

不同种源黄花蒿生长及生物量分配

陈宗游, 蒋运生*, 韦霄, 唐辉, 王满莲, 李锋

(广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006)
中国科学院

摘要: 对都安、崇左、阳朔和融安县四个不同种源黄花蒿的生长发育状况和生物量分配进行比较, 结果表明: 黄花蒿的生长旺盛期是在5月底至7月初, 6月中旬为生长的高峰期, 这段时期内应施以重肥; 不同种源黄花蒿各功能构件生物量平均值具有相同的规律: 茎构件>叶构件>根构件; 都安种源的叶构件生物量和青蒿素含量均比其它种源的高, 综合表现最优, 是引种栽培的好种源。

关键词: 黄花蒿; 生长动态; 构件; 生物量分配

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)04-0544-05

Growth and biomass allocation of *Artemisia annua* from different seed sources

CHEN Zong-You, JIANG Yun-Sheng*, WEI Xiao,

TANG Hui, WANG Man-Lian, LI Feng

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China)

Abstract: In this paper, the growth and biomass allocation of *Artemisia annua* from Du'an, Chongzuo, Yangshuo and Rong'an were studied. The results are as follows: the growth of *A. annua* was the fastest from the end of May to early July, the peak of growth was in the middle ten days of June. In this period, more fertilizer should be applied; the mean values of all functional module biomass in different seed sources exhibited same regularity; stem modules>leaf modules>root modules; the seed source of *A. annua* in Du'an which leaf module biomass and artemisinin content were highest in all seed sources, was excellent.

Key words: *Artemisia annua*; growth dynamic; module; biomass allocation

黄花蒿(*Artemisia annua*)即中药青蒿,与分类学上的青蒿(*A. apiacea*),同属菊科(Asteraceae)蒿属一年生草本植物(耿飒等,2002)。其性寒,味苦,具解暑、退热、止汗、凉血、截疟之功效(李锋等,1997;韦霄等,1997;吴叶宽等,2004)。从黄花蒿中提取的青蒿素是一种具过氧桥基的倍半萜内酯,抗疟机理上不同于以往使用的氯喹、甲氟喹等(王京燕,1994),对脑型疟、恶性疟、间日性疟及抗氯喹株疟有高效、速效、低毒的特点(韦霄等,1997)。目前青蒿素未发现抗药性(钟国跃等,1998),被世界卫生组织称为“世界上唯

一有效的疟疾治疗药物”(WHO,1993)。

根据植物生理及生态的原理,同种植物对不同环境生态因子长期的趋异适应结果,形成了各自具有稳定的形态或生理生态特征的不同个体群(即生态型)(钟国跃等,1998)。生态型本质上属于种内变异,各生态型之间在外观形状上不一定有明显的区别分界线,它们更多的表现在生理生化性状的差异(肖小河,1989)。另外,不同生态地域的药用植物生长、生物量和有药用价值的构件的生物量差异也很大。黄花蒿是世界广布种,具有多种生态地域,从李

收稿日期: 2007-11-20 修回日期: 2008-03-01

基金项目: 国家自然科学基金(30660222);中国科学院农办项目(KSCX2-YW-N-44-05);广西科技攻关项目(0663003);广西科学基金(0640138,0731039)
[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30660222);The Project of Agricultural Office of the Chinese Academy of Sciences(KSCX2-YW-N-44-05);Key Technologies Research and Development Program of Guangxi(0663003);Provincial Science Foundation of Guangxi(0640138,0731039)]

作者简介: 陈宗游(1980-),男,广西武宣人,研究实习员,主要从事经济植物的引种驯化和分子生物学研究,(E-mail)214524140@qq.com.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: JYS@gxib.cn)

锋等(1997)、钟国跃等(1998)和周鞠鞠等(2006)的研究来看,青蒿素含量从最低的 0.0570% 到最高的 1.0221%, 含量差异很大。因此,筛选出优良品质的生态型黄花蒿种质资源是黄花蒿引种栽培与品种选育的必需环节。李锋等(1997)和钟国跃(1998)在黄花蒿类型调查和优良种质资源筛选做了不少工作,但他们主要着重在野生种源产量和青蒿素含量的对比研究上,对于不同种源进行同一大田栽培比较的研究较少。根据广西植物研究所 20 世纪 70 年代和 90 年代对广西黄花蒿资源调查结果,我们选择都安、崇左、阳朔和融安县等地四个青蒿素含量较高的种群子代栽培于同一大田上,从生长及生物量分配的新角度对不同生态型的种质资源的黄花蒿进行比较研究,探讨黄花蒿的生长规律和植株对各功能构件生物量的投资状况,为黄花蒿的引种栽培和良种选育提供更多的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地选在桂林植物园经济植物引种驯化园内,位于 110°17' E, 25°01' N, 海拔 150 m, 年均气温 19.2 °C, 极端高温 40 °C, 极端低温 -5.5 °C, 冬季有霜冻, 偶见雪。年均降雨量 1 865.7 mm, 多集中于春、夏, 年相对湿度 78%, 土壤为砂页岩及第四纪红土发育的酸性土壤, pH 5.0~6.0。0~35 cm 深的土壤营养成分含量: 有机碳 0.663 1%, 有机质 1.1431%, 全氮 0.1175%, 全磷 0.1131%, 全钾 3.0661%。

1.2 试验材料和方法

种子于 2005 年 11 月中旬分别来自广西的都安、融安、崇左、阳朔四个青蒿素含量较高的地域(以下分别简称: 都安种、融安种、崇左种和阳朔种)。2006 年 1 月上旬在薄膜拱棚中播种, 3 月中旬选择大小和健壮度一致的幼苗移栽, 移栽时以来自不同生态地域的种质资源设置 4 个处理, 每处理重复 4 次, 每重复为一小区, 每小区 20 株, 采用单因素随机区组设计。4 月下旬摘心打顶, 5 月上旬(8 日), 每个小区选择 4 株开始测量其生长量, 以后每半个月测 1 次, 直到收割(8 月 6 日)为止; 收割时将测定的植株连根挖起, 洗净全株, 晾干水分, 带回实验室, 每株按根、茎、叶分开, 称重; 此后在 105 °C 杀青 30 min, 85 °C 烘干至恒重, 称重。收获生物量的同时,

各处理另取叶片采用柱前衍生-RP-HPLC 法测定青蒿素含量(刘金磊等, 2007)。

1.3 参数处理

平均冠幅=(王先之等, 2004); 植株含水量=(植株鲜重-植株干重)/植株鲜重(王晓玲等, 2006); 叶比重=叶生物量(干重)/植株总生物量(干重)(王晓玲等, 2006); 平均日增长量 $E = (E_t - E_0)/t$ 。E_t 为生长 t d 后的(株高、地径和冠幅)的生长量, E₀ 为植株的(株高、地径和冠幅)初始生长量, t 为两次测量的时间间隔(陈昌生等, 2007)。用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同生态型黄花蒿植株的各项指标的差异; 并用相关性分析法和线性回归分析法确定黄花蒿叶生物量与总生物量的关系, 从而进一步判断叶生物量与种源的关系。以上三种分析均采用 SPSS 统计软件(SPSS for windows 11.0)。曲线和柱形图分别用 Microsoft Excel 和 SigmaPlot 9.0 绘制。

2 结果与分析

2.1 生长的动态变化

2.1.1 所有生态地域种源黄花蒿的株高生长量变化曲线 在 5 月 23 日之前曲线的斜率比较低, 5 月 23 日后曲线斜率开始升高, 6 月 7 日后进一步升高, 曲线斜率达最大, 之后曲线斜率开始回落, 7 月 7~22 日的曲线斜率达最低, 之后又反弹上升。曲线的斜率变化以“低—高—低—高”的波浪式节奏进行(图 1:a), 由此可知, 所有生态地域种源黄花蒿的株高整个发育进程以“慢—快—慢—快”节奏进行, 从株高的日均增长量(表 1)亦可以看出这样的发育进程。6 月中旬为黄花蒿株高生长最快的时期。所有的生态地域种源中, 6 月下旬之前阳朔种的株高一直低于其它三个种, 之后开始攀升, 最终超过都安和崇左种; 都安、融安和崇左种在 6 月 7 日之前高度基本一致, 6 月 7 日之后融安种的株高比另外两个种高。由表 2 可知, 收割时(8 月 6 日)的四个种源黄花蒿的株高差异不显著, 株高从高到低依次为: 融安种、阳朔种、崇左种、都安种。

2.1.2 基径的生长动态 在整个测量的生长期内融安、崇左和阳朔这三个生态地域种源的基径大小很接近, 而都安种的基径则比前三者的大(图 1:b)。方差分析表明(表 2), 到收割日期(8 月 6 日)时, 基径大小存在显著差异, 都安种的基径显著大于其它

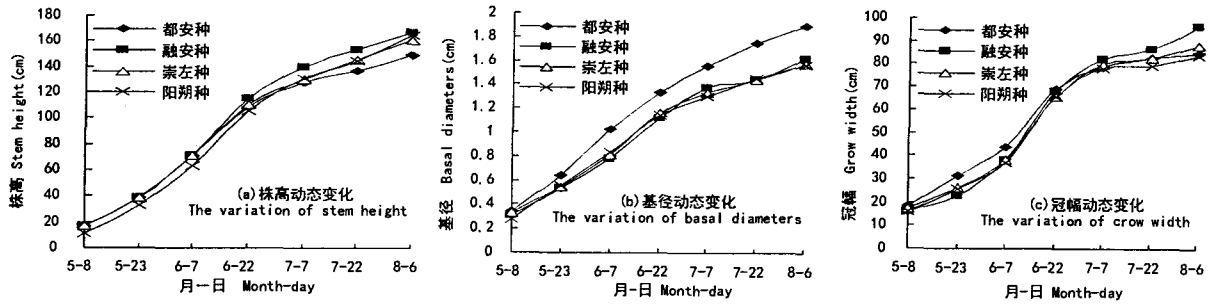


图 1 不同种源黄花蒿生长动态图

Fig. 1 The curves of the growth variation of *Artemisia annua* from different seed sources

表 1 不同种源黄花蒿株高、基径和冠幅在不同生长时期的平均日增长量 (单位: $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)

Table 1 The average daily growth-increased of stem height, basal diameters and crow width of *Artemisia annua* from different seed sources in different growth time

项目 Item	种源 Seed sources	日期(日/月~日/月) Date(day/month-day/month)					
		8/5~23/5	23/5~7/6	7/6~22/6	22/6~7/7	7/7~22/7	22/7~6/8
株高 Stem height	都安种	1.483±0.473	2.125±0.303	2.495±0.724	1.353±0.507	0.574±0.687	0.835±0.475
	融安种	1.460±0.332	2.125±0.435	2.945±0.485	1.677±0.741	0.887±0.597	0.913±0.652
	崇左种	1.440±0.530	2.135±0.457	2.628±0.575	1.337±0.446	1.003±0.769	1.090±0.642
	阳朔种	1.397±0.420	2.053±0.731	2.820±0.550	1.700±0.538	0.900±0.783	1.413±0.665
基径 Basal diameters	都安种	0.021±0.007	0.025±0.012	0.021±0.013	0.015±0.009	0.013±0.009	0.010±0.009
	融安种	0.015±0.003	0.017±0.004	0.023±0.006	0.017±0.009	0.005±0.006	0.012±0.008
	崇左种	0.015±0.004	0.018±0.005	0.023±0.008	0.012±0.003	0.007±0.006	0.009±0.007
	阳朔种	0.019±0.005	0.018±0.008	0.021±0.006	0.011±0.003	0.010±0.009	0.008±0.007
冠幅 Crow width	都安种	0.836±0.204	0.835±0.373	1.705±0.519	0.638±0.285	0.254±0.321	0.165±0.254
	融安种	0.453±0.210	1.024±0.223	1.972±0.314	0.938±0.359	0.381±0.383	0.661±0.678
	崇左种	0.584±0.259	0.794±0.312	1.836±0.316	0.9670±0.291	0.166±0.242	0.375±0.355
	阳朔种	0.671±0.213	0.740±0.457	1.917±0.378	0.828±0.199	0.078±0.199	0.292±0.402

注: 数据为平均值±标准差。下同。 Note: Data in the table were mean standard deviation. The same below.

表 2 不同种源黄花蒿(收割时)的株高、基径、冠幅、含水量和青蒿素含量

Table 2 The stem height, basal diameters, crow width, water contents and artemisinin content of *Artemisia annua* (in harvesty time) from different seed sources

种源 Seed sources	株高(cm) Stem height	基径(cm) Basal diameters	冠幅(cm) Crow width	含水量(%) Water content	青蒿素含量(%) Artemisinin content
都安种 Du'an	149.285±21.267a	1.890±0.312a	84.687±11.297b	0.527±0.020a	0.941±0.029a
融安种 Rongan	166.95±32.930a	1.613±0.253b	96.377±15.840a	0.525±0.324a	0.868±0.021b
崇左种 Chongzuo	161.600±33.354a	1.572±0.219b	87.923±11.338ab	0.502±0.085a	0.841±0.027c
阳朔种 Yangshuo	165.400±24.202a	1.569±0.239b	83.443±15.459b	0.549±0.021a	0.676±0.021d

注: a, b 等字母表示各种源间有无显著差异 ($P < 0.05$)。下同。 Note: Small letters (a, b, etc) stand for significant difference ($P < 0.05$). The same below.

三个种的基径。从基径平均日增长量(表 1)可知,整个生长期中都安种的基径在 5 月 23 日至 6 月 7 日的时间段里长得最快,融安和崇左种的基径生长高峰期出现在 6 月 7~22 日,而阳朔种的基径生长则分别在 5 月 8~23 日和 6 月 7 日至 6 月 22 日间出现有两峰值,6 月 7~22 日是阳朔种基径生长最快的时期。

2.1.3 冠幅的生长动态 6 月 22 日前,融安、崇左和

阳朔三个生态地域种源的冠幅大小接近,都安种源则比它们大,6 月 22 日之后都安种的冠幅大小则和崇左、阳朔的差不多,而融安种则比它们三个种大。到收割时,四个种的冠幅从大到小顺序:融安种、崇左种、都安种、阳朔种(图 1:c)。其中融安种显著大于都安种和阳朔种,融安种和崇左种差异不显著,都安、崇左、阳朔三个种间差异也不显著(表 2)。融安、崇左和阳朔三个种源的冠幅生长量变化曲线的

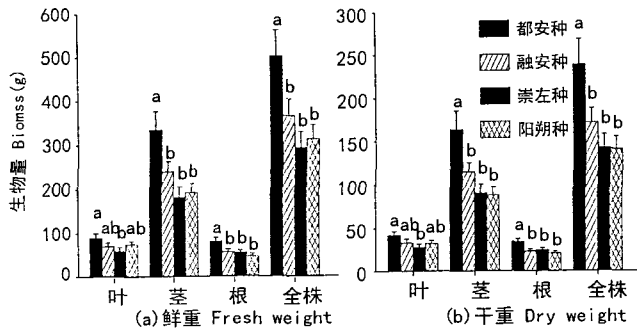


图2 不同种源黄花蒿各构件生物量

Fig. 2 The different part biomass of *Artemisia annua* from different seed sources

斜率变化跟株高生长量变化曲线的斜率变化相似,以“低—高一低—高”的波浪式节奏进行,所以冠幅整个发育进程也以“慢—快—慢—快”的节奏进行,而都安种的冠幅整个发育进程则以“快—慢—快—慢”的节奏进行,表1的冠幅平均日增长量亦反映出这样的发育节奏。

2.2 生物量的分配

2.2.1 各功能构件的生物量 不同种源的黄花蒿各功能构件(包括全株)的生物量均有所不同。如图2所示,四个生态地域种源中,无论是全株生物量,还是根、茎、叶的生物量均以都安种的最高,除叶构件之外,其各功能构件(包括全株)的生物量显著高于其它三个种。四个种源在叶构件生物量中,除了都安和崇左两个种源间差异显著外,其余两两之间差异不显著。干重条件下,生物量从大到小排序如下:根构件为都安种、崇左种、融安种、阳朔种,茎构件为都安种、融安种、崇左种、阳朔种,叶构件为都安种、融安种、阳朔种、崇左种。由于青蒿素主要蕴含于叶构件,根、茎构件的青蒿素含量很少,所以生产黄花蒿在选择生态型种源时,除了考虑青蒿素含量因素之外还要考虑其叶构件的生物量。无论是在鲜重状态还是在干重状态下,四个生态地域种源黄花蒿各功能构件生物量平均值均具有相同的规律:茎构件>叶构件>根构件,其中叶构件和根构件的生物量比较接近。

2.2.2 叶生物量和总生物量的关系 不同种源的黄花蒿叶比重有所不同,四个生态型地域种源中以阳朔种的叶比重最大,显著大于其它三个种源,其次为融安种,崇左种和都安种依次居后(图3)。进一步分析表明,在不同生态地域种源条件下,黄花蒿的叶生物量与总生物量之间存在极显著相关(双尾假设

检验,pearson 相关系数 $r=0.082, P<0.001$)和线性回归关系($r^2=0.779, P<0.001, y=4.926+0.166x$),说明黄花蒿叶生物量在不同生态地域种源间的差异主要是由于总生物量在不同生态型种源间的差异而引起的,种源不同叶生物量亦不同。

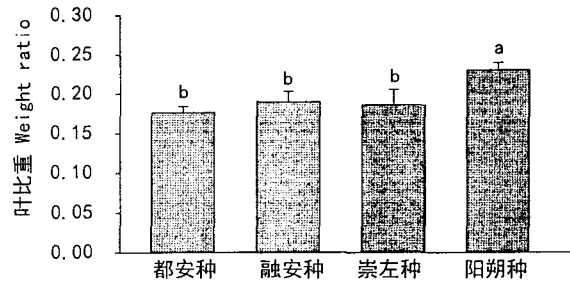


图3 不同种源黄花蒿叶比重

Fig. 3 The leaf weight ratio of *Artemisia annua* from different seed sources

2.3 含水量和青蒿素含量

四个生态地域种源的含水量相近,没有存在显著差异(表1)。青蒿素含量从高到低的排序为:都安种、融安种、崇左种、阳朔种。不同种源黄花蒿的青蒿素含量差异显著,其中都安种的含量显著大于其它三个种,融安种显著大于崇左种和阳朔种,崇左种显著大于阳朔种。

3 结论与讨论

黄花蒿的生长旺盛期是在5月底至7月初,6月中旬为生长的高峰期。这段时期里黄花蒿的生长需要消耗大量的营养,是施肥的关键时期,要施以重肥,以速效肥为主,也可以结合培土是施用农家肥。

在本试验中,四个生态型种源黄花蒿各功能构件生物量有一个共同规律:茎构件>叶构件>根构件,其中叶构件和根构件的生物量比较接近。自20世纪70年代初植物种群构件理论(Harper & White, 1974)提出以来,关于植物种群构件水平的研究一直是个热门的研究方向。当前,构件生物量结构及特性等研究已成为植物种群生态学研究的一个前沿课题(韩忠明等,2006)。植物体所增加的生物量在各构件之间分配不均匀,在构件水平上有所“偏斜”(张文辉等,2003)。植物个体构件生物量是植物与环境因素共同作用的结果(苏智先等,1991;韩忠明等,2006),植物在不同环境(马万里等,1998;

董鸣等,2000;于飞海等,2002),有不同的生长分配策略,其具备的功能平衡作用使之在外界环境改变或受到干扰的情况下能改变自身生物量投资方式(Genard等,1998;孙书存,2000)。低土壤水分有利于增大光合产物向根系分配份额,高土壤水分有利于地上部分发育(单长卷;2006);遮荫使植物的叶比重增加,而根比重降低(王晓玲等,2006)。黄花蒿药用价值的部分主要为叶构件,在生产过程当中是否可通过调节水分、遮荫等手段改变黄花蒿的生态环境以促使植株的生物量投资向叶构件偏斜,从而达到提高黄花蒿叶生物量的目的,有待进一步的深入研究。

不同生态型种源黄花蒿对异地栽培环境的适应能力、各功能构件生物量、青蒿素含量等均有所不同。目前黄花蒿的生产主要以提取叶构件中的青蒿素为目的,所以在黄花蒿的品种选育和引种栽培中应选择叶构件生物量和青蒿素含量达最优组合的生态型作为种源。四个生态型种源种中,以都安生态型种源综合表现最优,其叶构件生物量、青蒿素含量均为四个生态型种源之首,其次为融安生态型种源,其余的两个生态型种源则表现为差一些。因此,都安种源是引种栽培的好种源。

参考文献:

- 王京燕. 1994. 青蒿素及其衍生物的抗疟机理[J]. 中草药, 25(3):152-155
- 肖小河. 1989. 中药材品质变异的生态生物学的探讨[J]. 中草药, 20(8):42
- 吴叶宽, 李隆云, 钟国跃. 2004. 青蒿的研究进展[J]. 重庆中药研究, (2):58-64
- 周翱翔, 郑文欣, 葛发欢. 2006. HPLC-ELSD法测定青蒿中青蒿素的含量[J]. 中药材, 29(3):243-244
- 钟国跃, 周华蓉, 凌云, 等. 1998. 黄花蒿优质种质资源的研究[J]. 中草药, 29(4):264-266
- Chen CS(陈昌生), Xu Y(徐燕), Ji DH(纪德华), et al. 2007. A preliminary study on cultivation of the crossbred *Porphyra haitanensis* thallus and their economic characteristics(坛紫菜品系间杂交藻体选育及经济性状的初步研究)[J]. *J Fisheries of China*(水产学报), 31(1):97-104
- Dong M(董鸣), Zhang SM(张淑敏), Chen YF(陈玉福). 2000. Clonal plasticity in responses to nutrient availability in the stoloniferous herb, *Duchesnea indica*(匍匐茎草本蛇莓对基质养分条件的克隆可塑性)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), 42(5):518-522
- Genard M, Pages L, Kervella J. 1998. A carbon balance model of peach tree growth and development for studying the pruning response[J]. *Tree Physiol*, 18(1):351-362
- Geng S(耿飒), Ye HC(叶和春), Li GF(李国风), et al. 2002. Physiological and biochemical characteristics of *Artemisia annua* and its research progress(中药青蒿的生理生化特征及其研究进展)[J]. *Chin J Appl Environ Bot*(应用与环境生物学报), 8(1):90-97
- Harper JL, White J. 1974. The demography of plants[J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 5:419-463
- Han ZM(韩忠明), Han M(韩梅), Wu JS(吴劲松), et al. 2006. Modules biomass structure and growth pattern of *Acanthopanax senticosus* population in different habitats(不同生境下刺五加种群构件生物量结构与生长规律)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 17(7):164-168
- Li F(李锋), Li F(韦霄), Xu CQ(许成琼), et al. 1997. The investigation on the forms of *Artemisia annua* in Guangxi(广西黄花蒿类型调查研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 17(3):231-234
- Liu JL(刘金磊), Li DP(李典鹏), Wei X(韦霄), et al. 2007. Determination of artemisinin in *Artemisia annua* with RP-HPLC(黄花蒿中青蒿素含量的 RP-HPLC 法测定)[J]. *Guihaia*(广西植物), 27(5):808-810
- Ma WL(马万里), Zhong ZC(钟章成). 1998. Morphological adaptability of clonal herb *Iris japonica* to changed light condition(克隆植物蝴蝶花在光梯度环境上的形态适应性研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 9(1):23-26
- Shan CJ(单长卷). 2006. Effect of different drought soil on water physiology and biomass of winter wheat(土壤干旱对冬小麦水分生理和生物量分配的影响)[J]. *J Triticeae Crops*(麦类作物学报), 26(2):127-129
- Su ZX(苏智先), Zhong ZC(钟章成). 1991. Studies on the biomass structure of *Neosinocalamus affinis* population in Jinyun Mt.(缙云山慈竹种群生物量结构研究)[J]. *Acta Phytocool Geobot Sin*(植物生态学与地植物学学报), 15(3):240-251
- Sun SC(孙书存), Chen LZ(陈灵芝). 2000. A preliminary study on the ecological responses of seedlings to drought and simulated defoliation in *Quercus liaotungensis*(辽东栎幼对干旱去叶的生态反应的初步研究)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 20(5):893-897
- WHO. UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases(1994-1995); the role of artemisinin and derivatives in the current treatment of malaria[R]. Report of an informal Consultation convened by WHO in Geneva. 1993-09-27-29
- Wei X(韦霄), Li F(李锋), Xu CQ(许成琼), et al. 1997. Study on biological characteristics of *Artemisia annua*(黄花蒿生物学特性研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 17(2):166-168
- Wang XZ(王先之), Li FR(李锋瑞), Zhao LY(赵丽娅). 2004. Above-ground biomass allocation pattern of *Artemisia halodendron* plants in relation to plant age(异龄差不嘎蒿地上生物量的分配格局)[J]. *J Lanzhou Univ*(兰州大学学报), 40(6):69
- Wang XL(王晓玲), Shi L(石雷), Sun JX(孙吉雄), et al. 2006. Effect of shading on growth characteristics and biomass distribution of *Liriope spicata*(遮荫对山麦冬生长特性和生物量分配的影响)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), 26(2):225-228
- Yu FH(于飞海), Dong M(董鸣), Zhang CY(张称意), et al. 2002. Phenotypic plasticity in response to salinity gradient in a stoloniferous herb *Halerpestes ruthenica*(匍匐茎草本金戴戴对基质盐分含量的表型可塑性)[J]. *Acta Phytocool Sin*(植物生态学报), 26(2):140-144
- Zhang WH(张文辉), Li H(李红), Li JX(李景侠), et al. 2003. Individual and modular biomass dynamics of *Kingdonia uninflora* population in Qinling Mountain(秦岭独叶草种群个体和构件生物量动态研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 14(4):530-534