

豆科牧草印度豇豆、印尼大绿豆在福州北峰生长性状及产能估算

林永辉, 冯德庆, 黄秀声, 陈钟佃, 唐龙飞

(福建省农业科学院农业生态研究所, 福建省农业科学院山地草业工程中心, 福州 福建 350013)

摘 要: 在福州北峰进行了 2 年的印度豇豆、印尼大绿豆生长性状观察与测定, 并对这两种牧草的营养成分、产能情况进行分析和估算。结果表明, 印尼大绿豆全年产鲜草量为 65 800 kg·hm⁻², 印度豇豆全年产鲜草量为 54 700 kg·hm⁻²; 印度豇豆株高明显高于同期生长的印尼大绿豆, 但其平均单位高度的生物量却低于印尼大绿豆。印度豇豆的粗蛋白、粗脂肪和可溶性碳水化合物分别为 19.37%、3.56% 和 19.25%, 均高于印尼大绿豆的 18.10%、3.45% 和 18.87%, 而其纤维素、木质素 (34.02% 和 18.47%) 却低于印尼大绿豆 (35.32%、18.68%)。种植 1 hm² 印度豇豆和印尼大绿豆每年可分别获得 60.77×10⁶ kJ 和 94.72×10⁶ kJ 热能值; 扣除人工辅助能的投入后, 在福州北峰山地种植豆科牧草的太阳能利用率为 0.271%~0.412%。

关键词: 印度豇豆; 印尼大绿豆; 豆科牧草; 产能; 估算

中图分类号: S 543.9

文献标识码: A

Growth characteristics and energy-producing capacities of *Vigna sinensis* Sari Var. and *Phaseolus* spp. in Fuzhou Beifeng area

LIN Yong-hui, FENG De-qing, HUANG Xiusheng, CHEN Zhong-dian, TANG Long-fei

(Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China)

Abstract: The growth characteristics of *Vigna sinensis* Sari Var. (VS) and *Phaseolus* spp. (P) in Fuzhou Beifeng area were studied for two years. The nutritional components of the two forages were analyzed and their energy-producing capacities were estimated. The annual fresh biomass production of P and VS. were 65800 kg·hm⁻² and 54700 kg·hm⁻², respectively. The plant height of VS was considerably higher than that of P. at a same growing stage. However, the average biomass production per unit height of VS was significantly lower than P. The crude protein, fat and soluble carbohydrate of VS was 19.37%, 3.56% and 19.25%, respectively. They were higher than those of P, which were 18.10%, 3.45% and 18.87%, respectively. The total cellulose and lignin contents of VS were lower than those of P (i. e., 34.02% and 18.47% vs. 35.32% and 18.68%). Planting of 1 hm² VS and P could annually obtain energy 60.77×10⁶ kJ and 94.72×10⁶ kJ, respectively. After deducting artificial auxiliary energy input, the solar energy utilization rate of growing the leguminous forages in Beifeng hilly land was estimated to be 0.271%–0.412%.

Key words: *Vigna sinensis* Sari Var.; *Phaseolus* spp.; growth characteristics; energy-producing capacity; estimation

20 世纪 80 年代以来, 随着草食性畜产品和鱼类需求量的增加, 优质牧草的种植面积正逐步扩大。以福建省为例, 20 世纪 90 年代中期, 全省禾本科牧草的主栽品种杂交狼尾草每年种植面积 0.1 万~0.3 万 hm²; 经过 10 a 发展, 目前全省每年种植面积已经超过 1.1 万 hm²。豆科牧草印度豇豆、印尼大绿豆、圆叶决明、柱花草等的种植面积也达到 2.5 万 hm²。考虑到福建省山地果园覆盖和草食性动物养殖需求的趋势^[1], 以及豆科、禾本科牧草种

植中的合理搭配比例问题, 笔者在进行禾本科牧草生长特性测定的基础上^[2], 2005 年和 2006 年继续在福州北峰创新村对豆科牧草中的印度豇豆、印尼大绿豆生长性状进行观察与测定, 以期为在福建山地合理种植、利用优质牧草积累更多试验数据。

1 材料与 方法

1.1 试验地点

人工草场位于福州市北峰山区的创新村, 东经

收稿日期: 2007- 06- 04 初稿; 2007- 09- 19 修改稿
作者简介: 林永辉 (1963-) 女, 助理研究员, 主要从事牧草栽培研究。
通讯作者: 唐龙飞 (1949-) 男, 研究员, 主要从事生态农业和红萍育种研究 (E-mail: Tanglf@faas.cn)。
基金项目: 福建省科技厅资助项目 (2005YZ1004); 福建省财政专项资助 (STIF- Y01)

119°39′，北纬 26°03′，海拔 640 m，全年无霜期 316 d。前茬作物为杂交狼尾草，土壤肥力状况中等。

1.2 试验材料

1.2.1 豆科牧草品种 试验采用两种豆科牧草品种，即印度豇豆 (*Vigna sinensis* Sari Var.)、印尼大绿豆 (*Phaseolus* spp)，由福建省农科院农业生态所牧草资源圃提供。

1.2.2 试验地施肥 在豆科牧草播种前 10 d，每公顷施 656.3 kg 俄罗斯产复合肥 (16- 16- 16) 作基肥；栽种后 60 d，当第 1 茬牧草刈割后追施 351.6 kg 俄罗斯产复合肥。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 每个品种各有 18 个种植小区，共 36 个小区，每小区面积 1.0 m²。其中每种牧草的 9 个小区进行生长高度与生物量测定，其余 9 个小区作为种子产量测定和连续生长高度观察。

1.3.2 牧草地上部测定 每个小区的牧草从播种后 20 d 开始，每隔 10 d 测定株高。取 3 株采用定株跟踪测量牧草的高度，取其平均值；平均高度生物量由每次刈割后整个小区的总生物量除以小区植株平均高度获得；植株茎/叶从小区全部植株剥离叶片后的茎重与叶重比值获得。

1.3.3 植株干重的测定 样本植株先在排气式电烘箱内 70℃杀青 1 h，再提高温度至 100℃烘烤 12 h，第 1 次称重；保持 100℃至第 2 d，第 2 次称重。12 h 后，第 3 次称重，与第 2 次相同时，可停止烘干，计算其干物率。

1.3.4 牧草主要营养成分分析 由福建省农业科学院土壤肥料研究所化验室测定植株主要营养成分，包括粗蛋白、粗脂肪、纤维素和木质素含量以及可溶性碳水化合物。

1.3.5 牧草消化能估算 以牧草主成分在牧草种的比例 (干重) 乘以该成分产热能值，再乘以牧草与粮食作物换算系数后得出。

2 结果与分析

2.1 两种牧草株高的变化趋势

图 1 显示，在整个测定过程中印度豇豆株高始终比印尼大绿豆高，这是因为印度豇豆为匍匐型生长，其植株分蘖较少，仅 4~ 5 个，顶端优势较明显；而印尼大绿豆为直立型生长，侧枝的数量较多，影响了植株主茎的高度。两种牧草在播种后 20 d 到 30 d 高度增长较缓慢，其后的 20 d 进入植株生长加速期；到播后 50 d，植株生长速度减缓。

从图 1 可以看到，不管是印度豇豆还是印尼大绿豆，植株生长速度在播后的前 30 d 都较为缓慢，其生长的加速期在播后的 30~ 50 d，其后又进入缓慢生长，呈经典的“S”型趋势。并且，两年的株高趋势线在 50 d 前重复性好，说明在相同土壤肥力水平下，品种特性对株高的影响是主要因子。2006 年测定结果还表明，60 d 以后的 20 d 中，株高基本不再增高，这时植株已进入繁殖生长阶段。需要指出的是，2005 年印度豇豆和印尼大绿豆的播后 60 d 的株高均明显低于 2006 年的相应品种株高。这是因为 2005 年的前茬作物是禾本科的杂交狼尾草，对地力的消耗相对较大。而 2006 年的前茬作物是印度豇豆和印尼大绿豆，有利于增加土壤肥力。两种豆科牧草株高的对数生长期在播后 30~ 50 d，在 60 d 后趋缓，这比禾本科的杂交狼尾草迟 10 d 左右^[3]。

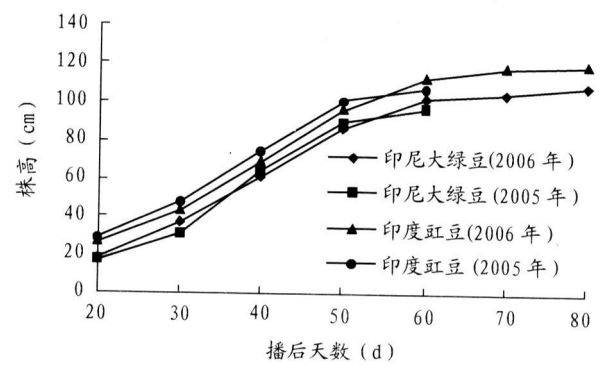


图 1 两种豆科牧草播后 80 d 内株高的变化
Fig 1 Changes in plant height of the 2 leguminous forages during first 80 days after sowing

2.2 两种牧草平均单位高度生物量

从表 1 可以看出，每种牧草第 1 次收获的平均单位高度的生物量均比第 2 次收获时的低，幅度在 68.52%~ 76.41%。这是因为第 1 次收获时牧草植株未经刈割，其主茎生长势强，侧枝少，每个单株的生物量就少；第 2 次收获时，由于植株经第 1 次刈割后，削弱了顶端优势，侧枝生长加快，同时，植株含水量下降，使得植株的单位高度的平均生物量提高。反映在田间的植株生长方面，牧草的草层枝叶密度增加，生长更为茂盛。因此在福州北峰山地，6~ 8 月份是豆科牧草旺盛生长期和植株营养的利用期。从品种看，不论是第 1 次收获还是第 2 次收获，印尼大绿豆的单位高度的平均生物量均比印度豇豆高，且差异显著 ($P < 0.05$)。表明印尼大绿豆的田间生长密度高于印度豇豆，这归因于印尼大绿豆是直立株型且侧枝生长较旺盛等特性。两

种豆科牧草每年的第 3 次收获期在 11 月底, 印度豇豆和印尼大绿豆每平方米产草量分别为 2. 04 kg 和 1. 77 kg, 因为收获是在生殖生长之后, 不能作为草食性动物的牧草利用, 因此未列入表 2 内, 但应包括在田间牧草产能估算中。另外, 印度豇豆和印尼大绿豆子粒产量分别为 1 275 kg · hm⁻² 和 870 kg · hm⁻²。根据两年小区两次收获的牧草生物量平均值计算, 印尼大绿豆全年产鲜草量为 65 800

kg · hm⁻², 印度豇豆为 54 700 kg · hm⁻²。两种豆科牧草的鲜草经 70℃杀青、100℃烘干至恒重, 3 次测定印尼大绿豆和印度豇豆的干物率平均值分别为 16. 11% 和 12. 34%; 印尼大绿豆的干物率均高于印度豇豆, 折干率与品种间的关系密切相关 ($P < 0. 05$), 这与印度豇豆和印尼大绿豆茎/叶比差异 (表 2), 以及纤维素、木质素含量 (表 3) 有关。

表 1 2005~ 2006 年 两种豆科牧草平均单位高度的生物量测定

Table 1 Average biomass per unit height for the 2 leguminous forages in 2005– 2006

品种	年份	第 1 次收获(4 月 30 日~ 6 月 30 日)			第 2 次收获(6 月 30 日~ 8 月 30 日)		
		高度(cm)	鲜重(kg)	单位高度重量(g·cm ⁻¹)	高度(cm)	鲜重(kg)	单位高度重量(g·cm ⁻¹)
印尼大绿豆	2005 年	96	3. 36	35. 00	69	3. 16	45. 80
	2006 年	102	3. 44	33. 73	65	3. 20	49. 23
	平均	99. 00±3. 00a	3. 40±0. 04a	34. 37±0. 64a	67. 00±2. 00a	3. 18±0. 02a	47. 52±1. 71a
印度豇豆	2005 年	107	2. 96	27. 66	69	2. 55	36. 96
	2006 年	113	2. 95	26. 11	72	2. 48	34. 44
	平均	110. 00±3. 00a	2. 96±0. 00b	26. 89±0. 78b	70. 50±1. 50a	2. 52±0. 03b	35. 70±1. 26b

注: 测产的试验小区面积为 1m²; 印度豇豆、印尼大绿豆的干物率平均值分别为 12. 34% 和 16. 11%。

表 2 2005~ 2006 年 两种豆科牧草植株茎/叶比测定

Table 2 Plant stem/ leaf ratio of the 2 forages in 2005– 2006

品种	年份	第 1 次收获(4 月 30 日~ 6 月 30 日)			第 2 次收获(6 月 30 日~ 8 月 30 日)		
		茎重(kg)	叶重(kg)	茎重/ 叶重	茎重(kg)	叶重(kg)	茎重/ 叶重
印尼大绿豆	2005 年	1. 82	1. 54	1. 18	1. 67	1. 49	1. 12
	2006 年	1. 93	1. 51	1. 28	1. 75	1. 45	1. 21
	平均	1. 88±0. 06a	1. 53±0. 02a	1. 23±0. 05a	1. 71±0. 04a	1. 47±0. 02a	1. 17±0. 04a
印度豇豆	2005 年	1. 53	1. 43	1. 07	1. 30	1. 25	1. 04
	2006 年	1. 48	1. 47	1. 01	1. 21	1. 27	0. 95
	平均	1. 51±0. 03b	1. 45±0. 02a	1. 04±0. 03a	1. 26±0. 05b	1. 26±0. 01b	1. 00±0. 05a

2 3 两种牧草的主要营养成分比较

从表 3 可以看出, 印度豇豆的粗脂肪、粗蛋白分别比印尼大绿豆高 3. 2% 和 7. 0%; 而纤维素和木质素含量却比印尼大绿豆分别低 3. 7% 和 1. 1%。这表明印度豇豆植株的牧草营养成分高于印尼大绿豆。

2 4 两种牧草营养物质的能量估算

根据资料显示, 牧草营养价值主要有 3 种: 粗蛋白、粗脂肪和碳水化合物 (纤维素和植株茎叶中可溶性成分)。优质豆科牧草是高蛋白质含量、低消化能的饲料 (粗纤维含量高), 优质豆科牧草, 如苜蓿、白三叶草、印度豇豆等的干料可替代粮食饲料的比率为 1. 8~ 1. 3: 1, 即 1. 8~ 1. 3 kg 的牧草能替代 1 kg 的精饲料量。为了估算方便, 取其

均值, 即印度豇豆或印尼大绿豆的替代率为 1. 5 kg。而粮食类谷物中的碳水化合物和蛋白质每克可供热能 16. 74 kJ, 脂肪每克供热能 37. 74 kJ^[4]。即可通过计算得出每公斤印度豇豆或印尼大绿豆中的热能值, 如 1 kg 牧草干草的热能值为:

表 3 印尼大绿豆、印度豇豆主要牧草营养成分的测定

Table 3 Major nutritional components of the 2 forages (2006. 10)

品 种	粗脂肪 (%)	粗蛋白 (%)	粗纤维 (%)	木质素 (%)	可溶性碳水化合物 (%)
印尼大绿豆	3. 45	18. 10	35. 32	18. 68	18. 87
印度豇豆	3. 56	19. 37	34. 02	18. 47	19. 25

注: 两种植株粗灰分含量未列出。

印度豇豆： $1000\text{ g} \times (0.0356 \times 37.74\text{ kJ} + 0.1937 \times 16.74\text{ kJ} + 0.3402 \times 16.74\text{ kJ} + 0.1925 \times 16.74\text{ kJ}) \div 1.5 = 9002.32\text{ kJ}$ ，

印尼大绿豆： $1000\text{ g} \times (0.0345 \times 37.74\text{ kJ} + 0.1810 \times 16.74\text{ kJ} + 0.3532 \times 16.74\text{ kJ} + 0.1887 \times 16.74\text{ kJ}) \div 1.5 = 8935.58\text{ kJ}$ ，

按照两种牧草年鲜草产量及其的干物率计算，种植 1 hm^2 印度豇豆每年可获得草食性动物可利用的热能值 $60.77 \times 10^6\text{ kJ}$ ；种植 1 hm^2 印尼大绿豆每年可获得草食性动物可利用的热能值 $94.72 \times 10^6\text{ kJ}$ 。作为牧草的产能计算，生殖生长后的第 3 次收获量、豆的子粒产量也应包括在内。根据上面计算方法得出印度豇豆、印尼大绿豆的第 3 次收获量、豆的子粒产量分别为 $14.38 \times 10^6\text{ kJ}$ ， $10.92 \times 10^6\text{ kJ}$ 和 $16.23 \times 10^6\text{ kJ}$ ， $7.43 \times 10^6\text{ kJ}$ 。豆科植株的地下部（刈割后稿秆与根系）的生物量以及豆荚、落叶等生物量可占整个植株生物量的 $1/3$ 左右。因此，种植 1 hm^2 印度豇豆每年获得的总能为 $114.76 \times 10^6\text{ kJ}$ ，种植 1 hm^2 印尼大绿豆每年获得的总能为 $157.84 \times 10^6\text{ kJ}$ 。但这其中应扣除农田的人工辅助能投入，即辅助生物能（畜、劳力，有机肥等）和工业辅助能（化肥等）投入中被豆科植物利用的能量。我国农田的人工辅助能投入平均水平为 $15.37 \times 10^6\text{ kcal} \cdot \text{hm}^{-2}$ 或 $64.31 \times 10^6\text{ kJ}^{[5]}$ 。E. Sheehy 等^[6]的研究也有相似结果。我国现有农业水平下的单位面积上的产出的生物能量与投入的辅助能量值比（产/投比）为 $2.32 \sim 2.48^{[5]}$ ，如果取其均值 2.40 ，则有 $26.80 \times 10^6\text{ kJ}$ 辅助能转化为生物能。因此，种植 1 hm^2 山地的印度豇豆，每年实际可以从太阳辐射能中获得 $86.16 \times 10^6\text{ kJ}$ 热能值；种植 1 hm^2 印尼大绿豆每年可获得 $131.04 \times 10^6\text{ kJ}$ 热能值。

据何流禧报道^[5]，福州地区太阳全年总辐射能为 $113.5\text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，即 1 hm^2 地面接收 $113.5 \times 10^8\text{ kcal}$ 或 $474.88 \times 10^8\text{ kJ}$ 的太阳能。而本次试验测定时间为 4 月到 11 月，占全年的 $2/3$ ，因此在此期间 1 hm^2 地面接收 $76.05 \times 10^8\text{ kcal}$ 或 $318.17 \times 10^8\text{ kJ}$ 的太阳能。因而在福州北峰山地种植印度豇豆和印尼大绿豆的太阳能利用率为 $0.271\% \sim 0.412\%$ 。略高于内蒙古短花针茅草原^[7]和高寒地区人工草地箭舌豌豆与燕麦^[8]的太阳能转化率，但比长江中下游农田的平均光能利用率^[9]略低

($0.53\% \sim 0.63\%$)。由于本研究对象是南方牧草，这种估算值应在合理范围内。

3 小 结

优质豆科牧草印度豇豆和印尼大绿豆在福州北峰山地生长良好，两种牧草的对数生长期出现在播后的 $30 \sim 50\text{ d}$ 。印尼大绿豆全年产鲜草量为 $65\,800\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；印度豇豆全年产鲜草量为 $54\,700\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。印度豇豆植株的高度明显高于印尼大绿豆，但是其植株平均高度的生物量却低于印尼大绿豆，这主要是由于印尼大绿豆侧枝分生能力较强和高茎/叶比等原因所致。从营养角度看，印度豇豆的粗蛋白、粗脂肪和可溶性碳水化合物均高于印尼大绿豆，而纤维素、木质素却低于印尼大绿豆，表明印度豇豆的牧草品质优于印尼大绿豆。根据两种牧草营养物质的能量估算，种植 1 hm^2 印度豇豆每年可获得草食性动物可利用的热能值 $60.77 \times 10^6\text{ kJ}$ ；种植 1 hm^2 印尼大绿豆每年可获得草食性动物可利用的热能值 $94.72 \times 10^6\text{ kJ}$ 。扣除人工辅助能的投入的植株吸收部分后，在福州北峰山地种植豆科牧草的太阳能利用率为 $0.271\% \sim 0.412\%$ 。

参考文献:

[1] 冯德庆, 黄秀声, 陈钟佃, 等. 杂交狼尾草、印度豇豆喂草鱼试验研究 [J]. 福建农业学报, 2005, 20 (2): 97–99.
[2] 林永辉, 唐龙飞, 黄秀声, 等. 刈割频率对杂交狼尾草生长和产量的影响 [J]. 福建农业学报, 2006, 21 (4): 389–392.
[3] 唐龙飞, 黄秀声, 冯德庆, 等. 福州山地山羊分区分轮牧的效果研究 [J]. 家畜生态, 2004, 26 (4): 233–236.
[4] 杨凤. 动物营养学 [M]. 北京: 农业出版社, 1995.
[5] 何流禧. 农业生态学 [M]. 台北: 五洲出版社, 1989.
[6] SHEEHY J E, COOPER J P. Light interception, photosynthetic activity, and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses [J]. The Journal of Applied Ecology, 1973, 10 (1): 239–250.
[7] 韩国栋, 卫智军, 李存焕, 等. 短花针茅草原绵羊放牧系统的能量流动 [J]. 2000, 21 (1): 75–80.
[8] 陈功, 张自和, 胡自治. 高寒地区一年生人工草地上生物量动态及光能转化效率 [J]. 草业学报, 2003, 12 (1): 69–73.
[9] 朱志辉. 我国陆地生态系统植物太阳能利用率 [J]. 生态学报, 1985, 4 (3): 343–354.

(责任编辑: 翁志辉)