

红树植物繁殖体发育过程的能量变化*

林 鹏 吴世军 林益明

(厦门大学生物学系 361005)

提要 探讨了桐花树 (*Aegiceras coniculatum*)、秋茄 (*Kandelia candel*)、角果木 (*Ceriops tagal*)、海莲 (*Bruguiera sexangula*) 和木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*) 5 种红树植物繁殖体的热值及其动态变化。结果表明:(1)海南东寨港 5 种红树植物繁殖体的热值大小不同,其中花的热值最高是桐花树,为 20.423 kJ/g,花的热值最低是木榄,为 19.214 kJ/g;果的热值最高是角果木,为 20.255 kJ/g,果的热值最低是木榄,为 18.582 kJ/g;成熟胚轴的热值最高是角果木,为 19.792 kJ/g,成熟胚轴的热值最低是桐花树,为 16.827 kJ/g。(2)随着纬度的增加,桐花树各期繁殖体热值略为提高,而秋茄则相反略为降低。(3)随着繁殖体从花、果至胚轴发育过程,热值逐渐降低,而单个繁殖体的生物量及其能量贮量则随之提高。

关键词 红树植物,繁殖体,热值,能量

红树林是热带和亚热带海岸潮间带特有的木本植物群落。红树植物的繁殖具有特殊的方式,即胎生现象^[1],种子在母树上的果实中发芽,从果中伸出形成一个下垂的胚轴(种苗),成熟后从母树上脱落,插入泥中即可生长成苗,若落入潮流中,也可随潮汐远漂传播。红树的胎生可分“显胎生”和“隐胎生”两种:若胚轴在母树上发育时突破果皮外显著称“显胎生”;若发育时果皮也随之生长,胚轴始终包于果皮之内,直至脱离母树落地吸水后膨胀才突破果皮者则称为“隐胎生”。红树的胎生是适应特殊海岸滩涂生境的特殊繁殖方式,是一个耗能和贮能的过程,也是红树种群和群落得以繁衍和发展的基础。在红树胎生与抗盐方面已做了不少的工作^[2],但有关繁殖体能量的研究,国内外尚未见报道。本文研究了不同红树植物繁殖体的能量差异,以及发育过程的能量动态变化,为揭示红树胎生繁殖过程的能量特征,提供科学依据。

1 自然条件概况

样品采自海南省琼山县东寨港(19°54' N)、福建省云霄县竹塔(23°55' N)和龙海县浮宫(24°24' N) 3 个红树林自然保护区。实验点的气候类型:海南东寨港为北热带海洋气候,福建省云霄竹塔和龙海县浮宫属南亚热带海洋气候。各样点的自然概况见表 1。

表 1 各样点的自然条件概况

Tab.1 The natural condition of sampling sites

地点	纬度 (N)	年均温 (℃)	年降水量 (mm)	土壤 pH 值	土壤 盐度
海南东寨港	19°54'	23.8	1 697.8	6.45	13.7
福建云霄竹塔	23°55'	21.1	1 642.3	6.86	30.0~33.0
福建龙海浮宫	24°24'	20.9	1 284.4	7.23	16.3

2 材料和方法

2.1 材料

1990 年 10 月至 1992 年 4 月采集桐花树 (*Aegiceras coniculatum*)、秋茄 (*Kandelia candel*)、角果木 (*Ceriops tagal*)、海莲 (*Bruguiera sexangula*) 和木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*) 5 种红树植物的繁殖体花、果和不同发育阶段的胎生胚轴。其中,花期采集盛开的花朵;果期采自花瓣脱落后 2~3 d 的果实;胚轴期定株采集不同发育阶段的胎生胚轴(按胚轴长度和成熟度划分,见表 2),并把胚轴与宿存果皮分开。各样品均进行 2 次采集测定,求平均值。

2.2 分析方法

* 国家自然科学基金资助项目 4870293 号。
收稿日期:1999-06-03;修回日期:2000-05-10

各样品经清洗后,经 80℃下烘干,磨粉后待测。另取小样于 105℃下烘至衡重,求算含水量。热值采用长沙仪器厂生产的 GR3500 型微电脑氧弹式热量计测定,每次取样 1.0 g 左右,每个样品 2~3 次重复,重复间允许误差在 ±200 J/g。

表 2 5 种红树植物胎生胚轴发育过程等级划分
Tab.2 Division of developmental stages by the length of hypocotyls

发育过程	等级划分(cm)				
	秋茄	桐花树	角果木	木榄	海莲
小胚轴	5~10	1~2	5~9	4~6	3~5
中胚轴	10~15	2~3	9~14	6~9	5~8
成熟胚轴	>15	>3	>14	>9	>8

3 结果与讨论

3.1 海南东寨港 5 种红树植物繁殖体的热值比较

海南东寨港同一生境的 5 种红树植物繁殖体花、果以及发育成熟的胎生胚轴的热值变化见表 3。从表 3 中可以看出:花热值最高的种类是桐花树(20.423 kJ/g),最低的是木榄(19.214 kJ/g),两者相差 1.209 kJ/g,花热值的大小顺序是桐花树>角果木>秋茄>海莲>木榄,其中桐花树略高于角果木和秋茄而明显高于海莲和木榄;果热值最高的是角果木(20.255 kJ/g),最低的是木榄(18.582 kJ/g),两者相差 1.673 kJ/g,大小顺序是角果木>桐花树>秋茄>海莲>木榄,其中角果木略高于桐花树和秋茄而明显

高于海莲和木榄;发育成熟的胎生胚轴热值最高的是角果木(19.792 kJ/g),最低的是桐花树(16.827 kJ/g),两者相差 2.965 kJ/g,大小顺序是角果木>秋茄>海莲>木榄>桐花树,其中角果木明显高于其余 4 个种。这表明不同红树植物繁殖体的热值有一定的差异,这与物种的特性及其生境对种的适宜度和组成的物质成分有关。从表 3 中也可以看出,海莲与木榄同类繁殖体的热值差异很小,这与海莲与木榄有较近的亲缘关系(同为木榄属)而具有相似的生理生态特性有关。桐花树的花有花蜜,因而热值较高。

表 3 海南东寨港 5 种红树植物繁殖体热值比较

Tab.3 Differences in gross caloric values of propagules among 5 mangrove species in Dongzhai Harbor, Hainan

繁殖体	热值(kJ/g)				
	桐花树	秋茄	角果木	海莲	木榄
花	20.423	20.281	20.381	19.595	19.214
果	19.983	19.214	20.255	18.716	18.582
成熟胚轴	16.827	17.918	19.792	17.270	17.115

3.2 不同纬度生境桐花树和秋茄繁殖体的热值变化

海南琼山县东寨港(19°54'N)、福建云霄县竹塔(23°55'N)和龙海市浮宫(24°24'N)3 个不同纬度地带的红树林区的 2 个红树种类桐花树和秋茄的繁殖体花、果及发育成熟的胎生胚轴热值的测定结果见表 4。

从表 4 可知,随着纬度的升高,桐花树繁殖体花、

表 4 不同纬度桐花树和秋茄繁殖体热值的变化

Tab.4 Changes in gross caloric values of propagules of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* from different latitudes

繁殖体	热值(kJ/g)					
	桐花树			秋茄		
	海南东寨港 (19°54'N)	福建云霄 (23°55'N)	福建龙海 (24°24'N)	海南东寨港 (19°54'N)	福建云霄 (23°55'N)	福建龙海 (24°24'N)
花	20.423	20.446	20.787	20.281	20.214	20.143
果	19.983	20.071	20.381	19.214	19.088	19.079
成熟胚轴	16.827	16.856	16.898	17.918	17.910	17.822

果及成熟胚轴热值随之略微提高,如海南东寨港至福建龙海浮宫(纬度北移 4.7°)花热值增加 0.364 kJ/g;而秋茄则不同,随着纬度的升高,秋茄繁殖体花、果及成熟胚轴热值随之略微下降,如福建龙海浮宫秋茄花比海南东寨港少 0.138 kJ/g。这表明了,随着生境(纬度)的不同,红树植物繁殖体热值略有差异,且变化规

律因种类不同而不同。这主要在于生境条件的综合影响,导致植物组织器官的物质组成及能量累积的差异。也有关于植物营养器官的热值随纬度变化而不同的报道。Golley F.B. 1969 年在研究热带植物叶的热值时发现:热带植物叶热值存在着随纬度升高而上升的趋势,尽管局部地区因小生境的影响而存在例外。

Wielgolaski F.E. 等 1975 年也指出极地冻原也存在这一现象, 并认为这主要是因纬度的增加而温度下降, 致使植物累积高能量的脂肪而使热值升高^[3]。林光辉和林鹏 1991 年在研究秋茄植物叶片热值时发现, 秋茄叶热值在除冬季随着纬度的升高而升高外, 其他季节是随着纬度的升高而下降。但从 3 个不同纬度样地的桐花树和秋茄繁殖体总的热值变化看(表 4), 其差异的幅度是很小的, 特别是发育成熟的胎生胚轴(种苗), 如福建龙海浮宫与海南东寨港, 桐花树和秋茄的发育成熟的胎生胚轴热值仅分别相差 0.071 kJ/g 和 0.096 kJ/g, 这表明, 虽然生境热量资源存在差异, 但作为新一代的种苗仍保证有相近的能量贮存, 这也是种群在其繁殖体生长的基础保证, 是物种的基本特征。

3.3 红树植物繁殖体发育过程的热值变化

从图 1、2 可以看出: 红树植物的繁殖体, 均表现随花→果→小胚轴→中胚轴→成熟胚轴的发育过程, 热值逐渐降低。(1) 从海南东寨港的 5 个种类看, 各发育阶段的热量差值降低幅度: 花→果为秋茄>海莲>木榄>桐花树>角果木, 分别为 1.067, 0.879, 0.632, 0.440 和 0.126 kJ/g; 果→小胚轴为秋茄>海莲>木榄>桐花树>角果木, 分别为 1.007, 0.877, 0.576, 0.430 和 0.070 kJ/g; 小胚轴→中胚轴为桐花树>木榄>海莲>秋茄>角果木, 分别为 0.874, 0.552, 0.322, 0.255 和 0.059 kJ/g; 中胚轴→成熟胚轴为桐花树>木榄>海莲>秋茄>角果木, 分别为 1.852, 0.339, 0.247, 0.230 和 0.138 kJ/g。从整体看(花→成熟胚轴), 角果木降低最小, 而桐花树最大, 顺序为桐花树>秋茄>海莲>木榄>角果木, 花→成熟胚轴的热量差值分别为 3.596, 2.363, 2.325, 2.099 和 0.589 kJ/g。(2) 从福建龙海浮宫的两个种类来看: 秋茄和桐花树的热值的变化趋势与海南东寨港秋茄和桐花树的相一致。上述结果表明, 不同植物种类及不同发育阶段繁殖体的热值的降低幅度不同, 这与不同植物具有不同的生物学特性有关, 木榄和海莲各期的变化幅度及其规律很接近(海莲略高于木榄), 这与两个种有较近的亲缘关系(同属)而具有相似的生理生态特性有关。繁殖体发育过程热值降低, 表明了各组有机成分的变化, 纤维素类增加而高能物质减少。

通常来说, 植物的繁殖体含有较多的高能化合物而具有较高的热值。但红树植物的胎生胚轴, 特别是

成熟胚轴(已成为幼苗)的热值比花、果的热值低。这是因为红树植物对特殊环境长期适应的结果, 红树植物的种子在母体上直接形成胎生胚轴(幼苗), 在生长发育过程中, 果实内贮存的营养物质已开始消耗, 而纤维素等低能物质增加; 同时, 为适应海上漂流, 在结构上胚轴含有大量的气道, 因而, 成熟胚轴的热值较低。

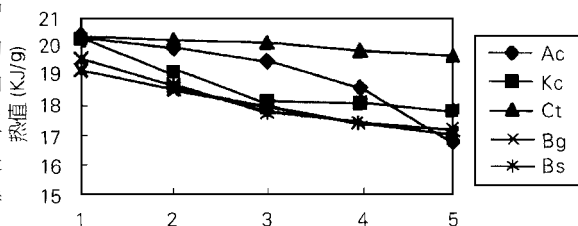


图1 海南东寨港 5 种红树植物繁殖体发育过程的热值变化

Fig.1 Changes in caloric values during the development of propagules of five mangrove species from Dongzhai Harbor, Hainan province

1: 花; 2: 果; 3: 小胚轴; 4: 中胚轴; 5: 成熟胚轴(图 2 同)

Ac: *Aegiceras coniculatum*; Kc: *Kandelia candel*; Ct: *Ceriops tagal*;

Bg: *Bruguiera gymnorhiza*; Bs: *Bruguiera sexangula*

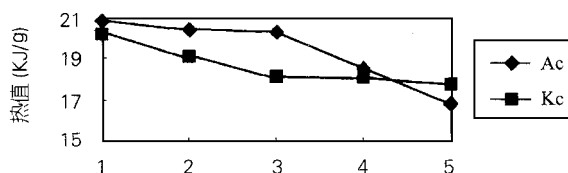


图2 福建龙海 2 种红树植物繁殖体发育过程的热值变化

Fig.2 Changes in caloric values of the propagules of two mangrove species from Longhai, Fujian province

3.4 海南东寨港 5 种红树植物繁殖体的含水量及其与热值关系

海南东寨港 5 种红树植物繁殖体由花→果→小胚轴→中胚轴→成熟胚轴的发育过程中的含水量各不相同(表 5)。其中果的含水量大于花, 而胚轴由小胚轴→中胚轴→成熟胚轴含水量呈现下降的趋势。

从 5 种红树植物繁殖体发育过程各期含水量的均值来看, 果(68.59%)>小胚轴(66.63%)>花(65.63%)>中胚轴(63.91%)>成熟胚轴(58.10%)。果的平均含水量最高, 成熟胚轴最低。含水量的高低在某

表 5 海南东寨港 5 种红树植物繁殖体的含水量

Tab.5 Water contents of propagules among 5 mangrove species in Dongzhai Harbor, Hainan

繁殖体	含水量(%)					
	桐花树	秋茄	角果木	木榄	海莲	加权
花	63.88	67.82	62.01	67.73	66.73	65.63
果	69.13	68.46	62.92	71.88	70.58	68.59
小胚轴	65.60	71.96	62.93	68.23	64.44	66.63
中胚轴	59.49	68.92	61.16	64.95	65.05	63.91
成熟胚轴	54.53	55.32	58.69	60.69	61.29	58.10

种程度上可以反映植物的生理代谢活性。花的含水量低于果,可能是由于花瓣与空气接触的面积大,水分易蒸发有关。果的含水量较高,说明了果的生理代谢活性较强,这可能是胎生胚轴能快速生长发育的原因之一。成熟胚轴的含水量较低,是红树植物的抗盐适应的一种方式,较低的含水量不影响落地后的生长,也是成熟繁殖体的特性之一。

从图 1,2 可以看出:红树植物的繁殖体,均表现随花→果→小胚轴→中胚轴→成熟胚轴的发育过程,热值逐渐降低。含水量的变化趋势稍有些不同,但在胚轴期从小胚轴到成熟胚轴的发育过程中海南东寨港 5 种红树植物繁殖体的含水量与热

值的变化趋势相同。

3.5 秋茄、桐花树单个繁殖体的能量贮量

红树植物的胎生繁殖,母体不仅要提供花和果的能量,也必须提供种苗胎生发育的能量(包括胚轴和宿存果皮)。福建龙海浮宫的秋茄(显胎生)和桐花树(隐胎生)两种红树植物单个繁殖体在发育过程中的能量贮量见表 6。从表 6 可以看出:(1)当胎生胚轴发育成熟时,胚轴和起保护作用的宿存果皮所含的能量,秋茄分别为每个 34.646 kJ 和 8.090 kJ(二者之和为 42.736 kJ,胚轴占 81.07%,宿存果皮占 18.93%);桐花树分别为每个 2.112 kJ 和 1.912 kJ(二者之和为 4.024 kJ,胚轴占 52.49%,宿存果皮占 47.51%)。这表明红树植物不同类型的胎生种苗的能量贮量差异甚大;所耗于宿存果皮的能量对其所保护的胎生种苗而言,也相当之大。(2)随着繁殖体从花、果、小胚轴、中胚轴、成熟胚轴的发育过程,虽然热值不断下降,但随着生物量的增加,个体的能量贮量随之增多,如秋茄花、果和成熟胚轴所具有能量贮量分别为平均每个 1.632, 2.404 和 34.646 kJ,桐花树分别为平均每个 0.707, 1.039 和 2.112 kJ。

表 6 秋茄和桐花树植物单个繁殖体的生物量及其能量贮量动态¹⁾Tab.6 Dynamics of biomass and energy pool amount of individual propagule of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum*

繁殖体	生物量(g)		能量贮量(kJ)	
	桐花树	秋茄	桐花树	秋茄
花	0.34	0.081	0.707	1.632
果	0.051	0.126	1.039	2.404
小胚轴	0.083(0.067)	0.080(0.309)	1.685(1.289)	14.654(5.740)
中胚轴	0.108(0.082)	1.401(0.378)	2.004(1.545)	25.350(6.927)
成熟胚轴	0.125(0.102)	1.944(0.456)	2.112(1.912)	34.646(8.090)

1) 花、果、小胚轴的单个繁殖体的生物量和能量贮量是各测定 200 个样品的平均值;中胚轴和成熟胚轴是各测定 150 个样品的平均值。

参考文献

- 林 鹏. 红树林. 北京:海洋出版社, 1984. 24~26
- 林 鹏. 中国红树林生态系. 北京:科学出版社, 1997.
- Wielgolaski F.E. *et al.*. Energy content and use of solar

radiation of Feunoseandian Tundra plants, In F.E. Wielgolaski, (ed.) Feunoseandian Tundra Ecosystem Part I: Plant and Microorganisms, Berlin: Springer Verlag, 1975. 201~207

CHANGES IN ENERGY WITH THE DEVELOPMENT OF THE PROPAGULES OF SOME MANGROVE SPECIES

LIN Peng WU Shi-jun LIN Yi-ming

(Department of Biology , Xiamen University , 361005)

Received : Jun .3 ,1999

Key Words : Mangrove , Propagule , Caloric value , Energy

Abstract

The paper dealt with the caloric value changes of five mangrove species: *Agicems comiculatum*, *Kandelia candel*, *Ceripops tagal*, *Bruguiera sexangula* and *Bruguiera gymnorhiza*. The results are shown as follows: (1) There were differences in the caloric values of the propagules of the five mangrove species at Dongzhai Harbor in Hainan Province of China, the highest caloric value of flowers was *Ceripops tagal* (20.423 kJ/g), and the lowest was *Bruguiera gymnorhiza* (19.214 kJ/g); the highest of the fruits was *Ceripops tagal* (20.225 kJ/g), and the lowest was *Bruguiera gymnorhiza* (18.582 kJ/g); the highest of mature hypocotyls, the highest was *Ceripops tagal* (19.792 kJ/g), and the lowest was *Agicems comiculatum* (16.827 kJ/g). (2) With the increase in latitude, the caloric value of the propagules of *Agicems comiculatum* at different developmental stages increased slightly, but decreased for *Kandelia candel*. (3) With the development of propagule from flower, fruit to hypocotyl, the caloric value decreased gradually, but the biomass and energy storage increased.

(本文编辑:张培新)