

Changes of Biomass Distribution and Allometric Relationships of Flue-Cured Tobacco Components with Developmental Stages

Guangliang Liu¹, Qian Xu², Jiarong Wu², Chensheng Xu², Ruqin Lai², Zhihou Chen², Guojian Zheng², Aiguo Chen^{1*}

¹Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Qingdao Shandong

²Nanping Tobacco Company, Nanping Fujian

Email: liuguangliang@caas.cn, ^{*}chenaiguo@caas.cn

Received: May 29th, 2018; accepted: Jun. 14th, 2018; published: Jun. 22nd, 2018

Abstract

This study focused on the distribution and allometric relationships of flue-cured tobacco cultivar K326 components at different developmental stages, to explore the resource utilization strategy of flue-cured tobacco across various stages and further identify the key regulating stage. The biomass root, stem and leaf of flue-cured tobacco of different developmental stages were measured by drying and weighing method in Fujian. The standardized major axis estimation method was used to examine the scaling relationships among flue-cured tobacco components. The biomass and proportion of root, stem and leaf have significant differences among different developmental stages ($P < 0.05$), especially at fast growing stage and mature stage. With the advance of stages, all the biomass of components and the biomass proportion of root and stem increased, while the proportion of leaf reduced, which was about seven times higher than root and stem at rosette stage, about four times at fast growing stage and one time at mature stage. There were significant positive correlations among root biomass, stem biomass, leaf biomass and total biomass of flue-cured tobacco at different developmental stages ($P < 0.05$). Except that the stem biomass of flue-cured tobacco was in allometric relationships with the leaf biomass and the total biomass at fast growing stage, there were isometric relationships among the biomass of root, stem, leaf and the total at various stages. The biomass accumulation rate showed that leaf was faster than the total and the total was faster than stem at fast growing stage. These results revealed the pattern of resource utilization of different developmental stages and the key regulating stage which was fast growing stage.

Keywords

Flue-Cured Tobacco, Developmental Stages, Biomass Distribution, Allometry

*通讯作者。

烤烟构件生物量分配格局及其异速生长关系随发育阶段的变化

刘光亮¹, 徐 茜², 吴佳溶², 徐辰生², 赖如勤², 陈志厚², 郑国建², 陈爱国^{1*}

¹中国农业科学院烟草研究所/农业部烟草生物学与加工重点实验室, 山东 青岛

²福建省烟草公司南平市公司, 福建 南平

Email: liuguangliang@caas.cn, chenaiquo@caas.cn

收稿日期: 2018年5月29日; 录用日期: 2018年6月14日; 发布日期: 2018年6月22日

摘 要

分析烤烟构件生物量分配和异速生长关系有助于深入理解生长发育过程中各构件的资源利用特点, 从而进一步明确烤烟生长发育的关键调控时期。采用烘干称重法和标准主轴回归方法分析了福建烤烟品种K326不同生育期的构件生物量分配格局和构件生物量间的异速生长关系。结果表明: 不同生育期烤烟根、茎、叶生物量及其分配差异显著($P < 0.05$); 随着生育期推进, 生物量增加, 根、茎生物量比例提高, 叶生物量比例降低, 叶生物量比例在各时期均高于根和茎, 团棵期是根和茎的8倍左右, 旺长期5倍左右, 成熟期2倍左右。烤烟根、茎、叶生物量之间, 以及各自与总生物量之间在各发育阶段均存在显著的正相关生长关系($P < 0.05$); 根-茎、根-叶、根-总、叶-总4组生物量间在各发育阶段均表现等速生长关系, 茎-叶和茎-总2组生物量间在团棵期和成熟期表现等速生长关系, 而在旺长期表现异速生长关系, 在旺长期生物量积累速度表现为叶 > 总 > 茎。这些结果揭示了不同发育阶段烤烟资源利用方式的特征, 且旺长期是烤烟生长发育的关键调控时期。

关键词

烤烟, 发育阶段, 生物量分配, 异速生长

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

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] [2]。生物量分配指植物生长发育过程中各器官累积的资源在总资源中所占的比例, 是植物生殖与生存的平衡和植物对异质生境适应力的重要体现[3], 表征了植物获取资源能力的调整。生物量分配受光照[4] [5]、水分[6] [7]、温度[7] [8]、营养[9] [10]和密度[11]等环境条件的影响, 其分配模式在不同生活型植物间差异亦较大[1] [12] [13] [14]。

异速生长(allometry)是指植物不同器官或不同性状之间不同比例的生长关系[15] [16] [17]。在植物生长发育过程中, 各器官呈一种明显的异速生长规律, 这是由物种遗传所决定的一种固有特性[18]。异速生长关系通过对数转化极大减弱了单纯使用生物量学特征的绝对量或比例系数所带来的波动性, 可准确揭

示植物器官生物量分配特征间与尺度无关的内在规律[1] [19] [20]。

植物异速生长的研究始于生物量分配[3] [18]。目前, 异速生长关系在研究生物体构件结构与功能特征上得到了大量应用, 其中以植物体构件(器官)生物量间的相关生长关系研究最为常见[1] [2] [21], 且研究对象以木本植物为主[22] [23] [24] [25], 针对草本植物[1] [2] [26], 尤其是农作物[3] [17] [27]方面的研究相对较少。烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)属于茄科一年生草本植物, 是我国重要的经济作物之一。烟株生物量是烤烟收获物形成的物质基础, 烤烟经济产量的大小和品质的优劣, 均依赖于生物量的大小和质量[28]。关于烤烟构件(器官)生物量分配的研究较少[29], 且其之间的相关生长关系研究未见报道。因此, 本文以福建省南平市烤烟品种 K326 为研究对象, 针对不同生育期烤烟生物量分配格局及异速生长关系开展研究, 以期探明不同生育期烤烟的生物量分配格局差异和异速生长特性, 同时明确烤烟生长发育的关键时期。本研究不仅为了解烤烟的生存策略与生态功能提供科学依据, 而且对于烤烟生产根据生长发育特点实施养分精准调控, 从而对实施精准农业和促进烟区的可持续发展具有重要意义。

2. 材料与方法

2.1. 试验品种与试验地点理化性状

试验品种为 K326, 美国于 1983 年育成, 亲本为 McNair30 × NC95, 1985 年引入我国, 1990 年全国烟草品种审定委员会认定, 现为我国广泛种植的主栽烤烟品种。试验于 2015 年、2016 年在福建省南平市烟科大横试验基地实施, 试验地点位于北纬 26°49'24.77", 东经 118°13'43.62", 地势平坦, 排灌方便, 肥力中等均衡, 质地为砂壤土, 前作为水稻。试验地点属中亚热带海洋性季风气候, 年平均气温 19.4°C, 年总降雨量 1880 mm 左右, 年均日照时数 1793 h, 烤烟大田生育期平均气温 22.4°C, 降雨量 1036 mm, 日照时数 625 h。试验地点土壤理化性状: pH 4.92, 有机质含量 40.51 g/kg, 碱解氮含量 167.90 mg/kg, 速效磷 29.58 mg/kg, 速效钾 169.75 mg/kg, 交换性镁 128.44 mg/kg。

2.2. 样品采集

于团棵期定株 9 株, 3 株用于团棵期(移栽后 45 天)取样, 3 株用于旺长期(移栽后 55 天)取样, 3 株用于成熟期(移栽后 90 天)取样。挖取整个烟株, 尽量保持整株的完整性, 然后按根、茎、叶分别杀青(105°C) 30 min、烘干(75°C)至恒重并用电子天平(精度为 0.001 g)称重, 计算总生物量及根、茎、叶生物量分配比例。其中, 成熟期茎生物量包含打掉的顶的生物量, 叶生物量包含脚叶及提前采收烟叶的生物量。

2.3. 数据分析方法

用 Excel 2016 软件对各烟株构件生物量指标等常规数据进行处理, 用 DPS16.5 软件[30]进行方差分析, 采用最小显著性差异检验(LSD 检验)方法进行多重比较。将各性状值进行对数(以 10 为底)转换, 使之满足正态分布后进行性状间异速生长关系的分析。不同构件生物量间的异速生长关系表示为 $Y = \beta X^\alpha$, 经对数转化后, 表达式为 $\log Y = \log \beta + \alpha \log X$ 其中 X、Y 代表不同的性状值, β 为标准化常数, α 为异速生长指数[19], 即方程斜率。 α 与 1.0 差异不显著时为等速关系, 即因变量和自变量呈均匀或等比例变化; α 与 1.0 差异显著为异速关系, 即因变量和自变量间为不均匀或不等比例变化[31]。当 $\alpha > 1.0$ 时, 表示 Y 的增加程度大于 X 的增加程度; 当 $\alpha < 1.0$ 时, 表示 Y 的增加程度小于 X 的增加程度。数据分析采用标准主轴回归(Standardized Major Axis, SMA)的方法[31], 由软件 SMATR Version 2.0 (<http://www.bio.mq.edu.au/ecology/SMATR/>)计算完成。通过计算残差和拟合斜率之间的相关性检验斜率 α 与 1.0 的差异性, 根据 Pitman 的方法计算方程回归斜率的置信区间[32], 并通过 Warton 和 Weber 提出的(巴特利特修正)似然比检验的方法判断回归斜率的异质性[33], 并在斜率同质时计算出共同斜率。所有统

计检验的显著水平均采用 $\alpha = 0.05$ 。相关图形制作采用 Originlab2017。

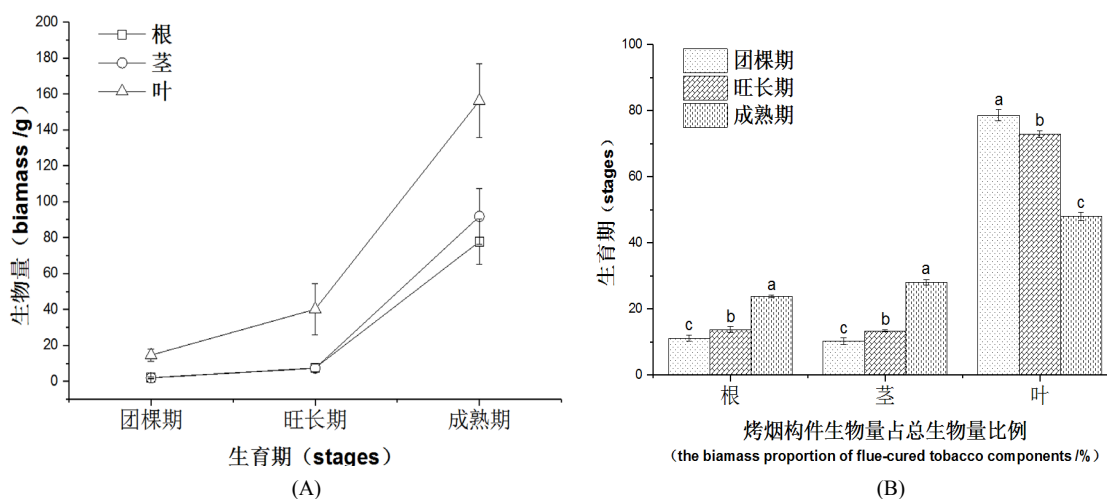
3. 结果与分析

3.1. 根、茎、叶生物量及其分配比例

生物量的积累和分配是植物生长发育特征的直接体现。由图 1(A)可以看出, 烤烟 K326 根、茎、叶自团棵期至旺长期生物量积累缓慢, 尤其是根和茎; 进入旺长期后至成熟期根、茎、叶生物量积累均迅速增加, 其中, 叶生物量积累显著高于根和茎; 叶生物量在各个时期均高于根和茎, 团棵期和旺长期根、茎生物量差异较小, 进入旺长期后, 根、茎生物量差异逐渐增大, 成熟期时茎生物量高于根生物量。不同生育期烤烟 K326 的根、茎、叶生物量分配存在显著差异(图 1(B))。根、茎生物量比例随生育期的推进而升高, 叶生物量分配比例随生育期的推进而降低。叶生物量分配比例在各时期均远高于根和茎, 团棵期是根和茎的 8 倍左右, 旺长期 5 倍左右, 成熟期 2 倍左右; 团棵期和旺长期, 根稍高于茎, 在成熟期根低于茎, 根和茎的生物量分配比例在各时期差异相对较小。

3.2. 根、茎、叶生物量间的异速生长关系

烤烟 K326 根生物量和茎生物量之间、根生物量和叶生物量之间、茎生物量和叶生物量之间在团棵期、旺长期和成熟期均表现显著的正相关关系(表 1 和图 2)。等速生长检验表明, 根生物量和茎生物量在三个时期的异速生长指数(SMA 斜率)均与 1.0 差异不显著, 表明其关系均表现等速生长关系; 根生物量和叶生物量在三个时期的异速生长指数均与 1.0 差异不显著, 表明其关系均表现等速生长关系; 茎生物量和叶生物量在团棵期和成熟期的异速生长指数均与 1.0 差异不显著, 表明其关系均表现等速生长关系; 在旺长期其异速生长指数与 1.0 差异显著, 表现异速生长关系。在团棵期、旺长期和成熟期, 根生物量和茎生物量之间的异速生长指数在 1.033~1.293, 共同的斜率为 1.054, 与 1.0 无显著差异, 表现等速生长关系; 根生物量和叶生物量之间的异速生长指数在 0.825~1.201, 共同的斜率为 1.059, 与 1.0 无显著差异, 表现等速生长关系; 茎生物量和叶生物量之间的异速生长指数在 0.799~1.098, 共同的斜率为 1.097, 与 1.0 显著差异, 表现异速生长关系。由各生育期的异速生长指数可以看出, 茎的生长速度大于根的生长速



注: 同组柱状图上不同小写字母表示差异显著($P < 0.5$)。

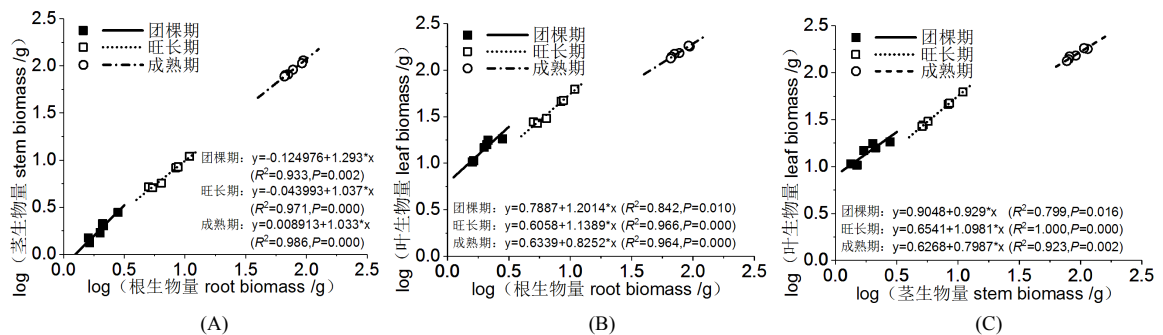
Figure 1. The biomass and proportion of root, stem and leaf of K326 in different developmental stages

图 1. K326 不同发育阶段根、茎、叶的生物量及其分配比例

Table 1. The parameters for root biomass and stem biomass of different developmental stages of K326 analyzed by Standard Main Axis (SMA) regression**表 1.** K326 不同发育阶段根、茎、叶生物量间的标准主轴(SMA)回归分析参数

项目	生育期	异速生长指数			等速生长检验	
		R^2	P	斜率	95% CI	P
根-茎	团棵期	0.933	0.002	1.293	0.909~1.839	0.115
	旺长期	0.971	0.000	1.037	0.822~1.309	0.689
	成熟期	0.986	0.000	1.033	0.877~1.217	0.610
	共同斜率		0.391	1.054	0.946~1.202	0.315
根-叶	团棵期	0.842	0.010	1.201	0.710~2.034	0.405
	旺长期	0.966	0.000	1.139	0.885~1.465	0.228
	成熟期	0.964	0.000	0.825	0.637~1.070	0.110
	共同斜率		0.090	1.059	0.799~1.291	0.659
茎-叶	团棵期	0.799	0.016	0.929	0.516~1.673	0.759
	旺长期	1.000	0.000	1.098	1.073~1.124	0.000
	成熟期	0.923	0.002	0.799	0.548~1.164	0.178
	共同斜率		0.148	1.097	1.070~1.284	0.001

根: 根生物量; 茎: 茎生物量; 叶: 叶生物量。

**Figure 2.** Allometric relationships among root, stem and stem biomass of different developmental stages**图 2.** 不同生育期根、茎、叶生物量间的异速生长关系

度; 团棵期和旺长期叶的生长速度大于根的生长速度, 成熟期反之; 团棵期和成熟期叶的生长速度小于茎的生长速度, 旺长期反之。

3.3. 总生物量与根、茎、叶生物量间的异速生长关系

烤烟 K326 总生物量和根生物量、茎生物量、叶生物量之间在团棵期、旺长期和成熟期均表现显著的正相关关系(表 2 和图 3)。等速生长检验表明, 总生物量和根生物量在各生育期的异速生长指数均与 1.0 差异不显著, 表明其关系均表现等速生长关系; 总生物量和茎生物量在团棵期和成熟期的异速生长指数均与 1.0 差异不显著, 表明其关系均表现等速生长关系, 在旺长期其异速生长指数与 1.0 差异显著, 表现异速生长关系; 总生物量和叶生物量在三个时期的异速生长指数均与 1.0 差异不显著, 表明其关系均表现等速生长关系。在团棵期、旺长期和成熟期, 根生物量和总生物量之间的异速生长指数在 0.918~1.170, 共同的斜率为 0.936, 与 1.0 差异不显著, 表现等速生长关系; 茎生物量和总生物量之间的异速生长指数在 0.888~1.064, 共同的斜率为 1.063, 与 1.0 差异显著, 表现异速生长关系; 叶生物量和总生物量之间的异速生长指数在 0.969~1.112, 共同的斜率为 0.971, 与 1.0 差异不显著, 表现等速生长关系。由各时期的

Table 2. The parameters for root biomass and stem biomass of different developmental stages of K326 analyzed by Standard Main Axis (SMA) regression

表 2. K326 不同发育阶段根、茎、叶生物量间的标准主轴(SMA)回归分析参数

项目	生育期	异速生长指数			等速生长检验	
		R^2	P	斜率	95% CI	P
根 - 总	团棵期	0.895	0.004	1.170	0.757~1.809	0.386
	旺长期	0.975	0.000	1.103	0.886~1.373	0.285
	成熟期	0.996	0.000	0.918	0.841~1.001	0.051
	共同斜率		0.106	0.936	0.871~1.104	0.249
茎 - 总	团棵期	0.860	0.008	0.905	0.549~1.490	0.620
	旺长期	1.000	0.000	1.064	1.045~1.082	0.001
	成熟期	0.979	0.000	0.888	0.729~1.082	0.172
	共同斜率		0.127	1.063	1.043~1.206	0.002
叶 - 总	团棵期	0.993	0.000	0.974	0.866~1.095	0.564
	旺长期	0.999	0.000	0.969	0.936~1.002	0.060
	成熟期	0.981	0.000	1.112	0.918~1.346	0.200
	共同斜率		0.309	0.971	0.943~1.006	0.082

根：根生物量；茎：茎生物量；叶：叶生物量。

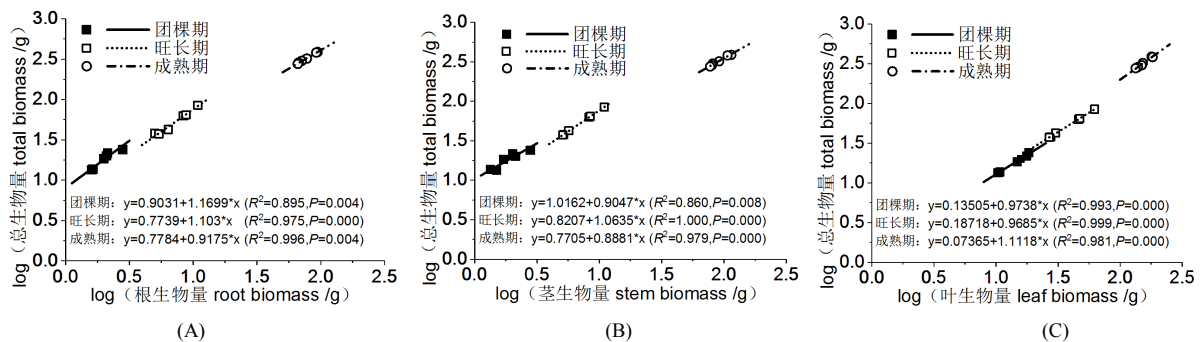


Figure 3. Allometric relationships between root, stem, leaf and total biomass of different developmental stages

图 3. 不同生育期根、茎、叶生物量与总生物量的异速生长关系

异速生长指数可以看出，团棵期和旺长期根的生物量积累速度小于总生物量的积累速度，成熟期反之；团棵期和成熟期茎的生物量积累速度大于总生物量的积累速度，旺长期反之；团棵期和旺长期叶的生物量积累速度大于总生物量的积累速度，成熟期反之。

4. 讨论

4.1. 烤烟构件的生物量分配特征

在植物个体生长发育过程中，由于各构件(器官)的功能不同，使得植物个体在不同发育阶段具有不同的资源分配对策，从而形成不同的生物量分配格局[34]。植物器官之间资源分配是一种权衡关系，光合产物和养分向某一功能器官分配的增加必然会减少对其他功能器官的分配[35]。大狼把草[2]和甘肃臭草斑块[36]的根、茎、叶在不同生长期的生物量分配存在显著差异。虽然烤烟与大狼把草、臭草斑块是不同种类植物，但本研究结果类似，烤烟根、茎、叶在不同生育期的生物量分配亦均存在显著差异。随着生育

期的推进, 烤烟根和茎生物量分配比例增加, 叶生物量分配比例下降, 成熟期叶生物量分配比例依然保持在 50%左右, 其次是茎, 再次是根, 这与李建伟等[29]的研究结果一致, 而与闫小红等[2]和党晶晶等[36]研究结果不一致, 主要是烤烟与大狼把草、臭草斑块是不同种类植物, 其生长、策略是不一样的, 烤烟是经人工长期驯化、培育的叶用经济作物, 主要收获叶片进行加工后使用。根生物量分配比例反映了植物所采取的生物量最优化分配策略, 一年生植物通常将更多的资源分配给地上部分[2], 烤烟不同生育期根生物量分配例均低于 25%, 则印证了这一结论。

4.2. 烤烟构件生物量间的相关生长关系

植物体生物学特征间的相关生长关系已通过分形分配网络模型、代谢理论等多种方法得到有力证明, 并得到大量实测数据的验证[19] [21] [37] [38]。相关生长关系与尺度无关, 揭示了不同物种间生物量分配的基本速率问题。本研究表明, 烤烟根、茎、叶生物量之间, 以及各自与总生物量之间在各发育阶段均存在显著的正相关生长关系; 且异速生长指数在各发育阶段之间无显著差异, 均具有共同的斜率, 说明尽管发育阶段不同, 但构件生物量特征之间却具有一致的协同变化规律。根 - 茎、根 - 叶、根 - 总、叶 - 总 4 组生物量间在各发育阶段均表现等速生长关系, 茎 - 叶和茎 - 总 2 组生物量间在团棵期和成熟期表现等速生长关系, 而在旺长期表现异速生长关系; 这反映了烤烟在生长过程中生物量分配的策略, 亦是烤烟生长干物质积累前期慢、中期快、后下降直至完全停止生长规律的体现。

4.3. 烤烟生长发育的关键时期

旺长期处于烤烟生长发育的中期, 是烤烟生长发育的重要时期, 此阶段烟茎迅速增高、增粗, 叶片迅速伸展, 根系扩大, 是决定烟叶产量与质量的关键时期。本研究中根、茎、叶生物量积累量随生育期推进的变化表现充分证明了这一点; 同时, 仅在旺长期、仅是茎生物量、叶生物量之间和茎生物量、总生物量之间存在异速生长关系, 这从相关生长关系方面也为旺长期的重要性提供了有力佐证。旺长期是烤烟植株体迅速增大的时期, 此时烤烟对于营养的响应尤其敏感, 因此, 对于旺长期营养的调控至关重要, 烤烟生产中须重点关注。

基金项目

福建省烟草公司南平市公司项目“南平烟草精准养分管理技术研究与应用”(NYK2015-03-03)。

参考文献

- [1] 陶冶, 张元明. 准噶尔荒漠 6 种类短命植物生物量分配与异速生长关系[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 38-48.
- [2] 闫小红, 何春兰, 周兵, 等. 不同生育期入侵植物大狼把草的生物量分配格局及异速生长分析[J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(2): 150-158.
- [3] 张丽辉, 倪秀珍, 汤庆莲. 蒲公英花期种群构件的生物量结构与异速生长分析[J]. 杂草学报, 2017, 35(1): 20-24.
- [4] Perrin, P.M. and Mitchell, F.J.G. (2013) Effects of Shade on Growth, Biomass Allocation and Leaf Morphology in European Yew (*Taxus baccata*, L.). *European Journal of Forest Research*, **132**, 211-218. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0668-8>
- [5] 王振兴, 朱锦懋, 王健, 等. 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3841-3848.
- [6] 程军回, 张元明. 水分胁迫下荒漠地区 2 种草本植物生物量分配策略[J]. 干旱区研究, 2012, 29(3): 432-439.
- [7] Yang, Y., Wang, G., Yang, L., et al. (2013) Effects of Drought and Warming on Biomass, Nutrient Allocation, and Oxidative Stress in *Abies fabri*, in Eastern Tibetan Plateau. *Journal of Plant Growth Regulation*, **32**, 298-306. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9298-0>
- [8] Wang, J., Duan, B. and Zhang, Y. (2012) Effects of Experimental Warming on Growth, Biomass Allocation, and

Needle Chemistry of *Abies faxoniana* in Even-Aged Monospecific Stands. *Plant Ecology*, **213**, 47-55.

<https://doi.org/10.1007/s11258-011-0005-1>

- [9] 朱铁霞, 乌日娜, 于永奇. 不同氮肥施用量下菊芋株高及各器官生物量分配动态研究[J]. 草地学报, 2014, 22(1): 199-202.
- [10] 赵光影, 刘景双, 王洋, 等. 大气 CO₂ 浓度升高和氮肥施用对三江平原湿地小叶章生物量及根冠比的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 38-41.
- [11] 范高华, 黄迎新, 赵学勇, 等. 种群密度对沙米异速生长的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(3): 53-64.
- [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): 54-59.
- [13] 代海军, 何怀江, 赵秀海, 等. 阔叶红松林两种主要树种的生物量分配格局及异速生长模型[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(4): 718-722.
- [14] Hossain, M.D., Hanafi, M.M., Saleh, G., *et al.* (2012) Growth, Photosynthesis and Biomass Allocation of Different Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Accessions Grown on Sandy Soil. *Australian Journal of Crop Science*, **6**, 480-487.
- [15] 黄迎新, 赵学勇, 张洪轩, 等. 沙米表型可塑性对土壤养分、水分和种群密度变化的响应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2593-2598.
- [16] 张瑞昌, 岳明. 异速生长模型及其应用概述[J]. 生物学通报, 2011, 46(8): 6-9.
- [17] 张霁, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 异速生长及其在道地药材研究中的应用展望[J]. 中国科学: 生命科学, 2013, 43(6): 457-463.
- [18] 姚婧, 李颖, 魏丽萍, 等. 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 3907-3915.
- [19] 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.
- [20] 程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等. 植物代谢速率与个体生物量关系研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2312-2320.
- [21] 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]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [22] 董点, 林天喜, 唐景毅, 等. 紫椴生物量分配格局及异速生长方程[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(4): 54-63.
- [23] 汪珍川, 杜虎, 宋同清, 等. 广西主要树种(组)异速生长模型及森林生物量特征[J]. 生态学报, 2015, 35(13): 4462-4472.
- [24] Lim, H., Lee, K.H., Lee, K.H., *et al.* (2013) Biomass Expansion Factors and Allometric Equations in an Age Sequence for Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) in Southern Korea. *Journal of Forest Research*, **18**, 316-322. <https://doi.org/10.1007/s10310-012-0353-2>
- [25] 刘坤, 曹林, 汪贵斌, 等. 银杏生物量分配格局及异速生长模型[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(4): 12-20.
- [26] 李钰, 赵成章, 侯兆疆, 等. 高寒退化草地狼毒种群个体大小与茎、叶的异速生长[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 241-246.
- [27] 秦晓梁. 小麦选育过程中根冠比值和异速生长关系的演化[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [28] 陆星星, 龚兰芳, 李明福, 等. 烤烟生物量发生潜能对干旱胁迫的响应机制[J]. 中国林副特产, 2015(6): 18-21.
- [29] 李建伟, 郑少清, 唐远驹, 等. 不同产区烤烟的生物量和主要品质特性[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(6): 54-58.
- [30] 唐启义. DPS 数据处理系统: 实验设计\统计分析及数据挖掘(第二版)[M]. 北京: 科学技术出版, 2010.
- [31] Warton, D.I., Wright, I.J., Falster, D.S., *et al.* (2006) Bivariate Line-Fitting Methods for Allometry. *Biological Reviews*, **81**, 259. <https://doi.org/10.1017/S1464793106007007>
- [32] Pitman, E.J.G. (1939) A Note on Normal Correlation. *Biometrika*, **31**, 9-12. <https://doi.org/10.1093/biomet/31.1-2.9>
- [33] Warton, D.I. and Weber, N.C. (2002) Common Slope Tests for Bivariate Errors-in-Variables Models. *Biometrical Journal*, **44**, 161-174. [https://doi.org/10.1002/1521-4036\(200203\)44:2<161::AID-BIMJ161>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1521-4036(200203)44:2<161::AID-BIMJ161>3.0.CO;2-N)
- [34] 梁艳, 张小翠, 陈学林. 多年生龙胆属植物个体大小与花期资源分配研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(12): 2400-2407.
- [35] 梁坤伦, 张洪荣, 张丽静, 等. 紫穗槐表型可塑性及植株资源分配对高寒生境的响应[J]. 草业科学, 2012, 29(3): 440-446.
- [36] 党晶晶, 赵成章, 王继伟. 高寒草地甘肃臭草斑块不同发育阶段茎-叶生物量分配: 异速生长分析[J]. 生态学杂志, 2015, 34(6): 1540-1545.

-
- [37] Niklas, K.J. (2004) Plant Allometry: Is There a Grand Unifying Theory? *Biological Reviews*, **79**, 871-889. <https://doi.org/10.1017/S1464793104006499>
- [38] Enquist, B.J. and Niklas, K.J. (2002) Global Allocation Rules for Patterns of Biomass Partitioning in Seed Plants. *Science*, **295**, 1517-1520. <https://doi.org/10.1126/science.1066360>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org