	4.71 ^c ± 0.38	1.25 ^b ± 0.14		2.30 ^c ± 0.20	13.47 ^c ± 0.69
	N2	6.07 ^a ± 0.23	6.50 ^b ± 0.15	2.13 ^a ± 0.21		4.18 ^b ± 0.35	18.87 ^b ± 0.18
	N3	6.43 ^a ± 0.08	7.43 ^a ± 0.47	2.52 ^a ± 0.34		5.03 ^a ± 0.12	21.42 ^a ± 0.79

同一时期同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different letters in same stage and column mean significant differences at 0.05 levels.

从表 3 可以看出,随着植株的生长,各处理条件下,叶生物量的分配比例呈下降趋势;除对照外,野慈菇根茎生物量分配比例先上升后下降。而野慈菇生殖附属器官(花萼)、有性生殖器官生物量分配比例呈上升趋势,但在盛花期有性生殖分配比例低于 20%,而在结实期分配比例高于 20%,这与已有的多年生植物生殖分配比例低于 20% 的结论相反,表明高氮肥条件促进野慈菇的生殖生长。

表 3 不同氮素水平下野慈菇各器官生物量分配

Tab. 3 Biomass allocation of different organs of *Sagittaria trifolia* under different nitrogen element levels

时期 Stage	处理 Treatment	营养器官 Vegetative organ		生殖器官 Sexual organ		
		根茎 / % Root and stem	叶 / % Leaf	花萼 / % Scape	花 / % Flower	果 / % Fruit
开花前期 Before flowering stage	CK	23.74 ^c ± 0.58	76.26 ^a ± 0.58			
	N1	28.14 ^b ± 0.84	71.86 ^b ± 0.84			
	N2	33.56 ^a ± 1.13	66.44 ^c ± 1.13			
	N3	35.97 ^a ± 2.53	64.03 ^c ± 2.53			
盛花期 Flowering stage	CK	38.83 ^a ± 6.94	51.70 ^a ± 5.51	6.17 ^a ± 0.67	3.30 ^b ± 0.88	
	N1	41.18 ^a ± 3.37	51.19 ^a ± 3.58	4.56 ^b ± 0.52	3.08 ^b ± 0.94	
	N2	42.14 ^a ± 1.26	46.29 ^{ab} ± 1.18	6.14 ^a ± 1.09	5.42 ^a ± 0.60	
	N3	43.93 ^a ± 1.96	43.71 ^b ± 2.60	6.41 ^a ± 0.58	5.95 ^a ± 0.38	
结实期 Ripening stage	CK	39.67 ^a ± 2.48	33.14 ^a ± 3.87	8.92 ^c ± 0.58		18.27 ^b ± 2.93
	N1	38.62 ^a ± 2.74	34.96 ^a ± 1.90	9.28 ^{bc} ± 1.20		17.14 ^b ± 2.14
	N2	32.17 ^b ± 1.40	34.44 ^a ± 0.74	11.27 ^{ab} ± 1.13		22.13 ^a ± 1.73
	N3	30.04 ^b ± 1.01	34.70 ^a ± 1.42	11.76 ^a ± 1.30		23.50 ^a ± 0.30

同一时期同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different letters in same stage and column mean significant differences at 0.05 levels.

2.3 不同处理下野慈菇生物量及分配的比较

2.3.1 开花前期 从表 2 可知,在营养生长期,野慈菇的根茎、叶和总生物量的变化趋势一致,随供氮量的增加呈上升趋势。在 N3 处理下,根茎、叶生物量和总生物量达到最大,根茎生物量和总生物量各处理间差异均显著 ($P < 0.05$);而除 N1 与 N2 和 N2 与 N3 处理外,其他各处理间叶生物量差异显著 ($P < 0.05$)。在营养生长期,根茎和叶均随供氮量的增加生长较快,说明在开花前期供氮促进野慈菇的生长。

从营养器官生物量分配比例可以看出(表 3),随着供氮量的增加,促进了生物量向根茎器官的转移,却抑制了向叶器官的转移。除 N2 与 N3 处理外,其他各处理间差异显著 ($P < 0.05$),且在 N3 处理下,根茎生物量分配比例最大,而叶生物量分配比例最小。说明随着供氮量的增加,生物量向根茎部位转移,根茎吸收养分的能力增强,为植株的生长提供养分保证。

2.3.2 盛花期 从表 2 可以看出,随着供氮量的增加,野慈菇各器官生物量和总生物量变化趋势一致,N2 处理下各器官生物量和总生物量显著高于对照和 N1 处理 ($P < 0.05$),而与 N3 处理差异不显著。

从表 3 可以看出,随供氮量的增加,根茎生物量分配比例上升,但各处理间差异不显著;与根茎生物量分配比例相反,叶生物量分配比例下降,且在 N3 处理下最低。生殖附属器官(花萼)和花生物量分配比例随供氮量的增加先下降后上升,均在 N1 处理下生物量分配比例最低,生殖附属器官(花萼)生物量分配 N1 与各处理间差异显著 ($P < 0.05$),而花生物量分配除对照与 N1、N2 与 N3 处理外,其他各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.3 结实期 从表 2 可以看出,随供氮量的增加,野慈菇各器官生物量和总生物量变化趋势与盛花期相同,均随供氮量的增加而增加。根茎生物量除 N2 和 N3 处理外,其他各处理间差异显著 ($P < 0.05$);生殖附属器官(花萼)生物量除对照与 N1、N2 与 N3 处理外,其他各处理间差异显著 ($P < 0.05$);果生物量除对照和 N1 处理外,其他各处理间差异显著 ($P < 0.05$);而叶生物量和总生物量各处理间差异均显著 ($P < 0.05$)。可见,供氮量的增加促进植物各器官生物量的积累,促进了野慈菇的生长。

从表 3 可知,根茎生物量分配比例随供氮量的增加而下降,除对照与 N1、N2 与 N3 处理外,其他各处理间差异显著 ($P < 0.05$);随供氮量的增加,叶生物量分配比例无明显规律,但均高于对照,在 N1 处理下叶生物量分配比例最大,各处理间差异不显著。与对照相比,生殖附属器官(花萼)生物量分配比例随供氮量的增加而增加,在 N3 处理下分配比例最高;果生物量分配比例表现出 $N3 > N2 > CK > N1$ 的

规律,且除对照与 N1 和 N2 与 N3 处理外,其他各处理间差异显著($P < 0.05$)。

通过对野慈菇盛花期和结实期生物量及其分配研究表明,在盛花期,野慈菇的叶生物量分配均在 50% 以上,占据优势,呈现出的格局大体为叶 > 根茎 > 生殖附属器官(花葶) > 花;在结实期,根茎生物量分配占据主导地位,分配格局为根茎 > 叶 > 果 > 生殖附属器官(花葶),表现出植物在不同的生育期有不同的生长和分配策略^[21-23]。无论在盛花期还是在结实期,生殖分配在 N2、N3 处理下都高于对照和 N1,说明供氮量显著影响着野慈菇生殖分配策略。在低氮水平(CK 和 N1)下,氮素成为生长的限制因素,野慈菇在营养生长和生殖生长上出现权衡,生殖生长投入比例较低;在繁殖策略上,有性繁殖和无性繁殖也出现权衡,无性繁殖占优势;而在高氮水平下(N2 和 N3),其生长和繁殖策略则相反。说明在资源丰富的生境条件下,多年生草本植物以有性繁殖为主要生殖策略,而在资源贫乏的生境条件下,则以无性繁殖为主要策略。

3 结论与讨论

(1) 不同处理下,野慈菇的叶柄长和叶片长具有较大的可塑性,而处理间的变异度较小。供氮量在 N2 和 N3 处理下的株高改变缓慢甚至停止,说明植株外在形态对供氮量的响应存在一定的阈值。随供氮量的增加,盛花期和结实期株高和花序长变化趋势的一致性体现了植株在养分积累和形态建成中的协调性。

(2) 氮素是植物生长所不可或缺的重要元素,但植物对氮的需求程度因物种不同而有所差异。樊维等^[24]认为高氮肥处理的克氏针茅总生物量反而低于不施氮处理的总生物量。在本试验中,随着植株的生长,野慈菇各器官生物量及总生物量基本呈增加趋势,根茎生物量分配比例上升,叶生物量分配比例下降,生殖器官生物量分配比例上升;无论在开花前期、盛花期还是在结实期,随着供氮量的增加,野慈菇的各器官生物量以及总生物量均呈上升趋势。

(3) 各器官生物量分配比例在不同时期变化迥异,在一定程度上反映了植物生长发育对资源的响应和适应。在盛花期,生物量分配格局表现为叶 > 根茎 > 生殖附属器官(花葶) > 花,随着供氮量的增加,根茎生物量分配呈增大趋势,叶生物量分配呈减小趋势;在结实期分配格局则为根茎 > 叶 > 果 > 生殖附属器官(花葶),优先将生物量分配给营养贮藏器官——根茎,随着供氮量的增加,根茎生物量分配呈下降趋势,叶生物量分配呈上升趋势。野慈菇的根茎在结实期形成球茎,通过其球茎的建成,分配较多的生物量贮藏营养物质,能够为年际间的野慈菇越冬和第 2 年萌发生长提供物质基础。因此根茎生物量分配所占比例较大,是植物抵抗胁迫的一种表现。

(4) 种群生殖策略受遗传因素的控制,同时也受到资源供应状况的调节。武建双等^[25]认为,无论是地上部分的有性繁殖还是地下部分的无性繁殖分配策略,垂穗披碱草均不随供氮量的增加而发生改变。本试验研究表明,在低供氮量下(CK 和 N1),氮素成为限制因素,野慈菇以营养生长和无性繁殖为主;在高供氮量下(N2 和 N3),野慈菇则以生殖生长和有性繁殖为主。供氮量影响野慈菇营养繁殖器官和有性繁殖器官生物量生殖分配策略,使其生长和繁殖策略都出现权衡,因此,如何结合供给氮肥量来控制稻田杂草野慈菇是一个亟待解决的问题。另外,本文仅研究了不同氮素水平对野慈菇 1 年生物量分配规律的影响,而对于年际间的生殖分配规律还需要进一步探讨。

参考文献:

- [1] 钟章成. 植物种群的繁殖对策[J]. 生态学杂志, 1995, 14(1): 37-42.
- [2] Erica S, Kate L B, Johannes M H K. Effects of herbivory on the reproductive effort of 4 prairie[J]. BMC Ecology, 2002, 2: 2.
- [3] Eelke J, Hans D K, Frank B. The interplay between shifts in biomass allocation and costs of reproduction in four grassland perennials under simulated successional change[J]. Oecologia, 2006, 147: 369-378.
- [4] Li F R, Zhang A S, Duan S S, et al. Patterns of reproductive allocation in *Artemisia halodendron* inhabiting two contrasting habitats[J]. Acta Oecologica, 2005, 28: 57-64.
- [5] 陈玲, 乌江雨, 杨持. 不同群落类型对羊草种群生殖分配的影响[J]. 内蒙古大学学报, 1996, 27(5): 713-716.
- [6] 王仁忠, 祖元刚, 聂绍荃. 羊草种群生物量生殖分配的初步研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 553-555.
- [7] 宋会兴, 苏智先, 廖咏梅. 淡竹叶种群生殖配置研究[J]. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2004, 25(3): 256-258.

- [8] Loschuk E L P , Slafer G A , Ravetta D A. Reproductive allocation of biomass and nitrogen in annual and perennial lesquerella crops [J]. *Annals of Botany* , 2005 , 96: 127-135.
- [9] 王非, 李雷鸿, 孙家宝. 两种长春花生物量配置的比较 [J]. *北方园艺* 2007(7): 137-139.
- [10] 王普昶, 易津, 韩智龙, 等. 华北驼绒藜种群生殖分配格局的研究 [J]. *干旱区资源与环境* 2008, 22(12): 174-179.
- [11] 刘左军, 杜国祯, 陈家宽. 不同生境下黄帚囊吾 (*Ligularia virgaurea*) 个体大小依赖的繁殖分配 [J]. *植物生态学报* , 2002, 26(1): 44-50.
- [12] 郭力华, 杨允菲, 李建东. 松嫩平原不同生境寸草苔种群生境分株的数量特征及生殖分配动态 [J]. *草业学报* 2005 , 14(2): 63-68.
- [13] Niu K C , Luo Y J , Philippe C , et al. The role of biomass allocation strategy in diversity loss due to fertilization [J]. *Basic and Applied Ecology* , 2008(9): 485-493.
- [14] 马立祥, 赵甍, 毛子军, 等. 不同氮素水平下增温及 CO₂ 升高综合作用对蒙古栎幼苗生物量及其分配的影响 [J]. *植物生态学报* 2010, 34(3): 279-288.
- [15] 陈永春. 不同施肥处理对款冬花生物量分配和产量的影响 [J]. *南方农业* 2009(1): 55-56.
- [16] 王满莲, 韦霄, 蒋运生, 等. 氮对黄花蒿生长、光合特性和青蒿素含量的影响 [J]. *广西植物* 2009, 29(2): 260-263.
- [17] 郭书普. 水田常见杂草识别与防治原色图鉴 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社 2005: 24-25.
- [18] 何锦豪, 王美玲. 稻田主要杂草矮慈菇的生物学特性及其防除研究 [J]. *杂草学报* , 1989, 3(2): 41-44.
- [19] 李豪圣. 稻田杂草矮慈菇的生物学特性及其化学防除效果 [D]. 吉林: 延边大学 2001.
- [20] 靳牡丹, 邹春静, 宋晴. 草本植物生殖分株的数量特征和生殖分配的时空动态研究进展 [J]. *山西师范大学学报: 自然科学版* 2007, 21(1): 80-85.
- [21] Houghton R A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance [J]. *Global Change Biology* , 2005 , 11(6): 945-958.
- [22] 潘玉梅, 唐赛春, 岑艳喜, 等. 钻形紫菀开花期种群构件的生物量分配 [J]. *热带亚热带植物学报* 2010, 18(2): 176-181.
- [23] 王梦君, 刘万德, 张玉波. 地震干扰后恢复群落物种组成与生物量分配特征 [J]. *西北林学院学报* 2010, 25(3): 1-6.
- [24] 樊维, 蒙荣, 陈全胜. 不同施氮水平对克氏针茅草原地上地下生物量分配的影响 [J]. *畜牧与饲料科学* 2010, 31(2): 74-75.
- [25] 武建双, 沈振西, 张宪洲, 等. 藏北高原人工垂穗披碱草种群生物量分配对施氮处理的响应 [J]. *草业学报* 2009, 18(6): 113-121.