



不同年限川贝母生物量及异速生长

吴海旭 马艳珠 成春亚 李冉 崔治家 晋玲 马毅 王振恒 王圆圆 刘立

Study on the biomass and allometry of *Fritillaria cirrhosa* of different ages

WU Haixu, MA Yanzhu, CHENG Chunya, LI Ran, CUI Zhijia, JIN Ling, MA Yi, WANG Zhenheng, WANG Yuanyuan, LIU Li

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0240>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新疆荒漠草地上和地下生物量分配格局

Distribution patterns of aboveground and underground biomass in desert grasslands in Xinjiang

草业科学. 2023, 40(5): 1201 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0608>

不同密度单播与混播禾豆牧草的生长特性及种间关系

Effects of monoculture and mixed sowing with different densities on growth characteristics and interspecific competition of *Leymus chinensis* and *Medicago sativa*

草业科学. 2023, 40(3): 740 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0256>

高寒甸植物始花期物候和生物量分配对氮添加的响应

Response of plant first flowering and biomass allocation to nitrogen addition in an alpine meadow

草业科学. 2023, 40(4): 916 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0216>

青海扁茎早熟禾形态特征与生物量对磷添加的响应

Effects of phosphorous application on the morphological characteristics and biomass yield of *Poa pratensis* var. *anceps* ‘Qinghai’

草业科学. 2022, 39(11): 2414 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0202>

科尔沁沙地4种生境少花蒺藜草表型特征和生物量分配

Phenotypic characteristics and biomass allocation of *Cenchrus pauciflorus* in four different habitats in Horqin Sandy Land

草业科学. 2023, 40(2): 329 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0163>

坡向对高寒矿区渣山恢复植物生物量和养分繁殖分配的影响

Tailings slope aspect influences biomass and nutrient reproductive allocation of restorative plants in an alpine mining area

草业科学. 2022, 39(7): 1312 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0765>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0240

吴海旭, 马艳珠, 成春亚, 李冉, 崔治家, 晋玲, 马毅, 王振恒, 王圆圆, 刘立. 不同年限川贝母生物量及异速生长. 草业科学, 2024, 41(1): 126-133.

WU H X, MA Y Z, CHENG C Y, LI R, CUI Z J, JIN L, MA Y, WANG Z H, WANG Y Y, LIU L. Study on the biomass and allometry of *Fritillaria cirrhosa* of different ages. Pratacultural Science, 2024, 41(1): 126-133.

不同年限川贝母生物量及异速生长

吴海旭¹, 马艳珠¹, 成春亚¹, 李冉¹, 崔治家^{1,2,3}, 晋玲^{1,2,3},
马毅^{1,2,3}, 王振恒^{1,2,3}, 王圆圆^{1,2,3}, 刘立^{1,2,3}

(1. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 西北中藏药省部共建协同创新中心, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省中医药研究中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 对不同年限的川贝母 (*Fritillaria cirrhosa*) 各器官称重, 比较不同栽培年限川贝母的各器官性状及生物量占比, 并进行正态性检验和方差分析, 利用标准化主轴回归分析探明川贝母的生物量积累及其异速生长规律。结果表明, 不同年限川贝母各器官生物量大小表现为鳞茎 > 叶 > 地下茎 > 根; 川贝母鳞茎及叶片生物量在第4年增长最多, 根系及地下茎生物量在第5年增长最多; 川贝母地上部分与地下部分生物量均随生长年限的增长而不断增大, 且地上部分各器官生物量间均差异显著 ($P < 0.05$)。整个生长过程中, 川贝母各器官生物量占总生物量的比例随年限增长而有所变化, 且各器官生物量与总生物量之间均正相关。除生长第5年川贝母花和果的生物量与总生物量为等速生长模式外, 其余年限川贝母各器官生物量与总生物量皆为异速生长模式, 为人工生产川贝母提供理论依据。

关键词: 川贝母; 生物量分配; 异速生长关系; 生长年限; 不同器官; 生长速率; 产量

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)01-0126-08

Study on the biomass and allometry of *Fritillaria cirrhosa* of different ages

WU Haixu¹, MA Yanzhu¹, CHENG Chunya¹, LI Ran¹, CUI Zhijia^{1,2,3}, JIN Ling^{1,2,3},
MA Yi^{1,2,3}, WANG Zhenheng^{1,2,3}, WANG Yuanyuan^{1,2,3}, LIU Li^{1,2,3}

(1. Gansu University of Chinese Medicine School of Pharmacy, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2. Northwest Collaborative Innovation Center for Traditional Chinese Medicine Co-constructed by Gansu Province & MOE of PRC, Lanzhou 730000, Gansu, China;

3. Gansu Traditional Chinese Medicine Research Center, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: In this study, the organs of *Fritillaria cirrhosa* cultivated for different growth years were weighed, their characteristics and biomass proportions were compared, and normality tests and variance analysis were conducted. The regularity of biomass accumulation and allometric growth of *F. cirrhosa* was studied using Standardized Major Axis (SMA) regression analysis. We found that the biomass values of the organs of *F. cirrhosa* at different ages followed the order: bulb > leaf > underground stem > root. The biomass of bulbs and leaves increased the most during the fourth year, and the biomass of roots and underground stems increased the most during the fifth year. The biomass of the above- and belowground parts of *F. cirrhosa* increased with an increase in growing years, and the biomass of the aboveground parts was significantly different

收稿日期: 2023-04-30 接受日期: 2023-07-24

基金项目: 甘肃省高等学校创新基金项目 (2021A-083); 兰州市科技发展指导性计划项目 (2020-ZD-57); 甘肃省教育厅双一流科研重点项目 (甘学位函 (2021) 4 号)

第一作者: 吴海旭 (1997-), 男 (满族), 河北滦平人, 在读硕士生, 研究方向为中药资源保护、评价与可持续利用。E-mail: demon949@163.com

通信作者: 崔治家 (1980-), 男, 甘肃靖远人, 教授, 硕士, 研究方向为药用植物多样性及中药资源开发利用。E-mail: zhijiacui@126.com

($P < 0.05$). During plant growth, the ratio of the biomass of each organ to the total plant biomass changed, and there was a positive correlation between the biomass of each organ and the total biomass. Except for the five-year-old flower and fruit biomass and total biomass, the biomass and total biomass of all organs of *F. cirrhosa* in the other years showed allometric growth patterns, which provides a theoretical basis for their artificial production.

Keywords: biomass allocation; Liliaceae; allometric growth relationship; growth years; different organs; growth rate; yield

Corresponding author: CUI Zhijia E-mail: zhijiacui@126.com

川贝母 (*Fritillaria cirrhosa*) 是我国传统名贵中药川贝母 (*F. cirrhosae*) 的基原植物之一, 为百合科贝母属多年生草本植物, 常生于海拔 3 000~4 600 m 的高山草甸、杜鹃灌丛、山坡林下中^[1]。川贝母生长环境苛刻、生长年限长、自然繁殖系数低、种苗繁育难度大^[2-3]。近年来, 川贝母野生资源量减少, 自然更新缓慢, 2021 年《国家重点保护野生植物名录》^[4] 将川贝母列为国家二级重点保护野生植物。为此, 各地陆续开展川贝母的人工栽培工作。

植物异速生长反映植物整体与各部分间的关系, 是植物相对生长速率的一种适应^[5-6], 将环境对植物的影响反映在生物量的分配有助于了解植物在不同环境下的变化^[7]。异速生长关系作为连接植物生物量分配与器官大小的重要指标, 揭示植物器官生物量分配的规律, 已有较多研究表明植物的异速生长与施肥处理^[8-9]、生长环境^[10-11]、生长阶段^[12-14]、植物种类^[15]、种植密度^[16] 等因素密切相关。异速生长规律成为植物生物量分配特征研究的重要指标^[17]。

生物量作为植物生长过程中能量积累的基本指标, 是生态系统物质循环及能量流动的基础, 对植物生物学特征和功能性状的研究有重要价值^[18-19]。生物量分配指植物生长过程其光合作用产物在植物体不同器官的分配比例, 是适应异质生境而形成的一种生态策略, 是植物生殖与生存平衡的结果^[20-21]。目前, 贝母属植物生物量分配研究主要针对不同海拔^[22]、施肥处理^[23] 及坡向^[24] 等方面。尽管对不同因素影响下的贝母属植物生物量的分配特征已有分析, 但关于不同年限川贝母各器官的生物量分配研究尚未见报道, 同时忽略了各器官生物量之间的异速生长关系。因此, 本研究通过分析不同生长年限的川贝母生物量分配特征, 探讨各器官生物量与总生物量关系, 以期进一步了解川贝母的生长动态变化规律, 为川贝母资源的深度开发利用及产业化发展提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省定西市临洮县辛店镇上滩村贝母试验基地 (103°58'59.28" E, 35°40'41.16" N, 海拔 2 735 m), 地处祁连山系东缘马衔山南坡山脚, 温带大陆性气候, 年均温 8 °C, 最高气温 35.5 °C, 最低气温 -20.7 °C, 年均降水量 401.7 mm, 无霜期 180 d。试验田土壤肥沃、排灌方便, 其土壤条件、喷灌系统、遮光系统、田间管理等条件均一。

1.2 试验设计

本研究于 2022 年 6 月在临洮试验地采挖植株外观符合生长 1~5 年植株特征^[25] 的川贝母各 15 株, 去除植株表面泥土, 将各植株按根、鳞茎、地下茎、地上茎、叶、花梗、花等器官进行分离, 于 65 °C 烘干至恒重后使用万分之一电子天平称重不同年限川贝母各器官生物量。

1.3 数据处理与统计分析

采用 Excel 2021 软件分析数据并作图, 采用 SPSS 26.0 软件对不同年限川贝母各器官生物量进行正态性检验和方差分析。使用 R 3.4 中的“smatr”软件包进行标准化主轴回归分析 (standardized major axis regression) 对川贝母的生物量积累和生长发育规律进行异速生长分析。其异速生长方程为 $\log y = a \log x + b$ 。式中: y 为总生物量, x 为川贝母的根、鳞茎、地下茎、地上茎、叶、花(果)、花梗生物量, a 为方程斜率即异速生长指数, b 为方程的截距, 当 $a = 1$ 时, 可认为是等速生长; 当 $a \neq 1$ 时, 为异速生长^[26]。

2 结果与分析

2.1 不同年限川贝母形态特征

川贝母从种子萌发到开花结果, 一般经过 4~

5 个生长时期, 生长发育前期(1~4 年)为营养生长阶段, 生长发育后期营养生长与生殖生长并进, 且每一生长时期植株形态各不相同(图 1)。

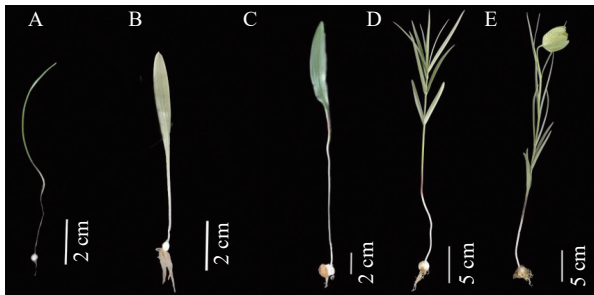


图 1 不同年限川贝母各器官形态特征图

Figure 1 Morphological characteristics of *Fritillaria cirrhosa* cultivated for different years

A, 1 年; B, 2 年; C, 3 年; D, 4 年; E, 5 年。

A, one year; B, two years; C, three years; D, four years; E, five years.

2.2 不同年限川贝母各器官生物量

生长 1~3 年的川贝母无地上茎、花(果)及花梗, 生长 4 年的川贝母无花(果)及花梗, 生长 5 年生川贝母各器官发育完整。图 2 和表 1 为不同年限川贝母各器官生物量的分配情况。

根、鳞茎、地下茎及叶片生物量均随生长年限的增长而不断增大, 且除生长 4 年和 5 年的鳞茎无显著差异外($P > 0.05$), 其余均差异显著($P < 0.05$)。

鳞茎及叶片生物量在生长 4 年时增长最多, 根及地下茎生物量在生长 5 年时增长最多(表 1)。不同年限川贝母各器官生物量呈鳞茎 > 叶 > 地下茎 >

根的趋势(图 3)。根据各器官生物量分配结果, 各器官生物量占总生物量的比例随年限增长而变化, 其中根生物量占总生物量比例表现为生长 1 年 > 3 年 > 5 年 > 4 年 > 2 年; 鳞茎生物量占总生物量比例表现为生长 4 年 > 1 年 > 3 年 > 2 年 > 5 年; 地下茎生物量占总生物量比例表现为生长 1 年 > 2 年 > 5 年 > 3 年 > 4 年; 地上茎生物量占总生物量比例表现为生长 5 年 > 4 年; 叶生物量占总生物量比例表现为生长 2 年 > 3 年 > 1 年 > 4 年 > 5 年。

2.3 不同年限地上部分与地下部分生物量

川贝母地上部分与地下部分生物量随生长年限的增长而不断增大(图 4), 且地上部分生物量间均具有显著差异($P < 0.05$); 地下部分生物量在 1~3 年具有显著差异($P < 0.05$), 生长 4 年和 5 年川贝母地下部分生物量之间差异不显著($P > 0.05$)。不同年限川贝母地上部分与地下部分生物量比表现为生长 5 年 > 2 年 > 3 年 > 1 年 > 4 年。

2.4 不同年限川贝母各器官生物量与总生物量的关系

川贝母在整个生长过程中, 营养器官生物量(除花梗外)与总生物量极显著正相关($P < 0.01$)(图 5)。川贝母各器官生物量和总生物量之间的直线回归方程显示, 其斜率均小于 1, 且鳞茎斜率最大, 根斜率最小, 表明当川贝母的总生物量增大时, 鳞茎生物量增长最多, 根生物量增长最少。

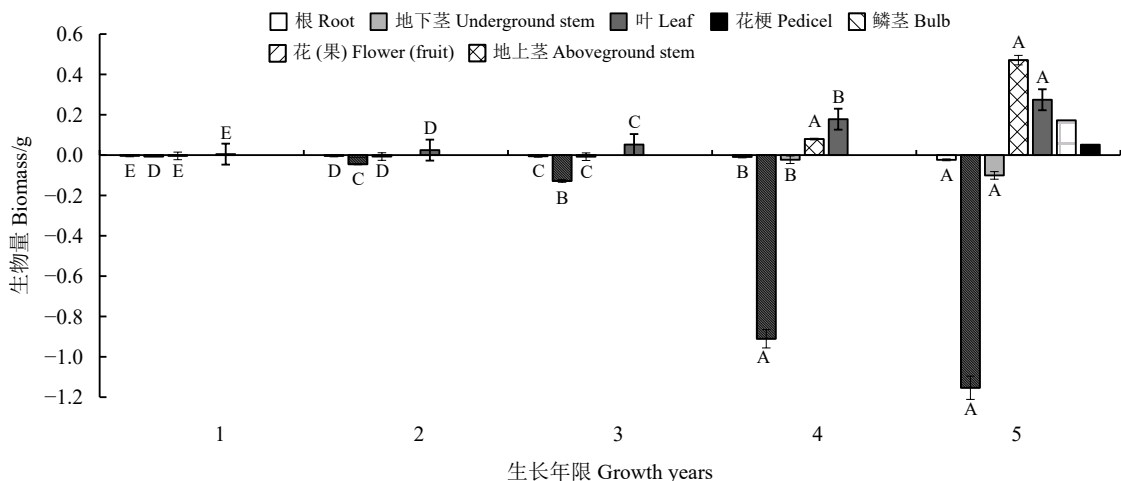


图 2 不同年限川贝母各器官生物量

Figure 2 Biomass of various organs of *Fritillaria cirrhosa* over the course of five years

纵坐标为负表示地下部分; 纵坐标为正表示地上部分; 下同。不同大写字母表示川贝母不同年限同器官生物量间显著差异($P < 0.05$)。

The negative and positive vertical axes represent the below- and aboveground parts, respectively. This is applicable for the following figures as well. Different capital letters indicate significant differences among the same organ biomass of *F. cirrhosa* in different years at the 0.05 level.

表 1 不同年限川贝母各器官生物量
Table 1 Organ biomass of *Fritillaria fritillaria* in different years

器官 Organ	1年 One year	2年 Two years	3年 Three years	4年 Four years	5年 Five years
根 Root	0.000 1 ± 0.000 0E	0.000 5 ± 0.000 1D	0.002 2 ± 0.000 3C	0.009 2 ± 0.001 6B	0.023 5 ± 0.002 5A
鳞茎 Bulb	0.003 3 ± 0.000 3D	0.045 6 ± 0.002 8C	0.128 3 ± 0.020 6B	0.910 5 ± 0.044 2A	1.153 5 ± 0.108 1A
地下茎 Belowground stem	0.000 3 ± 0.000 0E	0.003 5 ± 0.000 3D	0.007 9 ± 0.000 7C	0.023 0 ± 0.002 5B	0.100 7 ± 0.010 7A
地上茎 Aboveground stem	—	—	—	0.079 5 ± 0.006 0A	0.470 7 ± 0.039 5A
叶 Leaf	0.001 1 ± 0.000 1E	0.024 7 ± 0.001 5D	0.052 3 ± 0.002 8C	0.178 0 ± 0.009 0B	0.274 4 ± 0.018 9A
花梗 Pedicel	—	—	—	—	0.051 6 ± 0.006 7A
花(果) Flower (fruit)	—	—	—	—	0.172 5 ± 0.010 4A

同行不同大写字母表示川贝母相同器官不同生长年限间生物量存在显著差异 ($P < 0.05$)。

Different capital letters within the same row indicate significant differences in the biomass of the same *Fritillaria cirrhosa* organ between different years at the 0.05 level.

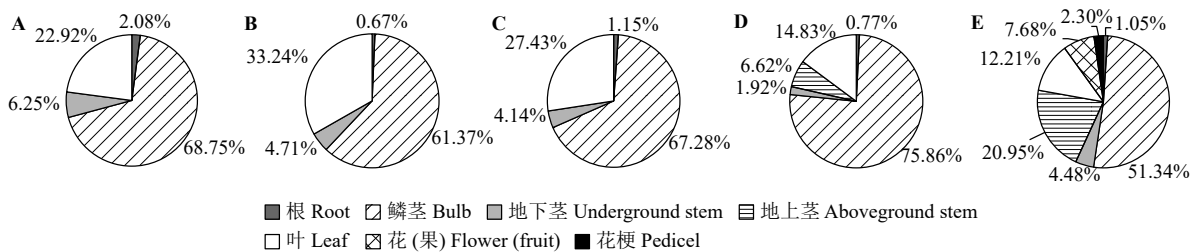


图 3 不同年限川贝母各器官生物量比例

Figure 3 Proportional biomass of various organs of *Fritillaria cirrhosa* at different years

A, 1 年; B, 2 年; C, 3 年; D, 4 年; E, 5 年。

A, one year; B, two years; C, three years; D, four years; E, five years.

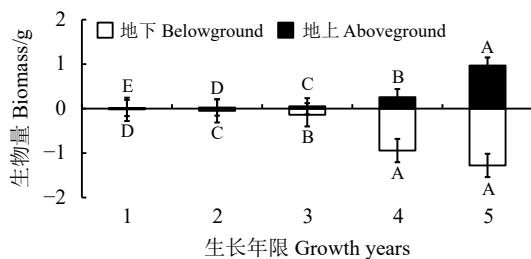


图 4 不同年限川贝母地上部分与地下部分生物量

Figure 4 Biomass of the above- and belowground parts of *Fritillaria cirrhosa* at different years

不同大写字母表示川贝母不同年限相同部位生物量间存在显著差异 ($P < 0.05$)。

Different capital letters indicate significant differences in the biomass between different years and the same parts of *Fritillaria cirrhosa* at the 0.05 level.

2.5 不同年限川贝母各器官生物量与总生物量间的异速生长关系

不同年限川贝母各器官生物量与总生物量的异速生长关系表明, 川贝母花(果)的生物量与总生物量异速方程斜率为 1.006 0 (表 2), 为等速生长模式,

除生长 1 年川贝母根生物量外, 其余不同年限川贝母各器官生物量均呈增长趋势, 其中生长 1~5 年川贝母鳞茎生物量、生长 3 年和 5 年的地下茎生物量、生长 5 年的地上茎生物量及叶生物量均与相应年限的总生物量具有显著差异 ($P < 0.05$)。

不同年限各器官生物量增长速率不同, 鳞茎生物量在生长 4 年的增长速率最大, 地上茎生物量在生长 5 年时增长速率最大。生长 1 年的川贝母各器官增长速率为鳞茎 > 叶 > 地下茎; 生长 2 年的川贝母各器官增长速率表现为鳞茎 > 地下茎 > 根 > 叶; 生长 3 年的川贝母各器官增长速率表现为叶 > 地下茎 > 鳞茎 > 根; 生长 4 年的川贝母各器官增长速率表现为叶 > 鳞茎 > 地上茎 > 地下茎 > 根; 生长 5 年的川贝母各器官增长速率表现为花(果) > 叶 > 地上茎 > 鳞茎 > 地下茎 > 花梗 > 根。

3 讨论与结论

本研究结果表明川贝母在整个生长过程中, 各

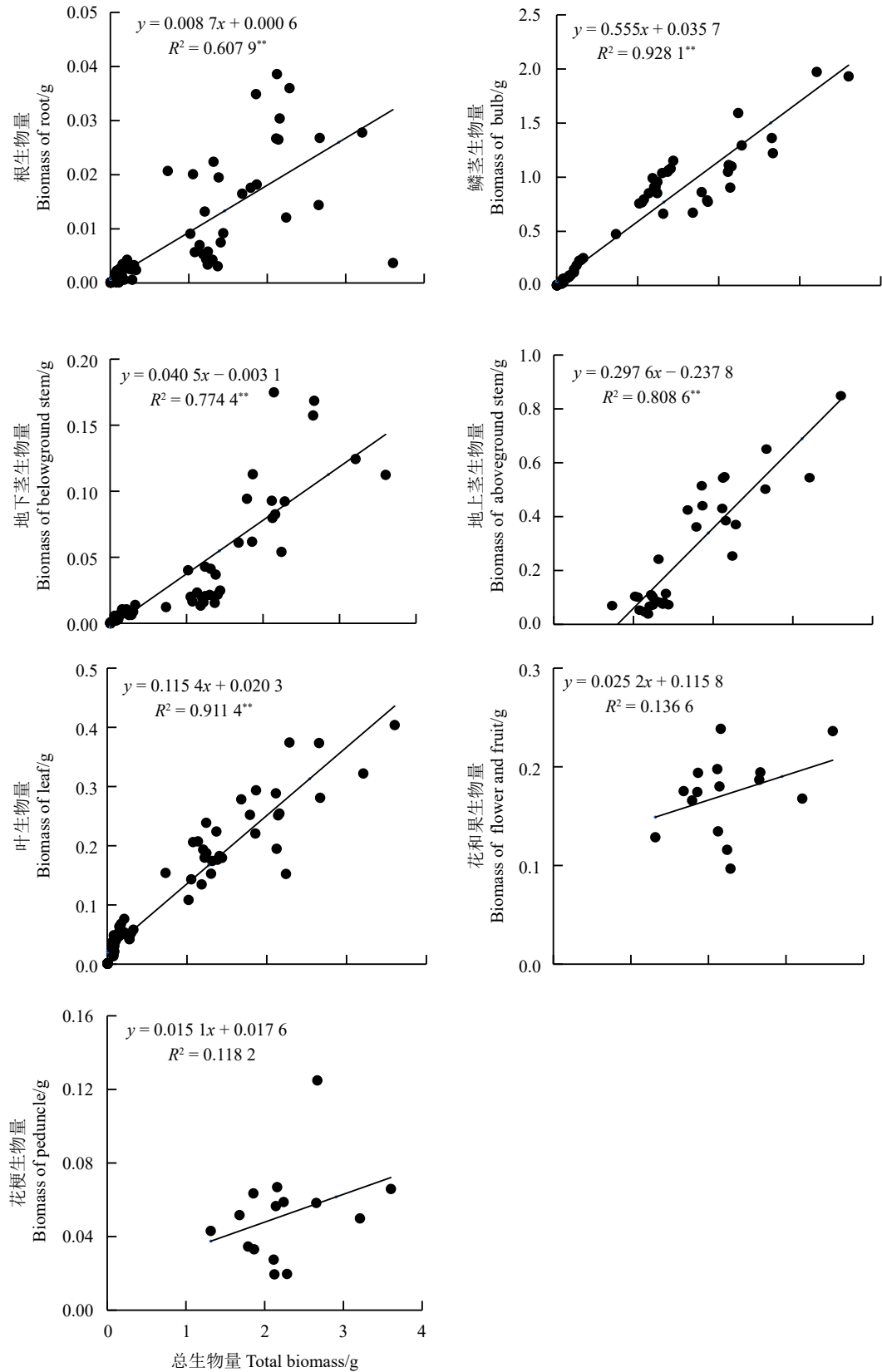


图 5 川贝母各器官生物量与总生物量的关系

Figure 5 Relationship between the organ biomass and total biomass in *Fritillaria cirrhosa*

**表示各器官生物量与总生物量间差异极显著 ($P < 0.01$), R^2 为直线回归方程的拟合系数。

**indicate significant difference at the 0.01 level, R^2 indicates the fitting coefficient of linear regression equation.

表 2 不同年限川贝母总生物量 (y) 与各器官生物量 (x) 的拟合方程及显著性检验
 Table 2 Simulated equations and significance test between the total biomass (y) and biomass of various organs (x) of *Fritillaria cirrhosa* at different years

年限 Growth year	异速关系 Allometric relationship	拟合方程 Fitted equation	R^2	P
	根生物量与总生物量 Root biomass and total biomass	—	—	—
1	鳞茎生物量与总生物量 Bulb biomass and total biomass	$\log y = 0.723\ 3 \log x - 0.523\ 8$	0.892	0.000
	地下茎生物量与总生物量 Belowground stem biomass and total biomass	$\log y = 0.321\ 8 \log x - 1.150\ 9$	0.049	0.426
	叶生物量与总生物量 Leaf biomass and total biomass	$\log y = 0.674\ 6 \log x - 0.326\ 1$	0.029	0.544
2	根生物量与总生物量 Root biomass and total biomass	$\log y = 0.244\ 6 \log x - 0.319\ 9$	0.000	0.943
	鳞茎生物量与总生物量 Bulb biomass and total biomass	$\log y = 0.539\ 4 \log x - 0.402\ 8$	0.749	0.000
	地下茎生物量与总生物量 Belowground stem biomass and total biomass	$\log y = 0.423\ 5 \log x - 0.083\ 2$	0.213	0.083
3	叶生物量与总生物量 Leaf biomass and total biomass	$\log y = -0.494\ 5 \log x - 1.933\ 1$	0.004	0.817
	根生物量与总生物量 Root biomass and total biomass	$\log y = 0.504\ 3 \log x + 0.635\ 3$	0.062	0.370
	鳞茎生物量与总生物量 Bulb biomass and total biomass	$\log y = 0.610\ 6 \log x - 0.155\ 0$	0.975	0.000
4	地下茎生物量与总生物量 Belowground stem biomass and total biomass	$\log y = 1.363\ 2 \log x + 2.133\ 8$	0.350	0.020
	叶生物量与总生物量 Leaf biomass and total biomass	$\log y = 2.483\ 9 \log x + 2.43\ 8\ 6$	0.127	0.192
	根生物量与总生物量 Root biomass and total biomass	$\log y = -0.269\ 7 \log x - 0.497\ 6$	0.190	0.104
5	鳞茎生物量与总生物量 Bulb biomass and total biomass	$\log y = 0.781\ 4 \log x + 0.112\ 4$	0.961	0.000
	地下茎生物量与总生物量 Belowground stem biomass and total biomass	$\log y = 0.450\ 1 \log x + 0.824\ 8$	0.103	0.243
	叶生物量与总生物量 Leaf biomass and total biomass	$\log y = 0.820\ 2 \log x + 0.695\ 5$	0.148	0.156
5	地上茎生物量与总生物量 Aboveground stem biomass and total biomass	$\log y = 0.530\ 3 \log x + 0.667\ 3$	0.025	0.575
	根生物量与总生物量 Root biomass and total biomass	$\log y = -0.429\ 4 \log x - 0.383\ 7$	0.147	0.158
	鳞茎生物量与总生物量 Bulb biomass and total biomass	$\log y = 0.724\ 8 \log x + 0.311\ 7$	0.837	0.000
5	地下茎生物量与总生物量 Belowground stem biomass and total biomass	$\log y = 0.597\ 3 \log x + 0.955\ 0$	0.409	0.010
	叶生物量与总生物量 Leaf biomass and total biomass	$\log y = 0.907\ 2 \log x + 0.861\ 7$	0.362	0.018
	地上茎生物量与总生物量 Aboveground stem biomass and total biomass	$\log y = 0.772\ 4 \log x + 0.607\ 6$	0.487	0.004
	花(果)生物量与总生物量 Flower (fruit) biomass and total biomass	$\log y = 1.006\ 0 \log x + 1.118\ 0$	0.098	0.257
	花梗生物量与总生物量 Pedicel biomass and total biomass	$\log y = 0.509\ 5 \log x + 1.019\ 0$	0.086	0.289

器官生物量随生长年限的增加而增加, 各器官生物量与总生物量之间均正相关, 且各器官生物量基本表现为鳞茎 > 叶 > 地下茎 > 根的趋势; 在整个生长过程中, 营养器官生物量 (除花梗外) 与总生物量逐年增加, 当川贝母进入生长发育后期时, 其营养器官生物量仍显著增加, 该结论与暗紫贝母 (*F. unibracteata*) 生物量变化相似^[27]。川贝母不同器官在不同生长阶段的生物量积累存在显著差异, 对不同年限川贝母生物量分配关系进行异速生长分析结果表明, 除生长第 5 年川贝母花和果的生物量与总生物量为等速生长模式外, 其余年限川贝

母各器官生物量与总生物量皆为异速生长模式, 不同年限各器官生长速率也存在差异。由此可知, 在相同环境下, 不同生长阶段川贝母的各器官发育程度存在明显差异, 其生物量的增长速率也明显不同。

植物异速生长关系反映其生长速率及其本质, 对中药种植具有重要意义。因此, 可针对在不同生长时期的川贝母进行密度、施肥和土壤微生物等因素调控以期探明其对川贝母各器官生物量分配及异速生长的影响, 进而选择合适的处理方法提高川贝母的产量, 以更好地指导人工繁育工作。

参考文献 References:

- [1] 马艳珠, 崔治家, 张小荣, 邵晶, 晋玲, 马毅, 王振恒, 刘立, 曹小洪, 雷有庭. 中药川贝母资源学与商品鉴别研究进展. *世界中医药*, 2022, 17(13): 1944-1950.
MA Y Z, CUI Z J, ZHANG X R, SHAO J, JIN L, MA Y, WANG Z H, LIU L, CAO X H, LEI Y T. Resources and identification of bulbous *Fritillariae cirrhosae*: A review. *World Chinese Medicine*, 2022, 17(13): 1944-1950.
- [2] 熊浩荣, 马朝旭, 国慧, 杨振安, 赵川, 杨刚. 川贝母野生基原植物资源分布和保育研究进展. *中草药*, 2020, 51(9): 2573-2579.
XIONG H R, MA C X, GUO H, YANG Z A, ZHAO C, YANG G. Research progress on wild source plant resources distribution and conservation of *Fritillariae cirrhosae* bulbous. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020, 51(9): 2573-2579.
- [3] CUNNINGHAM A B, BRINCKMANN J A, PEI S J, LUO P, SCHIPPMANN U, LONG X, BI Y F. High altitude species, high profits: Can the trade in wild harvested *Fritillaria cirrhosa* (Liliaceae) be sustained? *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, 15(223): 142-151.
- [4] 中华人民共和国国家林业局, 中华人民共和国农业部. 国家重点保护野生植物名录: 2021年15号令.
The State Forestry Administration, The Ministry of Agriculture. The National Key Protected Wild Plants List: 15, 2021.
- [5] NIKLAS K J. Modelling below-and above-ground biomass for non-woody and woody plants. *Annals of Botany*, 2005, 95(2): 315-321.
- [6] 程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 金美芳, 钱瑞芳. 植物代谢速率与个体生物量关系研究进展. *生态学报*, 2011, 31(8): 2312-2320.
CHENG D L, ZHONG Q L, LIN M Z, JIN M F, QIAN R F. The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2312-2320.
- [7] 李春萍, 李刚, 肖春旺. 异速生长关系在陆地生态系统生物量估测中的应用. *世界科技研究与发展*, 2007, 29(2): 51-57.
LI C P, LI G, XIAO C W. The application of allometric relationships in biomass estimation in terrestrial ecosystems. *World Science R & D*, 2007, 29(2): 51-57.
- [8] 颜廷雨, 成思丽, 胡兆柳, 徐德兵, 蔡年辉, 黄键. 外源赤霉素对去顶后云南松生物量分配的影响及异速生长分析. *林业科技通讯*, 2023(2): 19-24.
YAN T Y, CHENG S L, HU Z L, XU D B, CAI N H, HUANG J. Effects of exogenous gibberellin on biomass allocation and allometry of *Pinus yunnanensis* after topdressing. *Forest Science and Technology*, 2023(2): 19-24.
- [9] 张力斌, 何明珠, 张珂. 柠条锦鸡儿生物量分配规律与异速生长对氮、磷添加的响应. *生态学报*, 2023, 43(16): 1-10.
ZHANG L B, HE M Z, ZHANG K. Response of biomass allocation and allometric growth of *Caragana korshinskii* to nitrogen and phosphorus addition. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(16): 1-10.
- [10] 应益山, 杨丽婷, 程建新, 兰春宝, 陈双林, 郭子武. 不同生境对苦竹鞭根形态结构及其异速生长的影响. *西北植物学报*, 2022, 42(9): 1583-1590.
YING Y S, YANG L T, CHENG J X, LAN C B, CHEN S L, GUO Z W. Effect of habitats on the morphological and structural characteristic of rhizome roots of *Pleioblastus amarus* and its allometric growth. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(9): 1583-1590.
- [11] 马莉, 符德欢, 苏钦, 王丽, 蒲星宇, 李双良. 不同海拔滇重楼生物量分配及异速生长分析. *时珍国医国药*, 2023, 34(3): 697-701.
MA L, FU D H, SU T, WANG L, PU X Y, LI S L. Biomass allocation and allometry of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* with different altitudes. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2023, 34(3): 697-701.
- [12] 柳佳莹, 黄丽婷, 郑俊鸣, 荣俊冬, 陈礼光, 李士坤, 郑郁善. 毛竹不同器官化学计量的年龄动态特征及异速生长. *东北林业大学学报*, 2022, 50(9): 23-28.
LIU J Y, HUANG L T, ZHENG J M, RONG J D, CHEN L G, LI S K, ZHENG Y S. Dynamic age characteristics and allometric growth of different organ stoichiometry in *Phyllostachys edulis*. *Journal of North-East Forestry University*, 2022, 50(9): 23-28.
- [13] 石义强, 玉米提·哈力克, 艾买尔·吾斯曼. 不同生长阶段胡杨冠层垂直结构叶性状差异及异速生长关系. *东北林业大学学报*, 2023, 51(6): 6-12.
SHI Y Q, Ümüti-Halike, Wumaier-Wusiman. Differences in leaf traits and allometric growth relationships in the vertical structure of *Populus euphratica* at different growth stages. *Journal of North-East Forestry University*, 2023, 51(6): 6-12.
- [14] 王元忠, 张霁, 沈涛, 张金渝. 不同生长年限滇重楼的生物量分配与异速生长研究. *中草药*, 2022, 53(11): 3456-3462.

- WANG Y Z, ZHANG J, SHEN T, ZHANG J Y. Biomass allocation and allometry of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* with different ages. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2022, 53(11): 3456-3462.
- [15] 陈国鹏, 杨克彤, 王立, 曹秀文, 陈林生. 甘肃南部 7 种高寒杜鹃生物量分配的异速生长关系. *植物生态学报*, 2020, 44(10): 1040-1049.
- CHEN G P, YANG K T, WANG L, CAO X W, CHEN L S. Allometric relations for biomass partitioning of seven alpine *Phododendron* species in south of Gansu. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2020, 44(10): 1040-1049.
- [16] 张世航, 龚莉, 戈玉莹, 洪志, 江浩然, 刘纪元, 陶冶. 不同密度下入侵植物北美车前生物量分配与异速生长关系. *草业科学*, 2021, 38(10): 1938-1949.
- ZHANG S H, GONG L, GE Y Y, HONG Z, JIANG H R, LIU J Y, TAO Y. Biomass allocation and allometric relationships of the invasive plant species *Plantago virginica* grown at different densities. *Pratacultural Science*, 2021, 38(10): 1938-1949.
- [17] 薛海霞. 白刺生物量分配和养分含量对施肥的响应. 北京: 中国林业科学研究院硕士学位论文, 2016.
- XUE H X. The response of biomass allocation and nutrient contents of *Nitraria tangutorum* to fertilization. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2016.
- [18] LIU M, LI D, HU J, LIU D, MA Z, CHENG X, ZHAO C, LIU Q. Altitudinal pattern of shrub biomass allocation in southwest China. *PLoS One*, 2020, 15(10): e0240861.
- [19] WU J, HONG J, WANG X, SUN J, LU X, FAN J, CAI Y. Biomass partitioning and its relationship with the environmental factors at the alpine steppe in northern Tibet. *PLoS One*, 2013, 8(12): 185.
- [20] DOLEZAL J, JANDOVA V, MACEK M, LIANCOURT P. Contrasting biomass allocation responses across ontogeny and stress gradients reveal plant adaptations to drought and cold. *Functional Ecology*, 2020, 35(1): 32-42.
- [21] ENQUIST B J, NIKLAS K J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants. *Science*, 2002, 295: 1517-1520.
- [22] 马瑞丽. 农茬口和海拔梯度对甘肃贝母生物量分配及光合特性影响研究. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2020.
- MA R L. Research on effects of crop stubble and altitude on biomass allocation and photosynthetic characteristics of *Fritillaria przewalskii* Maxim. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020.
- [23] 石子建, 李建辉, 邵晓伟, 吴勇军. 硼肥施用量对浙贝母产量及其利用率的影响. *浙江农业科学*, 2019, 60(4): 657-658.
- SHI Z J, LI J H, SHAO X W, WU Y J. Effect of borax application rate on yield and utilization of *Fritillaria thunbergii*. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 60(4): 657-658.
- [24] 陈文年, 王辉, 肖小君, 陈发军, 张志勇, 齐泽民, 黄作喜. 坡向对暗紫贝母生长和繁殖特征的影响. *生态学报*, 2016, 36(24): 8174-8182.
- CHEN W N, WANG H, XIAO X J, CHEN F J, ZHANG Z Y, QI Z M, HUANG Z X. Effects of slope aspect on growth and reproduction of *Fritillaria unibracteata* (Liliaceae). *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 8174-8182.
- [25] 丁丹丹, 余强, 王晓蓉, 李西文, 向丽. 川贝母无公害仿生态栽培体系. *世界科学技术-中医药现代化*, 2019, 21(4): 775-783.
- DING D D, YU Q, WANG X R, LI X W, XIANG L. Non-pollution imitated ecological cultivation system of *Fritillaria cirrhosa*. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 2019, 21(4): 775-783.
- [26] 洪雪男, 杨允菲. 松嫩平原赖草无性系构件生长的可塑性及其规律. *草地学报*, 2019, 27(2): 371-376.
- HONG X N, YANG Y F. Plasticity and regularity on module growth of *Leymus secalinus* clones in songnen plain of Northeast China. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(2): 371-376.
- [27] 徐波, 王金牛, 石福孙, 高景, 吴宁. 青藏高原东缘野生暗紫贝母生物量分配格局对高山生态环境的适应. *植物生态学报*, 2013, 37(3): 187-196.
- XU B, WANG J N, SHI F S, GAO J, WU N. Adaptation of biomass allocation patterns of wild *Fritillaria unibracteata* to alpine environment in the eastern Qinghai-Xizang Plateau. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(3): 187-196.

(责任编辑 苟燕妮)