

不同年龄麻竹阴阳叶生态生理特性

邱尔发^{1,2}, 陈卓梅³, 洪 伟⁴, 郑郁善⁴, 黄宝龙⁵, 杨主泉⁶

(1. 中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091; 2. 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

3. 浙江省林科院 杭州 310023; 4. 福建农林大学林学院 福州 350002; 5. 南京林业大学 南京 210037; 6. 桂林工学院 桂林 541004)

摘要:麻竹是中国重要的大型经济竹种,其栽培已从过去河滩、四旁零散种植发展到规模化培育,通过山地麻竹发笋期内不同年龄植株阴阳叶养分和代谢动态的比较研究,结果表明麻竹阳叶氮素、磷素浓度比阴叶高,但钾素浓度阳叶低于阴叶;从发笋初期至末期阴阳叶氮、磷、钾素浓度都呈逐渐减少的变化趋势,阴阳叶氮、磷、钾素浓度差异逐渐减小;阳叶在净光合速率、暗呼吸速率、CO₂ 补偿点、光补偿点、光饱和点等方面较阴叶高,光呼吸较低,但不同年龄麻竹之间各指标变化有所不同。

关键词:麻竹; 阴阳叶; 生态生理; 特性

文章编号:1000-0933(2006)10-3296-06 **中图分类号:**Q718, Q945, Q948.1 **文献标识码:**A

Comparison on ecophysiological characteristics between sun and shade leaves in different age *Dendrocalamus latiflorus*

QIU Er-Fa^{1,2}, CHENG Zhuo-Mei³, HONG Wei⁴, ZHENG Yu-Shan⁴, HUANG Bao-Long⁵, YANG Zhu-Quan⁶ (1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 2. Key Laboratory of Forestry Silviculture of State Forestry Administration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310029, China; 4. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 5. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 6. Guilin University of Technology, Guilin 541004, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3296 ~ 3301.

Abstract: *Dendrocalamus latiflorus* is one of the important bamboo species as cash crops in China. It has been cultivated widely on hills and mountains in some places. In recent year, some researches on it had been done, such as expanding plantation, cultivation techniques, biomass and nutrient characteristic. However, few studies had been made on ecophysiology of different sun side leaves of *Dendrocalamus latiflorus*. Therefore, further research on the topic is imperatively necessary. The characteristics of sun leaves and shade leaves on nutrient and metabolism dynamic in different age bamboo have been described in the paper. The results showed that N and P concentration of sun leaf was higher than that of shade leaf, K concentration is on the contrary. During bamboo shoots emerging stage, Nutrient concentration of N, P and K tended to decreasing, difference of N, P, K concentration between sun leaf and shade leaf tended to decreasing. sun exposed leaves were higher than shade leaves in net photosynthesis, dark respiration, CO₂ compensation point, and light saturation point. For light respiration, it was reverse. These indices varied with bamboo age throughout bamboo shoots emerging.

Key words: *Dendrocalamus latiflorus*; sun and shade leaves; ecophysiology; characteristic

光促进植物组织和器官的分化,而不同的光照强度对植物生长产生不同的影响。在同一植株中,不同受光面叶片由于其对光的适应性,在形态、组织和生物化学等方面的性状出现不同的变化^[1]。国外学者对木本植物阳叶和阴叶的生理生态特征方面进行了研究^[2~4],但国内学者对这一方面的研究较少,尤其是在竹子生

基金项目:国家“十五”科技攻关资助项目(2002BA516A15)

收稿日期:2005-07-22; **修订日期:**2006-04-20

作者简介:邱尔发(1968~),男,福建连城人,博士,副研究员,主要从事竹林生态学和森林培育学研究. E-mail: efqiu@caf.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Ten Five Key Project (No. 2002BA516A15)

Received date: 2005-07-22; **Accepted date:** 2006-04-20

Biography: QIU Er-Fa, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in ecology and silviculture. E-mail: efqiu@caf.ac.cn

态生理学方面研究还很薄弱。

麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*) 是我国重要经济竹种,其栽培已从过去河滩、四旁零散种植发展到现在的山地规模培育,近几年来,人们开始重视对麻竹的研究,特别是在引种、育苗、丰产栽培、生物量和生态系统养分特征等方面进行较多的研究^[5-14]。但是,有关植株对异质光环境适应性的生理生化反应在竹类研究上尚无人涉及,有鉴于此,本文通过分析山地麻竹发笋期内不同年龄植株阴阳叶养分和代谢动态,揭示麻竹对异质光环境的生理生化反应,不仅能丰富竹林理论成果,同时也为麻竹科学经营提供理论依据。

1 试验地概况及试验材料

试验地设于福建省漳州市南靖国有林场,属亚热带季风气候区。地处东经 117°20′,北纬 24°27′。海拔 280 m 左右,属闽南低山丘陵地带。年平均温度为 21℃,7 月平均气温 28℃,极端最低温度为 -2.0℃,极端最高温度 40.5℃,≥10℃ 的活动积温 7476℃,终年无雪,霜期短;该地区气候温暖多雨,年降雨量 1720 mm,雨量分布不均,较集中于春夏两季;年日照时数 2052 h,平均年无霜期 320 d,是麻竹生长的最适区。土壤以沙岩土质发育的山地红壤为主,土层深厚。植被以芒萁 (*Dicranopter dichotoma*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*)、桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*) 和蕨类 (*Pteridophyta*) 为主。

试验林于 1995 年春移栽母竹,株行距为 5 m × 5 m,即密度为 400 株·hm⁻²。竹林管理为造林前期(造林后 1~3 a)每年春季施肥、除草 1 次,4~5 a 每年春除草 1 次,施肥 3 次,分别于 3 月中下旬、6 月上旬和 8 月上旬进行。

2000 年 4 月测定土壤 N、P、K 的全量浓度分别是 1.610、0.320、9.97 g·kg⁻¹;水解 N、速效 P 和速效 K 浓度分别为 167.33、3.97、21.50 mg·kg⁻¹。

2 研究方法

2.1 麻竹叶样品选取及时间

麻竹 6 月初开始发笋,定为发笋前期,7 月底至 8 月中旬大量发笋定为发笋盛期,9 月上旬开始留竹,并且发笋量较少,定为后期^[5]。2001 年 6、8、9 月选择同一丛 3 个年度麻竹竹冠中部不同受光面叶片进行测定。

2.2 元素浓度测定

浓硫酸-双氧水消化后,氮用蒸馏法,磷用钒钼黄比色法,钾用火焰光度计法测定^[15,16]。

2.3 光合作用和呼吸作用测定^[17]

2.3.1 叶面积测定 叶面积采用美国产的 Li-3000 叶面积仪测定。

2.3.2 光合和暗呼吸速率测定 采用北京均方理化研究所生产的 GXH-305 便携式 CO₂ 分析仪测定离体枝条的净光合速率,净光合、光呼吸和 CO₂ 补偿点测定的光强为 15000 lx,光补偿点和饱和点光强为 0~40000 lx 光强下的光合强度,以坐标曲线确定临界点。

3 结果与分析

3.1 不同受光面麻竹叶片养分浓度动态

3.1.1 不同受光面叶片氮素动态变化 植物所需所有必需元素中,氮素是构成蛋白质和叶绿素的重要元素,是限制植物生长和形成产量的首要因素。从阳叶和阴叶氮素浓度看,麻竹发笋各时期阳面叶氮素都比阴面叶浓度高,其中,初期、盛期和末期的阳叶氮素浓度分别是阳叶的 1.0788 倍、1.0807 倍和 1.0183 倍,初期和盛期的差异比末期大。从各年度麻竹发笋 3 个时期的氮素浓度变化来看,各年度麻竹叶片氮素浓度呈逐渐减少的变化趋势,并且末期减少的幅度比盛期大。从不同年度麻竹叶氮素浓度变化看,初期和盛期 1a 和 3a 麻竹阴阳叶氮素浓度都比 2a 的高,但在发笋末期氮素浓度有随竹龄增大而减少的变化趋势(表 1)。

3.1.2 不同受光面叶片磷素动态变化 磷素是植物生长发育不可缺少的元素之一,它是植物体内许多重要有机化合物的组分,同时又以多种方式参与植物体内各种代谢过程。由表 1 可看出,阴阳叶磷素浓度的变化与氮素浓度具有相似的变化规律。从麻竹发笋初期至末期,阴阳叶磷素浓度都呈逐渐减少的变化趋势,且阳叶浓度高于阴叶。3 个年度麻竹发笋初期阳叶磷素浓度平均值分别是盛期和末期的 1.0797 倍和 1.3454 倍,

阴叶初期是盛期和末期的 1.0590 倍和 1.2976 倍,末期磷素的浓度下降幅度较大。从不同时期阴阳叶浓度磷素浓度变化来看,初期、盛期和末期阳叶磷素的浓度分别是阴叶的 1.1368 倍、1.1150 倍和 1.0964 倍,磷素浓度差异有减小的趋势。从 3 个时期不同年度麻竹阴阳叶片磷素浓度变化看,没有呈现明显的变化规律。

表 1 阴阳竹氮、磷、钾素浓度动态(%)

Table 1 N, P, K concentration dynamic of sun and shade leaves

营养元素 Nutrient	竹龄(a) Age of bamboo	初期 Initial stage			盛期 Prosperous stage			末期 Last stage			平均 Mean		总平均 Total mean
		阳叶	阴叶	平均	阳叶	阴叶	平均	阳叶	阴叶	平均	阳叶	阴叶	
		Sun leaf	Shade leaf	Mean	Sunleaf	Shade leaf	Mean	Sun leaf	Shade leaf	Mean	Sun leaf	Shade leaf	
N	1	3.9147	3.6265	3.7706	3.8446	3.6049	3.7248	3.5171	3.4494	3.4832	3.7588	3.5602	3.6595
	2	3.9102	3.5807	3.7455	3.7483	3.3276	3.5380	3.3268	3.3020	3.3144	3.6618	3.4034	3.5326
	3	3.9429	3.7014	3.8222	3.8339	3.6413	3.7376	3.3093	3.2193	3.2643	3.6954	3.5207	3.6080
	平均 Mean	3.9226	3.6362	3.7794	3.8089	3.5246	3.6668	3.3844	3.3236	3.3540	3.7053	3.4948	3.6000
P	1	0.4645	0.4145	0.4395	0.3841	0.3586	0.3713	0.3754	0.3619	0.3686	0.4080	0.3783	0.3932
	2	0.4611	0.3941	0.4276	0.4512	0.3845	0.4179	0.3276	0.2965	0.3121	0.4133	0.3584	0.3858
	3	0.4606	0.4108	0.4357	0.4486	0.4083	0.4285	0.3274	0.2814	0.3044	0.3969	0.3822	0.3895
	平均 Mean	0.4621	0.4065	0.4343	0.4280	0.3838	0.4059	0.3435	0.3133	0.3284	0.4061	0.3730	0.3895
K	1	1.0640	1.1215	1.0927	0.8247	0.8775	0.8511	0.6875	0.8134	0.7505	0.8587	0.9375	0.8981
	2	1.0223	1.3491	1.1857	0.8159	0.9010	0.8584	0.4347	0.5011	0.4679	0.7576	0.9171	0.8373
	3	0.9485	1.3016	1.1250	0.6999	0.8492	0.7745	0.4984	0.5000	0.4992	0.7156	0.8836	0.7996
	平均 Mean	1.0116	1.2574	1.1345	0.7802	0.8759	0.8280	0.5402	0.6049	0.5725	0.7773	0.9127	0.8450

3.1.3 不同受光面叶片钾素动态变化 钾是植物生长必需元素中浓度仅次于氮的元素,能提高林木的生产力和林产品的品质。从表 1 可看出,各年度麻竹叶钾浓度在 3 个时期呈逐渐减少的变化趋势,且变化幅度较大,从盛期和末期与初期阴阳叶钾浓度平均值比较看,分别减少 37.01 %和 98.15 %,与 N 和 P 相反,麻竹发笋 3 个时期阳叶钾的浓度都低于阴叶。3 个年度麻竹叶在初期、盛期和末期阳叶钾浓度的平均值分别只有阴叶的 72.87 %、82.42 %和 99.69 %,阳叶和阴叶钾浓度从初期至末期的差异逐渐减小。从 3 个时期的平均值看,阴阳叶钾的浓度都呈随竹龄的增大而减小的趋势,阳叶 1a 竹分别是 2a 和 3a 竹的 1.13 倍和 1.20 倍,阴叶 1a 竹分别是 2a 和 3a 竹的 1.02 倍和 1.06 倍。

3.2 不同受光面叶片代谢比较

3.2.1 净光合速率比较 不同受光面竹叶净光合速率具有较大差异。从 3 个年度麻竹的平均值看,阳叶净光合速率比阴叶大,在麻竹发笋的初期、盛期和末期,阳叶分别是阴叶的 1.1276 倍、1.0285 倍和 1.1788 倍,平均是 1.1180 倍。这说明,在 15000 lx 的光强下,阳叶具有较强的净光合能力。在不同发笋期,阳叶和阴叶净光合速率从初期至末期呈现递增的趋势。

从不同年度麻竹阴阳叶的净光合速率比较看,3 个年度阳叶净光合速率发笋期的平均值都比阴叶大,并且都以 2a 竹净光合速率为最大,阳叶 2a 竹是 1a 竹和 3a 竹的 1.0360 倍和 1.1329 倍,阴叶是 1.1890 倍和 1.1223 倍。

3.2.2 光呼吸速率 不同受光面竹叶光呼吸速率具有一定的差异。从 3 个年度的平均值看,阳叶光呼吸强度比阴叶小,在初期、盛期和末期,阳叶光呼吸速率分别只有阴叶的 68.51 %、87.53 %和 93.23 %,平均为 84.26 %;从阴阳面发笋时期的光呼吸速率来看,阳叶和阴叶都随麻竹的不断发笋而呈增加的趋势,阳叶从初期至末期分别增加 39.96 %和 84.84 %,阴叶增加 9.55 %和 35.83 %,阳叶增加的速度较快。

不同年度麻竹阴阳叶光呼吸速率在发笋的各个时期不大一致,但其 3 个时期的平均值有随竹龄的增大而增大的变化趋势,但阴阳叶光呼吸速率变化的幅度不同。从 2a 和 3a 与 1a 比较看,阳叶分别增加了 1.58 %和 2.02 %,阴叶增加 19.48 %和 59.37 %,说明阳叶具有更大的变化幅度。

3.2.3 暗呼吸速率 不同受光面竹叶暗呼吸速率具有一定的差异。从表 2 可看出,各年度麻竹在各时期阳叶具有较大的暗呼吸强度,3 个年度麻竹阳叶暗呼吸速率平均值在发笋初期、盛期和末期分别是阴叶的 1.2313 倍、1.3802 倍和 1.0592 倍,平均值为 1.1758 倍,同样阴阳面差异的最大时期也是在麻竹发笋盛期。这

与前人的研究结果基本一致,但麻竹阴阳叶的差异不如林木大,欧洲山毛榉(*Fagus sylvatic*)阴阳叶暗呼吸速率差异达近 3 倍^[2]。阴阳叶呼吸强度的差异主要是由于竹叶对生境光气候的适应过程中叶的形成和相继分化期间产生的。从不同发笋期看,阳叶和阴叶的暗呼吸速率都是呈现随发笋期增大,其中,阳叶从初期至盛期和末期分别增加 25.51 % 和 71.47 %,阴叶增加了 11.97 %和 99.34 %。

表 2 阴阳叶代谢性状比较($\mu\text{molCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)
Table 2 Comparison on sun and shade leaves metabolism characteristic

项目 Item	竹龄(a) Age of bamboo	阳叶 sun leaf				阴叶 Shade leaf				总均 Total mean
		初期 Initial stages	盛期 Prosperous stage	末期 Last stage	平均 Mean	初期 Initial stages	盛期 Prosperous stage	末期 Last stage	平均 Mean	
净光合 Photosynthesis ($\mu\text{molCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)	1	1.2533	1.3276	2.4423	1.6744	1.0600	1.2778	1.7433	1.3603	1.5173
	2	1.3313	1.4880	2.3849	1.7347	1.1018	1.4353	2.3151	1.6174	1.6761
	3	1.4171	1.4595	1.7171	1.5312	1.3871	1.4434	1.4932	1.4412	1.4862
	平均 Mean	1.3339	1.4250	2.1814	1.6467	1.1829	1.3855	1.8505	1.4730	1.5599
光呼吸 Light respiration ($\mu\text{molCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)	1	0.3079	0.6052	1.3975	0.7702	0.2706	0.7294	1.1974	0.7325	0.7514
	2	0.5037	0.5989	1.2446	0.7824	0.5749	0.7177	1.3329	0.8752	0.8288
	3	0.8398	1.1072	0.4103	0.7857	1.5649	1.1936	0.7437	1.1674	0.9766
	平均 Mean	0.5504	0.7704	1.0175	0.7795	0.8035	0.8802	1.0913	0.9250	0.8523
暗呼吸 Dark respiration ($\mu\text{molCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)	1	0.6792	0.9004	1.5712	1.0343	0.5874	0.8526	1.4721	0.9867	1.0105
	2	0.8766	1.0564	1.1946	1.0425	0.6710	0.7011	1.0977	0.8233	0.9329
	3	0.9048	1.1315	1.4536	1.1633	0.7399	0.6838	1.4138	0.9459	1.0546
	平均 Mean	0.8202	1.0295	1.4065	1.0801	0.6661	0.7459	1.3279	0.9186	0.9993
CO ₂ 补偿点 CO ₂ Compensation point (mg kg^{-1})	1	67	100	80	82	89	101	82	91	87
	2	76	107	79	87	100	120	90	103	95
	3	71	102	86	86	92	113	89	98	92
	平均 Mean	71	103	82	85	94	111	87	97	91
光饱和点(lx) Light saturation point	1	18190	19190	24500	20627	14700	16500	18500	16567	18597
	2	26670	30100	36000	30923	16290	18000	21300	18530	24727
	3	28450	35030	37500	33660	17190	21500	24500	21063	27362
	平均 Mean	24437	28107	32667	28403	16060	18667	21433	18720	23562

从不同年度麻竹 3 个发笋期呼吸强度平均值看,阳叶呼吸强度有随竹龄的增大而增大的趋势,但阴叶暗呼吸强度以 2a 竹为最小,只有 1.0295 ($\mu\text{molCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$),最大的为 1a 竹,是 2a 竹的 1.1985 倍。

3.2.4 CO₂ 补偿点 从表 2 可看出,麻竹阴阳叶 CO₂ 补偿点不同,在发笋的各时期,阳叶补偿点低于阴叶。从 3 个年度麻竹各时期的平均值看,阳叶 CO₂ 补偿点在初期、盛期和末期分别是阴叶的 76.16 %、92.51 %和 93.87 %,平均为 87.67 %;从初期至末期的差异有逐渐减小的趋势;从发笋的 3 个时期看,CO₂ 补偿点都以盛期为最高,但阳叶最低值出现在初期,阴叶的最低值出现在末期。从不同年度麻竹 CO₂ 补偿点看,3 个时期阴阳叶的平均值都以 2a 竹的为最高,3a 竹的其次,1a 竹的最低。这可能与不同年度麻竹的组织结构有关。

3.2.5 光补偿点 不同受光面竹叶光补偿点具有明显的差异。从表 2 看,3 个年度麻竹阳叶光补偿点的平均值在初期、盛期和末期分别是阴叶的 1.2560 倍、1.3250 倍和 1.3723 倍,平均为 1.3204 倍,这说明阴叶具有较强的利用弱光的能力。从各时期看,阴阳面中 3 个年度麻竹的光补偿点平均值从初期至末期逐渐增大,盛期和末期与初期比较,阳叶分别增大了 13.35 %和 25.20 %,阴叶增大了 7.44 %和 14.58 %。阳叶增大的幅度比阴叶大。

从不同年度看,从 1a 至 3a 竹的光补偿点有增大的趋势,其中,阳叶 2a 竹和 3a 竹分别比 1a 竹增大 13.20 %和 29.68 %,阴叶增大 6.57 %和 11.67 %,阳叶增大的幅度比也阴叶大。产生以上现象的原因可能与竹叶组织结构的成熟度有关。

3.2.6 光饱和点 不同受光面竹叶光饱和点与光补偿点具有较相似的变化规律。从表 2 看,3 个年度麻竹阳叶光补偿点的平均值在初期、盛期和末期分别是阴叶的 1.5216 倍、1.5057 倍和 1.5241 倍,平均为 1.5173 倍,

这说明阳叶具有在高光强下具有较强的光合能力。从各时期看,阴阳叶 3 个年度麻竹的光饱和点平均值从初期至末期逐渐增大,阳叶盛期和末期的光饱和点是初期的 1.1502 倍和 1.3368 倍,阴叶是 1.1623 倍和 1.3346 倍,阳叶和阴叶具有较相似的变化。

从不同年度看,从 1a 至 3a 竹的光补偿点有增大的趋势,其中,阳叶 2a 竹和 3a 竹分别比 1a 竹增大 49.91 %和 63.19 %,阴叶增大 11.85 %和 27.14 %,阳叶增大的幅度比也阴叶大。

4 结论与讨论

营养元素在麻竹不同受光面叶片分布的差异,一方面与叶片生理状态有关,另一方面与不同光环境下叶片细胞的结构有关。阳叶 N 素浓度高于阴叶,可能是因为阳叶受光强度大,光合能力较强,所需的氮素量较大,因而竹叶具有较高氮素浓度;在不同发笋时期麻竹阴、阳叶 N 素浓度的差异,主要是由于竹叶在初期和盛期都较为浓密,阴、阳面竹叶受光强度差异较大,而在麻竹发笋末期,由于落叶及不同季节太阳辐射差异程度的变化,导致麻竹叶在初期和盛期阴阳叶氮素浓度的差异比末期的大。各年度麻竹叶片氮素浓度由初期至末期呈逐渐减少的变化趋势,主要是由于麻竹发笋消耗大量的养分,氮素的吸收量大于发笋消耗量,因此,麻竹在发笋期增加氮肥的补给,可提高竹笋产量。不同发笋时期各年度麻竹叶片氮素浓度的差异可能与麻竹发笋有关。初期和盛期 1a 和 3a 麻竹阴阳叶氮素浓度都比 2a 的高,但在发笋末期氮素浓度有随竹龄增大而减少的变化趋势,2a 麻竹在前期处于孕笋和发笋,养分消耗的是量较大,但具体原因有待于进一步对麻竹生理整合方面机制进行研究。

麻竹磷素浓度呈现阳叶大于阴叶,与氮素情况类似。但麻竹从发笋初期至末期阴阳面磷素浓度呈现逐渐减少的趋势,这可能是麻竹在发笋过程中,消耗磷素大于吸收,同时竹林经营只在 4 月份施 1 次磷肥,后期土壤中的有效磷浓度出现下降。

无论是麻竹阴叶还是阳叶,钾素浓度从发笋初期至末期也呈现逐渐减小的变化趋势,这主要是麻竹在发笋期间钾的消耗量大于吸收量所致;但是与氮素和磷素变化相反,阴叶的钾浓度大于阳叶,可能是因为钾在植物体内不形成稳定化合物,以离子状态存在,容易转移,且钾在细胞质中的浓度较低,十分稳定,当钾的数量达最适水平后,过量的钾几乎全部转移到液泡中^[18],而阴叶较阳叶受太阳的辐射少,细胞质内液泡具有较大的体积,所以在麻竹阴叶较阳叶钾的含量也相对高些,但随着麻竹发笋消耗大量的钾,液泡内钾的浓度下降,叶片钾浓度的降低,阴阳叶钾浓度的差异减小。

阳叶与阴叶相比,净光合速率、暗呼吸速率、 CO_2 补偿点、光补偿点、光饱和点较高,光呼吸较低,光合能力较强。植物对光生境表现型适应主要是在叶的形成和相继分化期间发生,这种表现型适应是在叶的形态学、组织学、超微结构和生物化学的发育过程中形成^[1]。阳面叶和阴面叶的代谢生理反应差异可能与其组织结构有关,阳叶具有一个厚外壁的上表皮,通常具有长的、紧密填充的多层栅栏组织和厚的海绵薄壁组织,具有较高的表型可塑性^[4]。

References:

- [1] Walter larcher. Plant ecophysiology. Beijing: Press of Chinese Agriculture University, 1997. 11.
- [2] Lichtenthaler H K, Buschmann C, Doll M, Fietz H J, et al. Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. Photosyn Res, 1981, 2: 115 ~ 141.
- [3] Hoflacher H, Bauer H. Light acclimation in leaves of the juvenile and adult life phases of ivy (*Hedera helix*). Physiol Plant, 1982, 56: 177 ~ 182.
- [4] Salisbury F B. Plant adaptation to the light environment. In: Kaurin A, Junttila O, Nilsen J eds. Plant production in the North. Oslo: Norwegian University Press, 1985. 43 ~ 61.
- [5] Zhou B Z, Wu L L, Zhou Y G. Aboveground Biomass of *Dendrocalamus latiflorus* Plantation in South Fujian. Forestry. Science Research, 1999, 12(1): 47 ~ 52.
- [6] Xiao X T, Ma Z X, Zhu P K. Cultural technology and application of high-yield stands of *Dendrocalamus latiflorus*, Bamboo Research, 1996, (1): 57 ~ 60.
- [7] Lian H S, Chen X K. Studies on the models for biomass of *Sinocalamus latiflorus*. J Fujian Forestry College, 1998, 18(3): 260 ~ 262.

- [8] Deng Y L , Chen Q B , Jiang X . A preliminary study on the optimum fertilization and biological features with *Dendrocalamus latiflorus* Munro. J Shichuang Agri Univ , 2000 , 1 : 43 ~ 45 .
- [9] Lin M T , Ye D H , Yang S J , et al . Effect on Slope Farmland Planting *Dendrocalamus latiflorus* and Its Measures of High Yield Cultivation. J Water and Soil Conservation , 2001 , 2 : 130 ~ 132 .
- [10] Qiu E F , Hong W , Zheng Y S , et al . A Comparison of Leaves Character Between Flowering and No-flowering *Dendrocalamus latiflorus* Planted on Mountain. J Fujian Forestry College , 2002 , 22 (2) : 105 ~ 108 .
- [11] Qiu E F , Chen Z M , Hong W , et al . Nutrient allocation pattern of *Dendrocalamus latiflorus* forest ecosystem planted on hill. Acta Ecologica Sinica , 2004 , 24 (12) : 2693 ~ 2699 .
- [12] QIU E F , Chen Z M , Zheng Y S . Study on the Biomass , Productivity and Energy Structure of Different Age *Dendrocalamus latiflorus* Plantations Planted on Mountain , 2004 : 726 ~ 730 .
- [13] Qiu E F , Chen Z M , Zheng Y S , et al . Dynamic of litterfall and its decomposition and nutrient return of shoot-used *Dendrocalamus latiflorus* planted in mountainous areas of Fujian Province. Chinese Journal of Applied Ecology , 2005 , 16 (5) : 811 ~ 814 .
- [14] Qiu E F , Chen Z M , Zheng Y S , et al . Effects of stand condition improvement on surface soil nutrient losses of hilly land *Dendrocalamus latiflorus* plantations. Chinese Journal of Applied Ecology , 2005 , 16 (6) : 1017 ~ 1021 .
- [15] Nanjin Agriculture College . Analysis on agriculture chemistry of soil . Beijing : Agriculture Press , 1980 . 36 ~ 204 .
- [16] Institute of soil science , ACS . Analysis on soil character of physical and chemistry . Shanghai : Shanghai Science and Technology Press , 1980 . 36 ~ 204 .
- [17] Qiu E F , Hong W , Zheng Y S , et al . Study on the photosynthetic and respiratory character of leaves of forest planted on hill and used for shoots of *Dendrocalamus latiflorus* during growing shoots . Scientia Silvae Sinicae , 2001 , 37 (S1) : 148 ~ 453 .
- [18] Lu J L . Plant nutrition . Beijing : Beijing Agriculture Press , 1994 . 17 ~ 82 .

参考文献:

- [1] Walter larcher . 翟志席 , 郭玉海 , 马永泽 , 等译 . 植物生态生理学 . 北京 : 中国农业大学出版社 , 1997 . 11 .
- [5] 周本智 , 吴良如 , 邹跃国 . 闽南麻竹人工林地上部分现存生物量的研究 . 林业科学研究 , 1999 , 12 (1) : 47 ~ 52 .
- [6] 肖贤坦 , 马占兴 , 朱培琨 . 麻竹丰产林培育技术与应用 . 竹类研究 , 1996 , (1) : 57 ~ 60 .
- [7] 梁鸿葵 , 陈学魁 . 麻竹单株生物量模型研究 . 福建林学院学报 , 1998 , 18 (3) : 260 ~ 262 .
- [8] 邓玉林 , 陈其兵 , 江心 . 引栽麻竹特性及优化培肥方案初探 . 四川农业大学学报 , 2000 , 1 : 43 ~ 45 .
- [9] 林明添 , 叶德淮 , 杨生健 , 等 . 坡耕地麻竹高产栽培措施与效益研究 . 水土保持研究 , 2001 , 2 : 130 ~ 132 .
- [10] 邱尔发 , 郑郁善 , 洪伟 , 等 . 开花和未开花山地麻竹叶片性状比较 . 福建林学院学报 , 2002 , 22 (2) : 105 ~ 10 .
- [11] 邱尔发 , 陈卓梅 , 洪伟 , 等 . 山地麻竹林生态系统养分分配格局 . 生态学报 , 2004 , 24 (12) : 2693 ~ 2699 .
- [12] 邱尔发 , 陈卓梅 , 郑郁善 , 等 . 不同林龄山地麻竹笋用林生态系统生物量、生产力及能量结构 . 林业科学研究 , 2004 : 726 ~ 730 .
- [13] 邱尔发 , 陈卓梅 , 郑郁善 . 麻竹山地笋用林凋落物发生、分解及养分归还动态 . 应用生态学报 , 2005 , 16 (5) : 811 ~ 814 .
- [14] 邱尔发 , 陈卓梅 , 郑郁善 , 等 . 土壤垦复对山地麻竹林地表养分流失动态的影响 . 应用生态学报 , 2005 , 16 (6) : 1017 ~ 1021 .
- [15] 南京农学院主编 . 土壤农化分析 . 北京 : 农业出版社 , 1980 . 36 ~ 204 .
- [16] 中国科学院土壤研究所 . 土壤理化分析 . 上海 : 上海科技出版社 , 1978 . 62 ~ 409 .
- [17] 邱尔发 , 洪伟 , 郑郁善 , 等 . 麻竹山地笋用林笋期叶片光合及呼吸性状研究 . 林业科学 , 2001 , 37 (专刊 1) : 148 ~ 453 .
- [18] 陆景陵主编 . 植物营养学 (上册) . 北京 : 农业出版社 , 1994 . 17 ~ 82 .