

# 能源草茎叶生物量·干鲜比及产气量预测模型构建

李晓明, 刘学忠\*, 闫亮, 张晓琳 (海南神州新能源建设开发有限公司, 海南海口 571100)

**摘要** [目的]为能源草茎叶生物量、干鲜比及产气量的估算提供简便、快捷、准确的非破坏性方法。[方法]研究能源草植后 90 d 至首次刈割时期, 茎叶生物量、干鲜比及产气量与植后天数的关系。[结果]通过模型拟合和择优得到茎叶生物量的预测模型  $W = 2.338d^{1.735}$ 、茎叶干鲜比的预测模型  $V = 20.79 - 4.174726\text{Exp}(-0.1582d)$  及茎叶产气量的预测模型  $G = 2.209d^{1.73}$ ; 生长后期茎叶干鲜比增速缓慢并逐步趋于稳定, 预测曲线显示其最终稳定在 20.77%; 茎叶产气速度随着植后天数的增加呈现出下降趋势, 二者之间呈显著的负相关。[结论]该研究通过模型拟合和择优得到茎叶生物量、干鲜比和产气量的预测模型, 拟合优度很高。

**关键词** 能源草; 茎叶生物量; 干鲜比; 产气量; 预测模型

**中图分类号** S543+.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)25-010-02

## Construction of Prediction Model of Stem and Leaf Biomass, Dry-Fresh Ratio and Gas Production of Energy Grass

LI Xiao-ming, LIU Xue-zhong\*, YAN Liang et al (Hainan Shenzhou New Energy Construction and Development Co. Ltd., Haikou, Hainan 571100)

**Abstract** [Objective] The aim was to provide a simple, rapid, accurate non-destructive method for estimation of stem and leaf biomass, dry-fresh ratio and gas production of energy grass. [Method] This study explored the relationships after planting 90 days to first harvest period between the biomass of stem and leaf, dry-fresh ratio, gas production of energy grass and the number of days after planting. [Result] Through the model fitting and preferred to get the prediction model of stem and leaf biomass  $W = 2.338d^{1.735}$ , the prediction model of dry-fresh ratio  $V = 20.79 - 4.174726\text{Exp}(-0.1582d)$  and the prediction model of gas production  $G = 2.209d^{1.73}$ ; The dry-fresh ratio of the stem and leaf growing late grows at a snail's pace and gradually tends to be stable. The prediction curve shows the final stability is at the level of 20.77%; The gas production rate of stem and leaf shows a downward trend with the increase of the number of days after planting, the significant negative correlation is presented between them. [Conclusion] Through model fitting and preferring, prediction model of stem and leaf biomass, dry-fresh ratio and gas production was obtained with high fitting degree.

**Key words** Energy grass; Biomass of stem and leaf; Dry-fresh ratio; Gas production; Prediction model

作物生物量是光合作用和呼吸作用的共同结果, 调查作物生物量及其动态变化规律对于研究干物质积累分配、产量形成、光合与呼吸特性等具有重要意义。能源草茎叶生物量、干鲜比及产气量指标是利用能源草作为原料进行沼气生产的重要指标, 它影响着沼气生产的经济性和能源草的刈割时间、次数, 因此建立非破坏性的估测方法非常必要。

应用异速生长关系间接估测植物的生物量具有非破坏性、节省劳动力和提高效率等优点, 已在木薯、苗木及灌木等方面得到了较为广泛的应用<sup>[1-5]</sup>, 但迄今为止尚未见有利用能源草植后天数预测茎叶生物量、干鲜比及产气量的报道。该研究探讨了能源草植后 90 d 至首次刈割时期茎叶生物量、干鲜比及产气量与植后天数的关系, 构建能源草的回归模型, 旨在为能源草茎叶生物量、干鲜比及产气量的估算提供简便、快捷、准确的非破坏性方法。

## 1 材料与方

**1.1 试验概况** 试验于 2016 年在海南神州新能源建设开发有限公司澄迈罗驿村能源草种植基地进行。供试材料为热研 4 号王草和巨菌草 2 个能源草品种, 1 月 7 日定植, 5 月 12 日首次刈割。能源草定植时将每条种茎截断为若干段, 每段 2 个芽眼, 水平摆放于沟内, 用沟土覆盖。能源草种植密度为株距 50 cm、行距 60 cm (株距是指相邻 2 段种茎的 2 个中心点之间的距离), 种茎芽眼总数为 66 690 个/hm<sup>2</sup>, 每个

芽眼的种植面积为 0.15 m<sup>2</sup>。

**1.2 样株选取** 能源草种茎定植后 90 d 进行第 1 次采样, 以后每间隔 8 d 采样 1 次, 首次刈割前共采样 5 次, 每次随机选取 5 个样本, 在由 2 个种植品种、施用过磷酸钙及追施沼液形成的 5 种不同栽培条件下各取 1 个样本。采样时随机选择采样行, 然后沿着采样行随机连续收割能源草植株 0.9 m<sup>2</sup> (6 个芽眼的种植面积) 作为 1 个样本, 5 次采样共获得数据完整的样本 25 个。

## 1.3 测定项目

**1.3.1 茎叶生物量及干鲜比。** 每次采样后将能源草投入机器里切碎, 混合均匀后称量样本鲜重, 选取适量茎叶样品, 称量样品鲜重, 将茎叶样品置入 80 °C 电热鼓风干燥箱内通风干燥 72 h, 冷却至恒重, 称量茎、叶样品的干物质重量, 即茎叶生物量。茎叶样品的干物质重与其鲜重的百分比即为茎叶干鲜比。

**1.3.2 茎叶产气量。** 将茎叶样品的干物质置入箱式电阻炉内 580 °C 加热 2 h, 充分燃烧后冷却至恒重, 称量茎叶样品的灰分重量, 并计算茎叶干物质的产气率和产气量, 即茎叶产气量。

**1.3.3 茎叶产气速度。** 前、后 2 次采样茎叶干物质的产气量之差, 除以采样的间隔天数, 可以得到茎叶干物质的产气速度, 即茎叶产气速度。

**1.4 数据处理** 该研究采用 SAS JMP 10.0.0 软件及 Excel 进行数据分析和模型拟合。

## 2 结果与分析

**2.1 茎叶生物量的预测模型** 采用多种直线和曲线方程对

**基金项目** 海南省科技厅资助项目 (CX20130052)。

**作者简介** 李晓明 (1974 - ), 男, 安徽霍邱人, 农艺师, 硕士, 从事作物栽培研究。\* 通讯作者, 工程师, 从事新能源研究与开发工作。

**收稿日期** 2016-06-22

植后天数与茎叶生物量的关系进行了模拟,结果表明乘幂函数关系式的拟合效果最好(图1)。通过模型拟合和择优得到茎叶生物量的预测模型: $W = 2.338d^{1.735}$ ,式中  $W$  表示茎叶生物量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), $d$  表示植后天数( $d$ )。经检验,均方根误差  $RMSE$  为 915.870 0,决定系数  $R$  为 0.856 7\*,拟合优度很高。

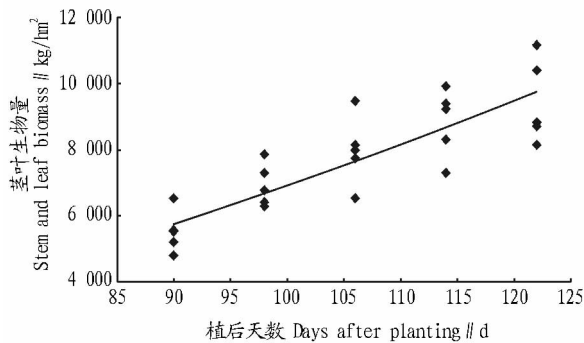


图1 茎叶生物量与植后天数的关系

Fig. 1 The relationship between stem and leaf biomass and days after planting

**2.2 茎叶干鲜比的预测模型** 采用多种直线和曲线方程对植后天数与茎叶干鲜比的关系进行了模拟,结果表明三参数指数关系式的拟合效果最好,其回归曲线呈“厂”字形(图2)。通过模型拟合和择优得到茎叶干鲜比的预测模型: $V = 20.79 - 4.174726\text{Exp}(-0.1582d)$ ,式中  $V$  表示茎叶干鲜比(%), $d$  表示植后天数( $d$ )。经检验,均方根误差  $RMSE$  为 0.717 4,决定系数  $R$  为 0.834 5\*,拟合优度很高。回归曲线显示,生长后期能源草茎叶干鲜比的增速缓慢并逐步趋于稳定。将植后天数代入预测模型,显示干鲜比最终稳定在 20.77%。

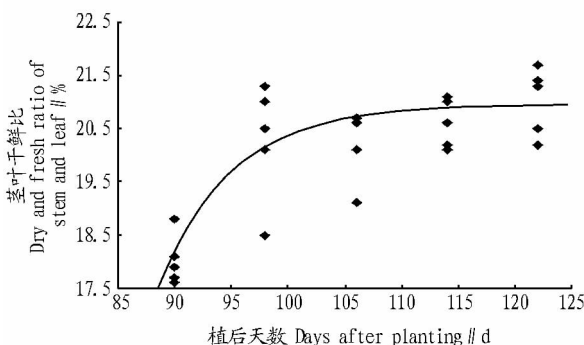


图2 茎叶干鲜比与植后天数的关系

Fig. 2 The relationship between dry and fresh ratio of stem and leaf and days after planting

**2.3 茎叶产气量的预测模型** 采用多种直线和曲线方程对植后天数与茎叶产气量的关系进行了模拟,结果表明乘幂函数关系式的拟合效果最好(图3)。通过模型拟合和择优得到茎叶产气量的预测模型: $G = 2.209d^{1.73}$ ,式中  $G$  表示茎叶产气量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), $d$  表示植后天数( $d$ )。经检验,均方根误差  $RMSE$  为 868.41,决定系数  $R$  为 0.847 9\*,拟合优度很高。

**2.4 茎叶产气速度的动态变化** 茎叶产气速度的动态变化如图4所示,能源草生长后期茎叶产气速度随着植后天数的

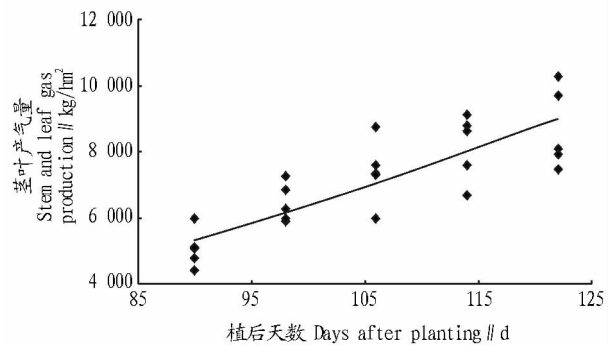


图3 茎叶产气量与植后天数的关系

Fig. 3 The relationship between stem and leaf gas production and days after planting

增加呈现出下降趋势,相关系数  $r = -0.460 7$ , $P = 0.040 9$ ,二者之间呈显著负相关。

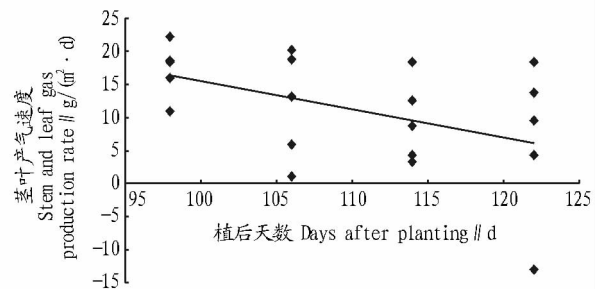


图4 茎叶产气速度的动态变化

Fig. 4 The dynamic change of stem and leaf gas production rate

### 3 结论与讨论

(1)该研究在由2个种植品种、多个施磷和沼液水平形成的不同栽培条件下取得样本,每次采样数量以及不同种植品种之间、不同施磷和沼液水平之间的采样数量相同,通过模型拟合和择优得到茎叶生物量和产气量的预测模型,决定系数  $R$  分别为 0.856 7 和 0.847 9,拟合优度很高。该预测模型是在能源草种茎定植后 90 d 至首次刈割时期构建的,首茬能源草的生长前期由于干物质积累速度较快,茎叶生物量和产气量的动态变化有可能与生长后期产生差异;第2茬能源草由于分蘖数的持续增加,其茎叶生物量和产气量的动态变化也有可能第1茬不同,这些都有待后续进一步探讨。

(2)有研究表明,对王草生物产量影响最大的是刈割频率<sup>[6]</sup>,而种植密度和施肥水平对其产量的影响不显著。也有报道指出,各牧草品种低海拔区的刈割次数为6次,中、高海拔区的刈割次数分别为5次和4次<sup>[7]</sup>。适时进行刈割,合理确定年刈割次数,对提高能源草茎叶生物产量及产气量具有积极的意义。该研究结果显示,首茬能源草茎叶干鲜比的回归曲线呈“厂”字形,生长后期干鲜比增速缓慢并逐步趋于稳定。将植后天数代入茎叶干鲜比的预测模型,显示干鲜比最终稳定在 20.77% 的水平,表明能源草干鲜比达 20.77% 时不再增加,此时进入适宜刈割期。

(3)该研究发现,能源草生长后期茎叶产气速度随着植后天数的增加呈现下降趋势,二者之间呈显著的负相关,表

(下转第 30 页)

形成魔芋球茎产量的直接因素,发病率是间接因素。生产中较高的球茎膨大倍数和产量增长倍数及较低的发病率可获得更高收益。由表3可以看出,各处理间各项指标差异较

大,即肥料使用效果差异较大。综合性状以处理⑥表现较好,即施用900 kg/hm<sup>2</sup>榕风牌1号控释肥全基肥处理发病率最低、球茎膨大倍数最大,产量增长倍数最高。

表3 各处理魔芋的农艺性状及产量表现

Table 3 The agronomic characters and yield traits of konjac in different treatments

试验年份 Test year	处理编号 Treatment code	生长中前期叶色 Leaf color in the middle and early growth stages	收挖时发病率 Incidence rate during harvesting %	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	球茎膨大倍数 Expansion times of bulbs//倍	产量增长倍数 Yield increasing times//倍	使用效果排序 Rank of using effect 位
2014年追肥试验 Topdressing test in 2014	①	绿色	34.81	28 359.75	5.47	3.87	
	②	绿色	31.00	29 941.20	5.43	4.07	
	③	黄绿色	36.40	23 468.55	5.32	3.38	
	④	浓绿色	50.44	24 254.10	6.95	3.44	
2015年无机全基肥试验 Inorganic base fertilizer test in 2015	⑤	绿色	38.88	124 384.62	5.35	4.67	
	⑥	绿色	30.44	164 707.69	6.41	5.51	1
	⑦	绿色	55.11	139 830.77	6.16	5.16	2
	⑧	绿色	60.66	109 123.08	5.98	4.02	
2015年有机全基肥试验 Organic base fertilizer test in 2015	⑨	黄绿色	32.89	62 769.23	3.45	2.99	
	⑩	绿色	64.89	66 569.23	4.81	3.33	
	⑪	绿色	46.67	70 461.53	4.65	3.71	

注:生长期各处理魔芋植株高度一致。

Note: Plant in different treatments at growth stage was highly consistent.

### 3 结论与讨论

魔芋是一种具有较高经济价值和广泛用途的作物,主栽区云南省每年栽培面积约有33 333.33 hm<sup>2</sup>,栽培中如何通过科学施肥达到高产优质是生产中需要解决的实际问题。该试验结果表明:魔芋种植中,单纯施用有机肥或不含大量元素的无机矿物肥,魔芋球茎膨大和产量增长倍数低,最终导致产量偏低;施用速效氮肥可增加球茎膨大倍数,但同时也增加发病率,最终产量偏低;有机肥应经过灭菌处理,通过降低发病率增加产量;合理施用控释肥可降低魔芋发病率、增加魔芋球茎膨大倍数,从而增加产量,以N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12%:10%:18%的配方效果较好;从魔芋种植的产量获得及土壤的长效生产力来看,魔芋种植生产中提倡有机肥和无机控释肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12%:10%:18%)配合施用,依

据土壤肥力可一次性作基肥施入有机肥22 488~29 985 kg/hm<sup>2</sup>、无机控释肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12%:10%:18%)600~900 kg/hm<sup>2</sup>。

### 参考文献

- [1] 李瑞波,姚强,潘明艳.魔芋配方施肥试验的研究初报[J].安徽农业科学,2007,35(25):7886.
- [2] 赵琴,董天勇,保玲.施用不同肥料对富源魔芋产量及软腐病影响试验[J].中国园艺文摘,2010(9):30-31.
- [3] 崔鸣,赵光喜,李川.不同海拔魔芋专业肥应用试验研究[J].长江蔬菜,2010(4):44-46.
- [4] 周军,杨应祥.施肥增强魔芋抗病性的初步研究[C]//2009年中国魔芋产业发展研讨会论文集.成都:中国园艺学会,2009.
- [5] 王永和,李仲敬.肥料对魔芋产量和病害影响的试验研究[J].热带农业科学,2009,32(1):40-42.
- [6] 冯小平,胡平.不同施肥量对魔芋软腐病的影响研究[J].蔬菜,2009(11):34-36.

(上接第11页)

明能源草刈割时间推迟会减少产气数量。该研究受试验条件的限制并没有确定能源草产气速度从上升转为下降时的拐点,有待后续进一步研究。

(4)通过植后天数预测能源草的茎叶生物量、干鲜比和产气量具有非破坏性,可以克服刈割实测受样本数量限制的矛盾,提高了调查数据的精确度,还具有调查快捷、简便,工作量少的特点。该研究构建的预测模型是在该试验栽培条件下获得的实测数据基础上构建的,在此范围内进行能源草茎叶生物量、干鲜比及产气量的估算,结果精确,若超出该范围应进行适合性检验并确定校正正值。

### 参考文献

- [1] 李晓明,杨重法,左应梅,等.估测木薯茎叶生物量的一数学模型[J].热带作物学报,2009,30(4):440-444.
- [2] 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.
- [3] 陆霞梅,周长芳,安树青,等.植物的表型可塑性、异速生长及其入侵能力[J].生态学杂志,2007,26(9):1438-1444.
- [4] 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[J].世界科技研究与发展,2007,29(2):51-57.
- [5] 曾慧卿,刘琪璟,马泽清,等.千烟洲灌木生物量模型研究[J].浙江林业科技,2006,26(1):13-17.
- [6] 涂旭川,刘国道,白昌军,等.热研4号王草栽培技术初探[J].中国农学通报,2008(10):533-535.
- [7] 张进国,雷荷仙,黎纪凤,等.3个牧草品种在铜仁市不同海拔区的生长表现[J].贵州农业科学,2014(4):86-89,93.