

3 种棒果芥属植物生物量分配及异速生长分析

邱 东¹,周桂玲¹,刘同业²

(1.新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆草地资源与生态重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052;
2.新疆阿勒泰市农业局,新疆 阿勒泰 836500)

摘 要:类短命植物是准噶尔荒漠早春草本植物类群的重要而独特的组成部分,研究其生物量分配和异速生长关系,有助于深入了解类短命植物的生存策略与生态功能。以棒果芥(*Sterigmostemum tomentosum*)、福海棒果芥(*S. fuhaiense*)和黄花棒果芥(*S. sulfureum*)为研究对象,采用挖掘法获取野外成株全株生物量,对三者的器官生物量、分配比例及异速生长关系进行了对比分析。结果表明,3 种植物器官生物量及其分配比例均差异明显。福海棒果芥生物量最大,但根冠比(R/S)和叶冠比(L/S)最小;棒果芥生物量最小,但 L/S 最大;黄花棒果芥则具有最大的 R/S。棒果芥和黄花棒果芥的根冠比(R/S)均随个体的增大而显著下降,表明二者地上(AGB)与地下生物量(BGB)分配受到个体大小的强烈影响。福海棒果芥 AGB-BGB 间为等速生长关系(幂指数 $\alpha = 1$),而另外 2 种均为异速生长关系;棒果芥、福海棒果芥的叶生物量(LB)与 AGB 间为等速生长关系,而黄花棒果芥符合异速生长关系($\alpha < 1$);3 个物种的 LB-BGB 间具有共同的异速生长指数(0.816),表现出强烈的功能趋同性。总之,3 个物种间的生物量分配及异速生长关系没有一致规律,但体现了类短命植物生物量分配的特点。

关键词:棒果芥;福海棒果芥;黄花棒果芥;生物量分配;异速生长指数;类短命植物

中图分类号: S54; Q94 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0215-06

Analysis of biomass allocation and allometric growth of three *Sterigmostemum* species in Junggar Basin

QIU Dong¹, ZHOU Gui-ling¹, LIU Tong-ye²

(1. Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, College of Prataculture and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Altay Agricultural Bureau, Altay 836500, China)

Abstract: The ephemeroïd plants are an important and unique component of the early spring herbaceous plants community in Junggar Basin of China. The study on relationship between biomass allocation and allometric growth in ephemeroïd plants will contribute to deepen understanding about their survival strategy and ecological function. *Sterigmostemum tomentosum*, *S. fuhaiense*, and *S. sulfureum* were used, the total plant biomass of mature individuals were obtained by using excavation in the field, and organ biomass, allocation ratios and the allometric relationships among the three species were compared. The results showed significant difference in organ biomass and biomass allocation ratios among the three species. *S. fuhaiense* had the largest biomass, but its ratio of root to shoot (R/S) and the ratio of leaf to shoot (L/S) were the lowest. *S. tomentosum* had the smallest biomass, but L/S was the largest. *S. sulfureum* showed the largest R/S. The R/S of *S. tomentosum* and *S. sulfureum* declined noticeably with increasing of plant biomass, indicating that allocation of aboveground biomass (AGB) and belowground biomass (BGB) were strongly influenced by plant size (biomass). The biomass pair AGB-BGB of *S. fuhaiense* showed an isometric effect (i.e. their allometric scaling exponents were 1.0), while the other two species showed allometric effect (the exponent < 1.0). The biomass pair AGB-LB of *S. tomentosum* and *S. fuhaiense* showed an isometric effect; whereas *S. sulfureum* fitted the allometric relationship. The biomass pair LB-BGB of all the three species exhibited a common allometric scaling exponent (0.816), showing a strong functional convergence. In conclusion, there was no consistency between allocation pattern and allometric relationship in three *Sterigmostemum* species, but it represented the biomass allocation characteristics of ephemeroïd plants.

收稿日期:2014-03-23
基金项目:国家自然科学基金项目(31160038)
作者简介:邱 东(1986—),女,吉林长春人,硕士研究生,研究方向为植物资源与系统演化。E-mail: qiudong501@163.com。
通信作者:周桂玲,教授,主要从事植物系统演化与资源植物研究。E-mail: xjzhougl@aliyun.com。

Keywords: *Sterigmostemum tomentosum*; *Sterigmostemum fuhaiense*; *Sterigmostemum sulfureum*; biomass allocation; allometric scaling exponent; ephemeroid plants

生物量是植物的基本生物学特征和功能性状之一,是物质和能量积累的基本体现^[1]。生物量分配是植物生殖与生存平衡的结果^[2],是一个比率驱动过程(ratio-driven process),其主要受植物的遗传特性(自身生长发育)和环境条件的影响^[3]。尽管不同植物物种在不同生长阶段生物量在根、茎、叶之间的分配比例表现出巨大的多样性,但是大量研究表明不同物种间(包括系统分支上截然不同的功能群),不同生长环境中存在一个相对普遍的根、茎、叶生物量分配模式^[3-6]。

植物个体在响应自然选择压力和自身发育限制时进化出了许多相关生长模式(allometric relationships),常常反映出植物生活史策略的差异^[3]。相关生长分为等速生长(isometry)和异速生长(allometry)两类^[6]。理论预测表明,无论有次生组织还是无次生组织的植物,其地上、地下生物量间均为等速生长关系(即幂指数为 1),叶片生物量与地上或地下生物量间呈幂指数为 3/4 的异速生长关系^[3-6]。

草本植物是荒漠生态系统的重要组成部分,其在能量流动、养分循环、碳动态、净初级生产力和生物多样性方面都起着至关重要的作用^[7-8]。因此,关于荒漠草本植物物种组成、结构与功能方面的研究日益受到重视^[9-12]。类短命植物(ephemeroid plant)是准噶尔荒漠早春植物类群的重要组成部分,其具有地上短生、地下多年生的特点^[11]。那么,类短命植物生活型的特点在生物量分配上是如何体现的?其器官生物量间具有何种相关生长关系?目前仅有少量个例研究涉及此科学问题,而且所研究的几种植物的生物量分配规律也不尽相同^[10-11]。

棒果芥[*Sterigmostemum tomentosum* (Willd.) M. Bieb.]、福海棒果芥[*Sterigmostemum fuhaiense* H. L. Yang]和黄花棒果芥[*Sterigmostemum sulfureum* (Banks et Soland.) Bormm.]均为准噶尔荒漠常见类短命植物^[13],是荒漠小灌木群落的重要伴生种。研究其生物量分配和异速生长关系,可为深入了解类短命植物的生存策略与生态功能提供数据支持。

1 研究区概况

植物样品采集地点均位于新疆准噶尔盆地。棒果芥采自盆地西部托里县老风口林场(46°11.4' N, 83°35.7' E),福海棒果芥采自盆地东部富蕴县南部喀木斯特地区(45°22.6' N, 89°28.5' E),黄花棒果芥

采自盆地南部乌鲁木齐雅玛里克山(43°47.7' N, 87°34.2' E)。

托里县位于塔额盆地东南部,近 30 年气象资料显示^[14],年平均气温为 5.3℃,极端最高气温为 40.2℃,极端最低气温为 -36.6℃。≥10℃的日数为 132 d,年积温为 2 345.9℃。平均日照时数为 2 839.7 h,其中日照百分率≥60%的日数为 237.2 d。年平均降水量为 242.1 mm。老风口林场生境为砾质荒漠,植被主要为绢蒿(*Seriphidium*),土壤类型为棕钙土^[15]。

富蕴县喀木斯特地区位于卡拉麦里山有蹄类自然保护区的核心区域,据 2000—2007 年气象资料显示^[16],1 月份平均温度为 24.3℃,极端低温 45℃;7 月平均温度为 20.5℃,极端高温 38.4℃;年均温为 1.99℃;年均降水量 186.8 mm,年潜在蒸发量达 2 090 mm。优势植物主要有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)、假木贼(*Anabasis*)和绢蒿等^[17]。生境为低山砾质荒漠,土壤类型为棕漠土^[15]。

乌鲁木齐位于天山中段北麓,准噶尔盆地南端,属温带大陆性干旱气候,昼夜温差大,寒暑变化剧烈,无霜期短。根据 1983—1996 年气象资料^[18],乌鲁木齐雅玛里克山地区年均温 7.5℃,极端最高温度 37.7℃,极端最低温度 19.1℃,无霜期 172 d,≥10℃的积温 2 549.7℃,全年日照总时数 2 561.1 h,年降水量为 266.9 mm,年蒸发量 2 731 mm,是总降水量的 10.2 倍。平均相对湿度 58%,最低的 8 月为 32%,最高的 2 月为 78%,干燥度 4.2。生境为低山丘陵荒漠地貌,植被主要有如驼绒藜、小蓬(*Nanophyton erinaceum*)、刺叶锦鸡儿(*Caragana acanthophylla*)等,土壤类型为棕钙土和栗钙土^[15]。

2 研究方法

2.1 植物样品采集

所有植物样品均于 2013 年 6 月中旬采集。在每个地区设置 2 个调查样地,大小为 10 m×10 m。利用全株挖掘法完整获取样地内已开花的全部待测植物。3 种植物样本量分别为 28、20 和 22 株。将每株植物冲洗干净后,分为地上和地下两部分,装在做好标记的信封或布袋内。植物样品带回实验室后置于 75℃烘箱内烘 48 h,以保证样品完全烘干。

2.2 生物量测定方法

植物样品烘干后,将每株植物的地下根系、叶片

及地上剩余部分单独称重(天平精度为 0.0001 g)。分别计算各组分(地上生物量 AGB、地下生物量 BGB、总生物量 TB 和叶片生物量 LB)的生物量大小,并计算根冠比(root to shoot mass ratio, R/S)和叶冠比(leaf to shoot mass ratio, L/S)。各生物量指标均采用平均值±标准误(mean±SE)的形式给出。

2.3 常规数据统计分析

对 3 种植物的 AGB、BGB、LB、TB、R/S 及 L/S 进行 One – way ANOVA 分析。利用 Levene’s test 检验方差齐性与否,方差齐性时使用 Tukey’s HSD test 进行多重比较,方差不齐时则使用 T2 Tamhane’s test 进行多重比较^[8]。R/S 随个体大小(地上生物量)的变化趋势通过幂函数来判断,利用普通最小二乘回归(ordinary least squares regression, OLS, 即 Model Type I)得到。常规数据分析和作图在 Excel 2003 中完成,One – way ANOVA 分析在 SPSS 19.0 中实现。

2.4 异速生长分析

异速生长关系是生物量分配和器官功能关系研究的重要手段和指标。异速生长关系可以表示为 $Y = \beta \cdot X^\alpha$, 其中, Y 是某种生物学特征或者功能, β 是标准化常数, X 指个体大小, α 是异速生长指数^[6]。 $\alpha = 1$ 为等速关系,即因变量和自变量呈均匀或等比例生长; $\alpha \neq 1$ 为异速关系,即因变量和自变量间为不均匀或不等比例生长。确定异速生长参数时,须将幂函数转换为 $\lg Y = \lg \beta + \alpha \cdot \lg X$ 的形式^[19–21],利用降主轴回归(reduced major axis regression, RMA, 即 Model Type II)方法计算回归模型的指数、95%置

信区间(95% CI)及决定系数(R^2)。对数化之后的 α 即为幂函数对数化之后线性回归的斜率, $\lg \beta$ 为线性回归的截距。

上述异速生长指数(α)和截距($\lg \beta$)的计算、等速生长检验、 α 的方差分析及 R/S 随个体大小(即地上生物量)变化的幂函数指数的对比均使用 SMARTR 软件完成^[22]。

3 结果与分析

3.1 3 种棒果芥属植物器官生物量分配

3 种棒果芥属植物器官生物量及其分配比例均差异明显(表 1)。AGB、LB、BGB 和 TB 均以福海棒果芥为最大,棒果芥最小。以 TB 为例,福海棒果芥为 $8.812 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$,黄花棒果芥和棒果芥分别为 $4.932 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 和 $2.320 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。但是,黄花棒果芥具有最大的 R/S(1.465 ± 0.265),其次是棒果芥(0.796 ± 0.089)和福海棒果芥(0.504 ± 0.041)的 R/S 基本相等,但二者无显著差异。LB 的比例(L/S)以棒果芥为最大(0.479 ± 0.026),其次是黄花棒果芥(0.365 ± 0.028)和福海棒果芥(0.248 ± 0.026),三者之间均有显著差异。由此可见,福海棒果芥个体(TB)最大,但 L/S 和 R/S 最小;棒果芥虽个体最小,但 L/S 最大;而黄花棒果芥的 AGB 是 BGB 的近 1/2($R/S = 0.504$),且 LB 占 AGB 的比例也接近 1/4($L/S = 0.248$),说明黄花棒果芥根、叶和茎的生物量分配比例约为 2:1:3。

表 1 3 种棒果芥属植物地上生物量、地下生物量、叶片生物量、全株生物量、根冠比和叶冠比

Table 1 Aboveground biomass (AGB), belowground biomass (BGB), leaf biomass (LB) and total plant biomass (TB), ratio of root to shoot (R/S) and ratio of leaf to shoot (L/S) in three <i>Sterigmostemum</i> species							
物种 Species	N	地上 AGB/g	地下 BGB/g	叶片 LB/g	总生物量 TB/g	根冠比 R/S	叶冠比 L/S
棒果芥 <i>S. tomentosum</i>	28	$1.479 \pm 0.262\text{b}$	$0.841 \pm 0.085\text{b}$	$0.668 \pm 0.105\text{b}$	$2.320 \pm 0.338\text{b}$	$0.796 \pm 0.089\text{b}$	$0.479 \pm 0.026\text{a}$
福海棒果芥 <i>S. fuhaiense</i>	20	$5.865 \pm 1.117\text{a}$	$2.947 \pm 0.581\text{a}$	$1.594 \pm 0.450\text{a}$	$8.812 \pm 1.601\text{a}$	$0.504 \pm 0.041\text{b}$	$0.248 \pm 0.030\text{c}$
黄花棒果芥 <i>S. sulfureum</i>	22	$2.526 \pm 0.394\text{b}$	$2.405 \pm 0.354\text{a}$	$0.948 \pm 0.126\text{ab}$	$4.932 \pm 0.695\text{b}$	$1.465 \pm 0.265\text{a}$	$0.365 \pm 0.028\text{b}$

注:同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。 Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

随着植株个体大小的增加,棒果芥和黄花棒果芥的 R/S 均呈现极显著下降趋势(图 1),表明二者地上、地下生物量分配受到个体大小的强烈影响,但同一种内,体型较大的植物具有相对稳定的地上和地下生物量分配比例。福海棒果芥的 R/S 随 AGB 的增大无明显规律,说明其生物量分配与个体大小无关。同时,棒果芥(– 0.5056)和黄花棒果芥(– 0.4719)的 R/S 随 AGB 变化的幂指数没有显著差异($F = 0.045, P = 0.826$),表明随个体的增大,二

者的 R/S 具有相同的递减速率。

3.2 3 种棒果芥属植物器官生物量间的异速生长关系

3 种棒果芥属植物 AGB – BGB 间、AGB – LB 间以及 LB – BGB 间均具有极显著($P < 0.01$)的相关生长关系(图 2,表 2)。对于 AGB – BGB,棒果芥、福海棒果芥和黄花棒果芥的异速生长指数分别为 0.679、1.129 和 0.699,三者差异显著(表 2)。等速生长检验表明,福海棒果芥为等速生长关系,即地上和地下

生物量为等比例生长。棒果芥和黄花棒果芥均为 $\alpha = 3/4$ 的异速生长关系(95% 置信区间包含 0.75), 且二者无显著差异, 即二者的地下生物量分配速率

均小于地上生物量。也由于 3 个物种 AGB – BGB 间异速生长指数显著差异, 三者没有共同的异速生长指数。

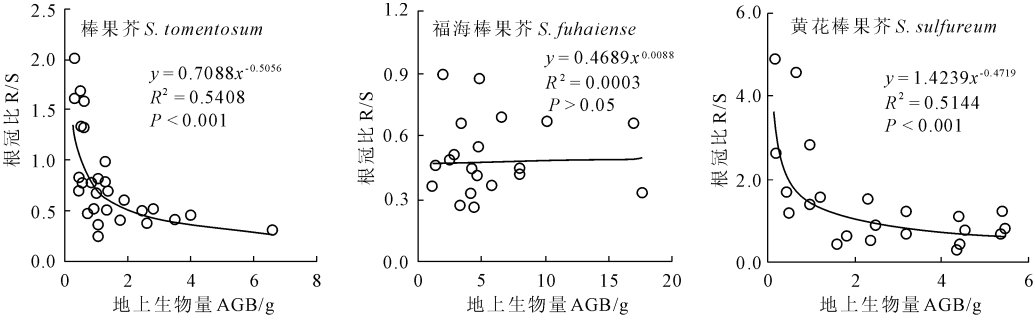


图 1 3 种棒果芥属植物根冠比随个体大小(地上生物量)的变化趋势

Fig.1 Trends of the ratio of root to shoot (R/S) along with plant size (aboveground biomass, AGB) in three *Sterigmostemum* species

棒果芥 AGB – LB 间均属于等速生长关系, 而黄花棒果芥属于 $\alpha = 3/4$ 的异速生长关系, 且黄花棒果芥的异速生长指数(0.686)显著大于棒果芥和福海棒果芥(分别为 1.001 和 1.289)。对于 LB – BGB, 3 个物种的异速生长指数无显著差异, 但棒果芥则属于异速生长关系, 而福海棒果芥和黄花棒果芥的异速生长指数既包含 1 又包含 0.75, 等速生长关系类型不唯一。但是, 三者具有共同的异速生长指数(0.816), 属于地下生物量分配速率小于叶片生物量分配速率的异速生长关系(3/4)。

4 讨 论

4.1 生物量分配的异同

植物从外界环境中获得的有限资源如何在不同器官之间进行优化配置是确保植物能否取得最大生长适合度的关键因素^[3]。研究表明, 准噶尔荒漠大部分短命植物的根冠比在 0.1 以下, 即地下生物量分配比例很小^[9]。对科尔沁沙地 70 种草本植物生物量分配研究表明, 多年生草本植物表现出更大的根冠比, 而一年生、二年生则相对较小^[12]。对准噶尔荒漠 3 种百合科类短命植物生物量分配的研究表明, 粗柄独尾草(*Eremurus indeniensis*) R/S 达到 1.44, 表明其 BGB 分配比例大于 AGB^[10]; 新疆郁金香(*Tulipa sinkiangensis*) BGB 占全株的 50% 左右, 即 R/S 约为 1^[23]; 小山蒜(*Allium pallasii*) 的 R/S 为 0.873, AGB 分配比例稍大于 BGB^[11]。本研究对 3 种十字花科类短命植物的研究表明, 黄花棒果芥具有最大的 R/S(1.465 ± 0.265), 其次是棒果芥(0.796 ± 0.089)和福海棒果芥(0.504 ± 0.041), 后二者的 R/S 无显著差异。尽管三者生物量分配差异明显, 但相比之下, 三者的 R/S 与百合科 3 种类短命植物较为

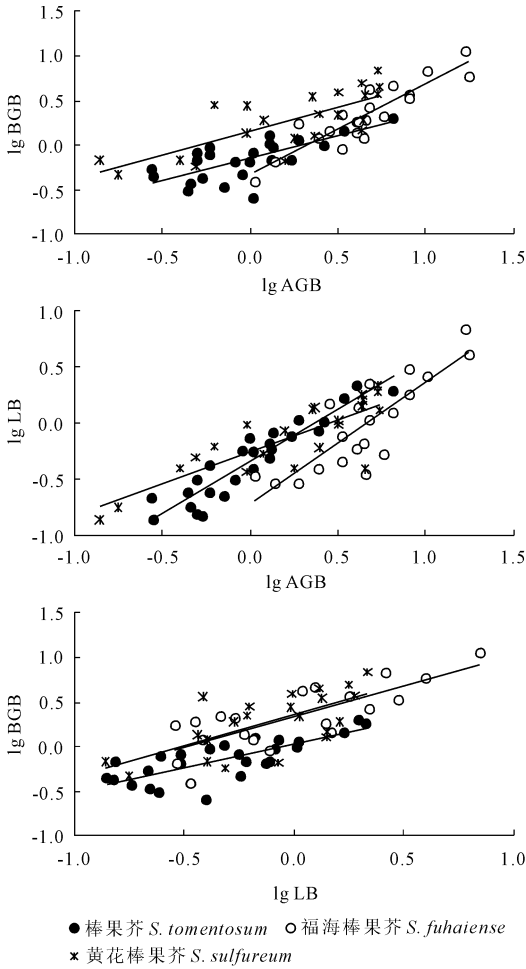


图 2 双对数坐标下 3 种棒果芥属植物地上(AGB)与地下(BGB)、地上与叶片(LB)及叶片与地下生物量间的 RMA 线性拟合关系
Fig.2 lg – lg linear regression (RMA) plots of aboveground biomass (AGB) and belowground biomass (BGB), AGB and leaf biomass (LB), and LB and BGB in three *Sterigmostemum* species

对于 AGB – LB, 三者的异速生长指数也差异显著, 因此没有共同的异速生长指数。棒果芥和福海

接近,且都明显高于短命植物和一年生草本。

表 2 3 种棒果芥属植物地上与地下、地上与叶片及叶片与地下生物量间的
相关生长指数、等速生长检验及共同斜率(指数)检验

Table 2 Allometric relationships, the test of allometry and the test of common slope (exponent) between above-and belowground biomass, aboveground and leaf biomass, and leaf and belowground biomass in three <i>Sterigmostemum</i> species								
参数 Parameter	物种 Species	相关生长指数 Scaling exponent (slope)				等速生长检验 Test of allometry		
		R^2	P	α	95% CI	F	P	类型 Type
$Y = BGB$	棒果芥 <i>S. tomentosum</i>	0.530	< 0.0001	0.679b	0.517 ~ 0.893	8.682	0.007	A
	福海棒果芥 <i>S. fuhaiense</i>	0.813	< 0.0001	1.129a	0.912 ~ 1.396	1.414	0.250	I
$X = AGB$	黄花棒果芥 <i>S. sulfureum</i>	0.570	< 0.0001	0.699b	0.518 ~ 0.945	6.206	0.022	A
	共同的斜率 Common slope	$t = 11.721$	0.002	无 No				
$Y = LB$	棒果芥 <i>S. tomentosum</i>	0.874	< 0.0001	1.001a	0.868 ~ 1.154	0.000	0.988	I
	福海棒果芥 <i>S. fuhaiense</i>	0.708	< 0.0001	1.289a	0.990 ~ 1.680	4.062	0.059	I
$X = AGB$	黄花棒果芥 <i>S. sulfureum</i>	0.687	< 0.0001	0.686b	0.530 ~ 0.888	9.494	0.006	A
	共同的斜率 Common slope	$t = 30.197$	0.001	无 No				
$Y = BGB$	棒果芥 <i>S. tomentosum</i>	0.604	< 0.0001	0.679a	0.528 ~ 0.872	10.379	0.003	A
	福海棒果芥 <i>S. fuhaiense</i>	0.630	< 0.0001	0.875a	0.651 ~ 1.178	0.867	0.364	I
$X = LB$	黄花棒果芥 <i>S. sulfureum</i>	0.462	< 0.0001	1.019a	0.728 ~ 1.426	0.013	0.910	I
	共同的斜率 Common slope	$t = 4.092$	0.126	有 Yes				
			< 0.0001	0.816	0.685 ~ 0.969	$\chi^2 = 5.309$	0.021	A

注:相关生长指数(α)—列的不同字母表示 3 个物种间 α 差异显著($P < 0.05$); A 表示异速生长关系, I 表示等速生长关系。
Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$) of three allometric scaling exponents (α); A means allometric relationship, I indicates isometric relationship.

按照 Raunkiaer 关于植物生活型的划分标准^[24-25],短命植物属于一年生植物(therophyte)类群,类短命植物属于地下芽植物(geophyte)或隐芽植物(cryptophyte)。由于一年生植物/短命植物渡过恶劣环境的方式不是靠休眠芽,而是以种子的形态于生长季中完成其生活史,故该类型植物不需要投资更多的生物量到地下器官,因此其 R/S 较低。而类短命植物地下根系为多年生,这就需要其储存更多的物质和能量到地下部分,以保证植株来年再次萌发。因而,类短命植物 R/S 明显高于当年完成生活史的短命植物和一年生草本。

综合 3 种棒果芥属植物各器官生物量及其分配比例,三者没有表现出完全相同的分配模式,但表现出了 R/S 显著高于短命植物、且相似于百合科 3 种类短命植物的生物量分配格局。

4.2 异速生长关系的异同

异速生长方程可定量描述植物生长和资源分配之间的关系,揭示某种生物或某一类生物的部分与整体或部分与部分间的差异和对比关系^[3]。异速生长关系与进化时间、分类等无关,没有尺度限制,具有普遍适性^[4-6,26]。按照理论推测,维管植物 AGB 和 BGB 间是等速生长关系, LB 与 AGB、LB 与 BGB

间均为 3/4 的异速生长关系^[3-6]。对类短命植物粗柄独尾草(*Eremurus inderiensis*)的研究表明,其 AGB - BGB 间呈 $\alpha = 3/4$ 异速生长规律, LB - AGB 呈 $\alpha = 1$ 的等速生长关系,均不符合理论预测(前者预测的 $\alpha = 1$,后者为 3/4),仅有 LB - BGB 之间呈 $\alpha = 3/4$ 的异速生长关系符合理论预测^[10]。对类短命植物小山蒜(*Allium pallasii*)生物量分配的研究也表明, AGB - BGB 间为 3/4 的异速关系,而 AGB - LB 间及 LB - BGB 间均呈等速生长关系,说明这 3 对指标均不符合理论预测^[11]。

本研究表明,福海棒果芥的 AGB - BGB 间属于等速生长关系(指数为 1),与理论预测相符;而棒果芥和黄花棒果芥的异速生长指数与 1 差异显著,与 3/4 无显著差异(95% 置信区间包含 0.75),属于异速生长关系,这与理论预测不符。此外,棒果芥和黄花棒果芥的 R/S 随个体增大均显著下降(图 1),也表明 R/S 在不同个体间是异速变化的,印证了二者 AGB - BGB 间属于异速生长关系的结论。AGB - LB 间,黄花棒果芥属于指数为 3/4 的异速生长关系;而棒果芥和福海棒果芥则属于等速生长关系,与理论预测的异速生长指数为 3/4 也不符合(95% 置信区间不包含 0.75)。LB - BGB 间,仅从单个物种来看,

只有棒果芥完全符合理论预测(3/4),而福海棒果芥和黄花棒果芥异速生长指数的置信区间既包含 1 又包含 0.75,较难判断二者的真实类型。但 3 个物种的 LB – BGB 间具有共同的异速生长关系,其异速生长指数为 0.816,置信区间远小于 1,且与 0.75 无显著差异,也就是说 3 个物种的 LB – BGB 间总体上是符合理论预测的(3/4)。

总之,3 种棒果芥属植物器官生物量间的分配关系无一致规律。福海棒果芥的 3 对器官生物量间均为等速关系,而棒果芥、黄花棒果芥的异速生长关系不稳定,这种相异的器官生物量分配和异速生长关系可能主要体现了系统发育(内因)上的差异(趋异)。除福海棒果芥外,棒果芥和黄花棒果芥与粗柄独尾草和小山蒜的 AGB – BGB 间均属于指数为 3/4 的异速生长关系,而这种相同的地上、地下生物量间的异速生长关系可能是不同物种对相同干旱季节性气候(外因)趋同适应的结果。

参 考 文 献:

[1] 董道瑞,李 霞,万红梅,等.塔里木河下游胡杨(*Populus euphratica*)地上生物量估测[J].中国沙漠,2013,33(3):724-730.

[2] 郝虎东,田青松,石凤翎,等.无芒雀麦地上生物量及各构件生物量分配动态[J].中国草地学报,2009,31(4):84-88.

[3] 李 涛.荒漠植物异速生长指数及其空间格局适应降雨梯度变化的规律与机制研究[D].兰州:兰州大学,2010.

[4] Niklas K J. Plant allometry: Is there a grand unifying theory? [J]. Biological Reviews, 2004,79(4):871-889.

[5] Niklas K J. Modelling below-and above-ground biomass for non-woody and woody plants[J]. Annals of Botany, 2005,95(2):315-321.

[6] 程栋梁.植物生物量分配模式与生长速率的相关规律研究[D].兰州:兰州大学,2007.

[7] Gilliam F S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems[J]. Bio Science, 2007,57:845-858.

[8] 陶 冶,张元明.3 种荒漠植物群落物种组成与丰富度的季节变化及地上生物量特征[J].草业学报,2011,20(6):1-11.

[9] 邱 娟,谭敦炎,樊大勇.准噶尔荒漠早春短命植物的光合特性及生物量分配特点[J].植物生态学报,2007,31(5):883-891.

[10] 陶 冶,张元明,周晓兵,等.类短命植物粗柄独尾草器官生物量分配与估测[J].干旱区研究,2012,29(1):93-100.

[11] 陶 冶,张元明,全永威,等.准噶尔荒漠小山蒜的形态与生物量特征及其相互关系[J].中国沙漠,2012,32(4):1328-1334.

[12] 李雪华,李晓兰,蒋德明,等.科尔沁沙地 70 种草本植物个体和构件生物量比较研究[J].干旱区研究,2009,26(2):200-205.

[13] 新疆植物志编辑委员会.新疆植物志(第二卷第二分册)[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1995.

[14] 冯 涛,张刘柱,董海英.托里县农牧业气候资源开发利用前景分析[J].现代农业科技,2012,14:238,246.

[15] 中国科学院中国植被图编辑委员会.1:100 万中国植被图集[M].北京:科学出版社,2001.

[16] Xu Wenxuan, Xia Canjun, Lin Jie, et al. Diet of *Gazella subgutturosa* (Güldenstaedt, 1780) and food overlap with domestic sheep in Xinjiang, China[J]. Folia Zoologica, 2012,61:54-60.

[17] 林 杰,徐文轩,杨维康,等.卡拉麦里山有蹄类自然保护区蒙古野驴生境适宜性评价[J].生物多样性,2012,20(4):411-419.

[18] 叶卫英,尹林克,钱 翌,等.雅玛里克山植被类型及物种多样性的特征[J].新疆环境保护,2005,27(2):1-4.

[19] 李亚男,杨冬梅,孙书存,等.杜鹃花属植物小枝大小对小枝生物量分配及叶面积支持效率的影响:异速生长分析[J].植物生态学报,2008,32(5):1175-1183.

[20] 刘志国,蔡永立,李 恺.亚热带常绿阔叶林植物叶 – 小枝的异速生长[J].植物生态学报,2008,32(2):363-369.

[21] 杨冬梅,毛林灿,彭国全.常绿和落叶阔叶木本植物小枝内生物量分配关系研究:异速生长分析[J].植物研究,2011,31(4):472-477.

[22] Falster D S, Warton D I, Wright I J. SMATR: standardized major axis tests and routines. Version 1.0. <http://www.bio.mq.edu.au/ecology/SMATR>, 2003 – 08 – 15.

[23] 艾沙江·阿不都沙拉木,谭敦炎,吾买尔夏提·塔汉.新疆郁金香营养生长、个体大小和开花次序对繁殖分配的影响[J].生物多样性,2012,20(3):391-399.

[24] Raunkiaer C. Planterigets Livsformer og deres Betydning for Geografien[M]. København and Kristiania: Gyldendalske Boghandel – Nordisk Forlag, 1907.

[25] 陆时万,徐祥生,沈敏健.植物学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1991.

[26] 韩文轩,方精云.幂指数异速生长机制模型综述[J].植物生态学报,2008,32(4):951-960.