

福建东山引种的短枝木麻黄国际种源 含能有机物和单宁含量的研究

黄舒静¹, 郭启荣¹, 林益明^{1*}, 叶功富²

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012)

摘要: 以福建东山引种的 33 个短枝木麻黄国际种源为材料, 对小枝中的粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖以及总酚、可溶性缩合单宁、结合态缩合单宁的含量进行测定。结果表明: 福建东山引种的 33 个短枝木麻黄粗蛋白的含量平均为 $(11.08 \pm 1.93)\%$, 粗脂肪含量平均为 $(2.37 \pm 0.51)\%$, 可溶性糖含量平均为 $(5.30 \pm 1.00)\%$ 。大洋洲种源的短枝木麻黄的总酚含量较低 ($n=8$), 与非洲 ($n=5$) 和亚洲 ($n=20$) 种源的短枝木麻黄总酚含量差异显著; 大洋洲种源的可溶性缩合单宁的含量与亚洲种源没有显著性差异, 非洲种源的可溶性缩合单宁含量较其他两个洲种源的高; 各洲种源的结合态缩合单宁均无显著性差异。筛选出 23 号(马来西亚), 5 号(印度), 30 号(泰国) 为沿海防护林中较为优良的树种种源。本实验为进一步丰富生产用种、提高沿海防护林的生产力和抗逆性提供重要依据。

关键词: 短枝木麻黄; 种源; 含能有机物; 单宁

中图分类号: Q 946.84

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2009)01-0124-04

木麻黄林作为沿海防护林, 生长的地带多位于滨海沙地, 自然条件恶劣。在长期的自然选择过程中对其生境的适应性演化, 木麻黄植物体内具有较高的次生代谢物质(单宁)含量^[1], 高的单宁含量具有重要的生态意义。一般来说, 海岸带木麻黄林, 要消耗大量能量以抵抗强风等逆境胁迫; 为保持能量平衡, 就必须积累能量丰富的化合物。植物在能量生产中合成的基本含能物质是脂肪、蛋白质和碳水化合物, 它们是植物含能产品干物质的主要组成成分^[2]。单宁也是木麻黄体内一种重要的含能物质, 另外单宁中的水溶性成分, 可以和可溶性糖构成可溶性有机物质的重要成分。同时, 单宁也是一种具有生物活性的天然化合物, 具有收敛性^[3-4], 能够保护植物体免受病虫害的嚼食。

我们选择不同种源的短枝木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)小枝, 测定粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖以及可提取的总酚、可溶性缩合单宁、结合态缩合单宁含量, 分析不同种源的短枝木麻黄含能物质以及各种单宁含量的差异, 为进一步探讨其抗逆性提供重要依据。

1 材料和方法

1.1 样品的采集

短枝木麻黄小枝采自福建东山县赤山林场大帽山国际种源引种试验园内, 位于 $23^{\circ}41'N$, $117^{\circ}18'E$, 属南亚热带海洋性气候, 年平均气温 $20.8^{\circ}C$, 年平均降水量 1945.3 mm , 年平均蒸发量为 1056 mm 。试验园的短枝木麻黄来自世界上 15 个国家和地区, 树干笔直, 树高 12 m , 树龄 10 a 左右。采集时间为 2005 年 9 月。不同种源的短枝木麻黄小枝均采自林冠外侧, 按东西南北向混合采样, 每个种源设 3 个重复, 采后立即放入液氮中保存。

1.2 测定方法

可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[5]; 粗脂肪含量的测定采用石油醚索氏提取法^[6]。N 含量采用纳氏试剂比色法测定^[7], 粗蛋白含量的测定采用 $6.25 \times N\%$ 。

总酚含量的测定采用普鲁士蓝法^[8], 可溶性缩合单宁以及结合态的缩合单宁含量测定采用盐酸-正丁醇法^[9-10]。以纯化的短枝木麻黄小枝缩合单宁为标准物, 标准物的提取和纯化方法见参考文献^[11]。

数据统计分析采用 SPSS for Windows 13.0, 多组间比较用 One-Way ANOVA 进行分析^[12]。

2 结果与分析

2.1 短枝木麻黄小枝的含能有机物含量

大洋洲种源 ($n=8$) 的粗蛋白含量在 $9.15\% \sim 15.01\%$ 之间(表 1), 平均为 $(12.17 \pm 0.16)\%$; 非洲种

收稿日期: 2008-05-14

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD03A14-01), 福建省自然科学基金(B0410006)资助

*通讯作者: linyim@xmu.edu.cn

源($n=5$)的粗蛋白含量在 8.23% ~ 13.41% 之间(表 2), 平均为(11.54 ± 0.17)%; 亚洲种源($n=20$)的粗蛋白含量在 6.74% ~ 14.66% 之间(表 3), 平均为(10.83 ± 0.19)%; 福建东山引种的 33 个短枝木麻黄不同种源粗蛋白的含量平均为(11.08 ± 1.93)%。

大洋洲种源粗脂肪含量在 1.12% ~ 3.02% 之间, 平均为(2.42 ± 0.15)%; 非洲种源粗脂肪含量在 1.90% ~ 2.87% 之间, 平均为(2.59 ± 0.24)%; 亚洲种源粗脂肪含量在 1.51% ~ 3.61% 之间, 平均为(2.25 ± 0.14)%; 福建东山引种的 33 个短枝木麻黄粗脂肪含量平均为(2.37 ± 0.51)%。

大洋洲种源可溶性糖含量在 2.81% ~ 6.30% 之间, 平均为(5.27 ± 0.16)%; 非洲种源可溶性糖含量在 4.22% ~ 7.52% 之间, 平均为(6.10 ± 0.21)%; 亚洲种源可溶性糖含量在 3.91% ~ 6.87% 之间, 平均为(5.27 ± 0.13)%; 福建东山引种的 33 个短枝木麻黄可溶性糖含量平均为(5.30 ± 1.00)%。

刘荣堂和陈本健^[13]分析了赛加羚羊引种区的 72 种植物的营养成分, 粗蛋白含量一般在 10% ~ 15% 之间, 这个结果与所测定的东山 33 个国际种源短枝木麻黄结果比较接近。

2.2 短枝木麻黄小枝的单宁含量

大洋洲种源的总酚含量较低, 平均为(12.66 ± 1.06)%; 非洲种源的总酚含量平均为(15.63 ±

1.34)%; 亚洲种的总酚含量平均为(15.15 ± 1.10)%。由方差分析得出: 种源为大洋洲的短枝木麻黄小枝的总酚含量与种源为非洲和亚洲的短枝木麻黄小枝的总酚含量差异显著($p < 0.05$), 非洲种源与亚洲种源的总酚含量差异不显著($p > 0.05$)。

大洋洲种源的可溶性缩合单宁的含量(平均为(7.40 ± 0.58)%), 与亚洲种源(平均为(7.64 ± 1.01)%)没有显著性差异($p > 0.05$)。非洲种源的可溶性缩合单宁含量为平均(10.81 ± 1.11)%, 含量较其他两个洲种源的高。

各洲种源的结合态缩合单宁无显著性差异。大洋洲种源的结合态缩合单宁含量在(0.76 ± 0.05)% ~ (2.14 ± 0.12)% 之间波动, 平均为(1.34 ± 0.11)%; 非洲种源的在(0.75 ± 0.02)% ~ (1.85 ± 0.06)% 之间, 平均为(1.13 ± 0.05)%; 亚洲种源种的在(0.42 ± 0.05)% ~ (1.63 ± 0.08)% 之间, 平均为(1.06 ± 0.06)%。

比较来看, 各种源的可溶性缩合单宁显著高于结合态缩合单宁含量。

3 讨论

以粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖、总酚、可溶性缩合单宁、结合态缩合单宁 6 个指标对 33 个国际种源短枝木麻黄进行聚类分析, 可将 33 个种源短枝木麻黄分为 2

表 1 大洋洲种源的短枝木麻黄含能物质和单宁含量

Tab. 1 Contents of energy containing substances and tannins in Oceania provenances of *C. equisetifolia* (%)

顺序	种源号	产地	粗蛋白	粗脂肪	可溶性糖	总酚	可溶性缩合单宁	结合态缩合单宁
1	2	澳大利亚	12.08 ± 0.13	1.12 ± 0.02	5.16 ± 0.22	15.93 ± 0.35	7.05 ± 0.35	2.00 ± 0.19
2	37	汤加	10.00 ± 0.28	2.85 ± 0.22	2.81 ± 0.21	11.97 ± 0.47	6.94 ± 0.42	1.79 ± 0.20
3	26	斐济	10.69 ± 0.14	2.17 ± 0.31	6.11 ± 0.01	9.22 ± 1.23	5.51 ± 0.81	1.10 ± 0.04
4	1	澳大利亚	15.01 ± 0.12	2.48 ± 0.27	6.30 ± 0.17	13.08 ± 1.43	12.41 ± 0.34	1.12 ± 0.12
5	1	澳大利亚	15.01 ± 0.12	2.48 ± 0.27	6.30 ± 0.17	10.28 ± 0.75	7.36 ± 0.27	1.03 ± 0.06
6	20	巴布亚新几内亚	14.07 ± 0.16	3.02 ± 0.04	5.70 ± 0.18	12.03 ± 0.79	8.95 ± 0.26	2.13 ± 0.12
7	38	瓦努阿图	9.15 ± 0.31	2.75 ± 0.07	4.94 ± 0.20	15.04 ± 1.47	3.95 ± 0.77	0.75 ± 0.05
8	35	关岛	11.36 ± 0.06	2.54 ± 0.03	4.88 ± 0.12	13.72 ± 2.00	7.02 ± 1.42	0.76 ± 0.09

表 2 非洲种源的短枝木麻黄含能物质和单宁含量

Tab. 2 Contents of energy containing substances and tannins in Africa provenances of *C. equisetifolia* (%)

顺序	种源号	产地	粗蛋白	粗脂肪	可溶性糖	总酚	可溶性缩合单宁	结合态缩合单宁
1	19	肯尼亚	10.85 ± 0.24	2.71 ± 0.26	6.68 ± 0.04	11.90 ± 0.40	9.92 ± 0.82	0.99 ± 0.05
2	17	肯尼亚	13.41 ± 0.18	2.87 ± 0.44	7.52 ± 0.40	18.42 ± 2.66	10.55 ± 1.16	0.79 ± 0.05
3	18	肯尼亚	12.80 ± 0.21	2.74 ± 0.09	7.44 ± 0.35	12.67 ± 2.11	11.51 ± 0.64	1.84 ± 0.06
4	36	贝宁	8.23 ± 0.21	2.76 ± 0.21	4.64 ± 0.11	18.14 ± 0.28	8.30 ± 1.44	0.74 ± 0.02
5	14	埃及	12.45 ± 0.04	1.90 ± 0.24	4.22 ± 0.14	17.02 ± 1.25	13.77 ± 1.48	1.25 ± 0.08

大类,第一类包括一个大洋洲种源1号,所有的非洲种源以及亚洲种源的23号,40号,8号,25号,5号,30号,4号.第二类为剩余的其他种.通过分析发现,总酚和可溶性缩合单宁成为划分这两类的重要因素.高总酚含量和高可溶性缩合单宁含量的种源被分为一类即第一类.

合成和利用多种化学物质是植物适应环境的重要对策之一.Bliss^[14]研究表明,植物各器官的能量含量变化规律同粗脂肪、蛋白质的含量呈明显的正相关.林鹏和范航清^[15]研究了红树植物秋茄落叶分解过程中热值及有机化合物(粗脂肪、粗蛋白、粗纤维、总糖、单宁和无N浸出物等营养成分)的能量变化,并探讨了它们的相关性.本实验中,不同种源粗蛋白的含量平均为(11.08 ± 1.93)%,粗脂肪含量平均为(2.37 ± 0.51)%,可溶性糖含量平均为(5.30 ± 1.00)%.木麻黄生长在滨海沙土,土壤贫瘠,养分低,植物通过光合作用生产高含量的单宁、蛋白质,以及高能的化合物脂肪,保护叶子免受或减轻动物(昆虫)的啃食,避免了植物体的能量损失.可溶性糖可作为植物受大气伤害程度的指标,也可以作为一种耐盐的指标^[16].林鹏^[17]、林益明等^[18]研究表明,能量(热值)的高低与植物的抗寒性有一定的关系.因此,这些含能物质具有一定的生态

学适应意义.单宁等多酚类物质可阻止其它生物的侵袭^[19],多酚类化合物的含量越高,植物抗霜冻和防御病虫害侵袭的能力越强^[20-21].木麻黄单宁含量的高低,可以作为一个抗病虫害的指标.此外,单宁可能通过一系列机制对生态系统的营养动态产生影响,会降低贫瘠生态系统中养分损失和改变氮的循环,以提高有机/无机氮形态的水平^[21-22].短枝木麻黄单宁总酚含量在9.22%~20.46%之间,平均为14.62%.其中大洋洲种源的短枝木麻黄的总酚含量较低($n=8$),与非洲($n=5$)和亚洲($n=20$)种源的短枝木麻黄总酚含量差异显著;大洋洲种源的可溶性缩合单宁的含量与亚洲种源没有显著性差异,非洲种源的可溶性缩合单宁含量较其他两个洲种源的高;各洲种源的结合态缩合单宁均无显著性差异.因此,可筛选非洲种源和亚洲种源作为生态适应性植物.在引进和筛选优良种源木麻黄时,含能有机物和单宁可以作为重要的指标.叶功富等^[23]以用材林为培育目标,从东山这些种源中筛选出了7个优良种源.综上所述,以抗性为培育目标,结合叶功富等已筛选的7个优良种源,可以筛选出23号(马来西亚),5号(印度),30号(泰国)为沿海防护林中较为优良的树种种源.

表3 亚洲种源的短枝木麻黄含能物质和单宁含量

Tab.3 Contents of energy containing substances and tannins in Asia provenances of *C. equisetifolia* (%)

顺序	种源号	产地	粗蛋白	粗脂肪	可溶性糖	总酚	可溶性缩合单宁	结合态缩合单宁
1	23	马来西亚	9.37 ± 0.18	2.39 ± 0.12	5.66 ± 0.12	18.45 ± 1.25	8.64 ± 1.23	1.10 ± 0.049
2	40	中国海南	10.65 ± 0.33	2.30 ± 0.14	6.36 ± 0.16	16.73 ± 3.87	14.14 ± 1.18	1.63 ± 0.081
3	34	马来西亚	11.57 ± 0.18	2.09 ± 0.16	4.70 ± 0.04	16.21 ± 2.75	6.35 ± 0.83	0.96 ± 0.06
4	24	马来西亚	10.37 ± 0.16	2.07 ± 0.07	6.37 ± 0.28	20.46 ± 1.01	4.66 ± 0.49	0.51 ± 0.10
5	39	中国广东	11.27 ± 0.16	2.20 ± 0.15	4.88 ± 0.25	12.75 ± 1.27	6.81 ± 1.64	1.33 ± 0.11
6	29	斯里兰卡	10.27 ± 0.31	2.46 ± 0.19	4.51 ± 0.11	13.21 ± 0.47	3.77 ± 0.87	0.86 ± 0.03
7	6	印度	13.79 ± 0.10	1.51 ± 0.04	4.75 ± 0.09	14.80 ± 0.19	7.07 ± 1.78	1.51 ± 0.07
8	22	菲律宾	10.21 ± 0.23	2.53 ± 0.02	6.87 ± 0.15	17.12 ± 0.45	3.49 ± 0.71	0.49 ± 0.032
9	32	泰国	11.22 ± 0.23	1.63 ± 0.11	4.97 ± 0.07	11.18 ± 0.27	7.44 ± 1.51	0.41 ± 0.05
10	8	印度	14.66 ± 0.11	2.11 ± 0.07	5.45 ± 0.15	15.22 ± 0.32	11.45 ± 0.27	0.73 ± 0.01
11	10	越南	9.14 ± 0.19	2.91 ± 0.28	5.04 ± 0.24	13.07 ± 0.82	2.85 ± 0.36	0.44 ± 0.04
12	25	马来西亚	11.63 ± 0.29	1.71 ± 0.09	5.15 ± 0.19	18.57 ± 1.01	12.91 ± 0.41	1.41 ± 0.16
13	5	印度	12.45 ± 0.04	1.90 ± 0.24	4.22 ± 0.14	14.58 ± 0.70	11.58 ± 1.68	1.12 ± 0.04
14	12	越南	9.91 ± 0.12	3.61 ± 0.12	7.01 ± 0.13	12.85 ± 0.26	3.52 ± 0.66	0.85 ± 0.01
15	21	菲律宾	11.44 ± 0.04	1.76 ± 0.11	6.12 ± 0.06	13.47 ± 0.32	8.17 ± 0.42	1.40 ± 0.12
16	7	印度	6.74 ± 0.29	1.88 ± 0.35	3.91 ± 0.11	15.31 ± 1.60	5.19 ± 1.87	1.32 ± 0.02
17	30	泰国	11.03 ± 0.39	1.96 ± 0.13	4.40 ± 0.11	16.25 ± 1.17	12.32 ± 0.39	1.44 ± 0.03
18	28	斯里兰卡	10.35 ± 0.21	2.19 ± 0.09	4.73 ± 0.12	13.86 ± 1.25	7.23 ± 1.44	1.34 ± 0.02
19	4	印度	8.23 ± 0.21	2.76 ± 0.21	4.64 ± 0.11	15.62 ± 1.57	8.89 ± 1.47	1.05 ± 0.08
20	K1	中国东山	12.41 ± 0.06	3.01 ± 0.02	5.77 ± 0.08	13.22 ± 1.42	6.16 ± 0.97	1.17 ± 0.03

参考文献:

- [1] 张振钰,林锦仪,陈忠仁. 三种重要单宁植物营养器官中单宁的分布[J]. 热带亚热带植物学报,1997,5(2):89-92.
- [2] 祖元刚. 能量生态学引论[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1990:1-388.
- [3] Makkar H P S,Dawra R K,Singh B. Protein precipitation methods for quantitation of tannins:a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1989,37:1197-1202.
- [4] Mupangwa J F,Acamovic T,Topps J H,et al. Content of soluble and bound condensed tannins of three tropical herbaceous forage legumes [J]. Animal Feed Science and Technology,2000,83:139-144.
- [5] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:194-197.
- [6] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学分析常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983:261-265.
- [7] 华南热带作物研究院. 用比色法测定橡胶叶片氮含量[J]. 热带科技通讯,1974,4:12-13.
- [8] Graham H D. Stabilization of the prussian blue color in the determination of polyphenols [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1992,40:801-805.
- [9] Terrill T H,Rowan A M,Douglas G B,et al. Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants,protein concentrate meals and cereal grains [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,1992,58(3):321-329.
- [10] 黄玉杰,吴彪,向平,等. 粗枝木麻黄(*Casuarina glauca*)小枝中缩合单宁提取条件的探讨[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2005,44(6):32-36.
- [11] Hagerman A E. Tannin chemistry [G/OL]. 1998-11-12 [2000-07-12]. <http://www.users.muohio.edu/hagermae/tannin.pdf>.
- [12] 卢纹岱. SPSS for Windows 从入门到精通[M]. 北京:电子工业出版社,1997.
- [13] 刘荣堂,陈本健. 赛加羚羊 *Saiga tatarica* 引种区植被特征研究[J]. 生态学报,1996,16(3):265-268.
- [14] Bliss L C. Caloric value and lipid content in alpine tundra plants [J]. Ecology,1962,43:753-757.
- [15] 林鹏,范航清. 红树植物秋茄落叶分解碎屑的有效能研究[J]. 植物学报,1996,38(2):142-149.
- [16] 许祥明,叶和春,李国凤. 植物抗盐机理的研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2000,6(4):379-387.
- [17] 林鹏. 中国红树林生态系[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [18] 林益明,黎中宝,陈奕源,等. 福建华安竹园一些竹类植物叶的热值研究[J]. 植物学通报,2001,18(3):356-362.
- [19] 李雄彪,张金忠. 简明植物生物化学[M]. 天津:南开大学出版社,1992:305-364.
- [20] Wain R L. Phenols as a plant growth regulator[J]. Nature,1965,207:167.
- [21] Lin Y M,Liu J W,Xiang P,et al. Tannin dynamics of propagules and leaves of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza* in the Jiulong River Estuary, Fujian, China[J]. Biogeochemistry,2006,78:343-359.
- [22] 丁印龙,向平,谭忠奇,等. 榕树叶片分解过程的物质和能量动态[J]. 中国生态农业学报,2005,13(1):53-56.
- [23] 叶功富,罗美娟,林金木. 短枝木麻黄在福建东山试点的种源试验结果分析与选择[J]. 北京林业大学学报,2004,26(6):6-11.

The Analysis of Energy-containing Substance and Tannins in Introduced International Provenances of *Casuarina equisetifolia* in Dongshan County, Fujian

HUANG Shu-jing¹, GUO Qi-rong¹, LIN Yi-ming^{1*}, YE Gong-fu²

(1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, China)

Abstract: The contents of the energy-containing substance (crude protein, raw fat and soluble sugar) and secondary metabolites (total phenolics, extractable condensed tannins and bound condensed tannins) were analyzed on the 33 introduced international provenances of *Casuarina equisetifolia* in Dongshan County, Fujian province. The contents of crude protein, raw fat and soluble sugar of 33 international provenances averaged (11.08 ± 1.93)%, (2.37 ± 0.51)% and (5.30 ± 1.00)%, respectively, total phenolics in Oceania provenances of *Casuarina equisetifolia* were lower than that in Africa and Asia provenances, the extractable condensed tannins of Africa provenances were higher than that of Oceania and Asia, bound condensed tannins of different provenances of *Casuarina equisetifolia* showed no significant differences from each other at $p > 0.05$. Three good provenances, namely, 23rd (Malaysia), the 5th (India), the 30th (Thailand) were selected according to the above analyses.

Key words: *Casuarina equisetifolia*; provenances; energy containing substance; tannins