

海南岛红树林泥炭有机组成特征 及其地质意义^①

桑树勋 刘焕杰

(中国矿业大学)

海南岛红树林泥炭形成于热带泥炭聚积区,成炭质料为适盐性的红树林植物群落,堆积环境为泥炭坪,与陆相沼泽泥炭相比,这些特殊性必然反映到泥炭的有机组成上。红树林泥炭有机成份的研究将为合理开发利用海南的泥炭资源提供依据。红树林泥炭有机组成特征及其在泥炭化过程中的变化也必然为探讨泥炭化机理提供大量地质信息。

一、海南岛红树林泥炭的一般特征

海南岛红树林泥炭以埋藏泥炭为主,主要分布于海南岛东北部沿海地区,以琼山县东寨港和琼海县福田地区发育最好,其成炭环境为泥炭坪。现在正在发育的泥炭坪仅见于文昌县清澜港的部分红树林潮坪,红树林潮坪在东寨港也有大面积分布,但堆积物中有机质多不超过10%。

红树林泥炭新鲜样呈褐红—紫红色,露置后呈黑色;有机质含量一般30%左右,部分大于40%;分解度一般大于50%,高者达80%以上;肉眼可见红树植物根和树皮等残体;全硫含量在3%以上,部分可达8%,以黄铁矿硫高为特征;泥炭层数1—2层,单层厚30—100cm,埋深一般80—100cm,成炭时间大约为2000年前^②。

二、红树林泥炭的有机组成特征

泥炭有机质的元素组成主要指C、H、O、N、S五种元素的含量特征(表1)。红树林泥炭的碳含量明显低于陆相沼泽泥炭(沼泽泥炭C含量一般大于50%),埋藏红树林泥炭中C含量一般为30—40%。泥炭坪中正在堆积的泥炭或红树林潮坪含有机质沉积物中,C含量相对较高,一般为40—50%。红树林泥炭H含量多在5.0—6.5%的范围内,其中埋藏泥炭低于堆积泥炭,与淡水泥炭相比,红树林泥炭H含量相对低一些,但差别不显著。O元素含量高为红树林泥炭的显著特征,一般界于40—60%之间,少数情况超过60%,而淡水泥

① 国家自然科学基金资助项目,参加工作的人员还有施健、余棉清。

② 海南地矿局,1985,广东省海南岛泥炭资源远景地质调查报告。

炭中 O 含量多在 30—40% 之间。红树林泥炭的 N 含量高者可达 3%，最低不足 1%，变化范围较大。红树林泥炭中的有机硫，相对于有机质含量远远高于淡水泥炭（有机硫却是淡水泥炭硫的主要赋存状态），前者高达 3.5%，一般均在 1% 以上，而后者很少超过 1%。红树林泥炭和陆相淡水泥炭 C 组成的区别在原子比上表现也很清楚，红树林泥炭 O/C 大于 0.7，部分高达 1.8，而淡水泥炭 O/C 小于 0.5，二者的 H/C 基本一致。

表 1 红树林泥炭及淡水泥炭有机元素组成特征

Table 1 Organic elements in the mangrove peat and fresh-water peat

取样地点	泥炭类型	成炭环境	分解度 (%)	埋深 (m)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	原子比	
										O/C	H/C
海南东寨港 1	木本型	泥炭坪	85	0.8	33.3	5.4	58.1	0.9	2.4	1.3	1.0
海南福田 1			70	0.8	39.8	5.4	49.8	1.6	3.3	0.9	0.8
海南福田 2			70	0.5	32.3	3.8	59.5	0.9	3.5	1.4	0.7
海南福田 3			70	0.8	26.2	6.2	64.6	1.3	1.7	1.8	1.4
海南清澜港 1			80	0	48.3	5.2	48.1	3.0	0.4	0.7	0.6
海南清澜港 2			10	0	46.0	6.4	43.8	1.5	2.3	0.7	0.8
黑龙江更新山*	木本—草本型	陆相沼泽	10~35	0	54.4	6.1	37.6	1.7	0.16	0.5	0.7
云南草海*	草本型		45	0.9	58.0	5.7	32.7	2.9		0.4	1.2
安徽陈瑶湖*			35	1.6	56.3	5.9	33.0	2.3		0.4	0.6

* 据王钺谷、张伟才等资料，1987。

泥炭的有机组分包括总腐植酸、木质素、纤维素和半纤维素、还原物质、泥炭蜡、易水解物和难溶物。易水解物和难溶物在测试中常混入可溶无机盐和灰成份，含量也较低，未列入表 2。表 2 中红树林泥炭的总腐植酸含量一般大于 60%，高者达 80% 以上，东寨港 2 为特例，腐植酸含量仅有 39.3%，实际上样品取自一快速埋藏的植物残体层，分解度为 10%。红树林泥炭与埋深相似的淡水泥炭相比，腐植酸含量差别不大，但红树林泥炭腐植酸的组成以黄腐酸为主，黄腐酸/褐腐酸一般界于 2—10 之间，而淡水泥炭常以褐腐酸为

表 2 红树林泥炭及淡水泥炭的有机组分含量 (%) 及黄腐酸与褐腐酸比值特征

Table 2 Organic compositions in the mangrove peat and fresh-water peat (in %)

取样地点	有机质	总腐植酸	褐腐酸	黄腐酸	黄腐酸/褐腐酸	木质素	纤维素+半纤维素	还原物质	泥炭蜡
海南东寨港 1	31.2	67.5	6.9	60.7	8.8	5.9	6.5	1.0	2.5
海南福田 1	31.8	83.4	17.7	65.6	3.7	7.8	5.0	2.2	1.5
海南福田 2	27.9	59.7	10.7	49.0	4.6	7.2	6.3	1.1	2.4
海南东寨港 2	41.1	39.3	10.0	29.3	3.0	5.0	8.4	5.3	2.0
海南清澜港 1	43.8	74.9	25.0	49.8	2.0	4.1	11.6	8.7	1.0
海南清澜港 2	11.8	74.2	1.9	72.3	38.8	12.4	4.2	7.4	1.7
黑龙江更新山*	73.5	66.0	9.2	56.8	6.9	16.8	8.7		6.4
云南滇池*	54.2	83.0	73.7	9.3	0.1	2.5			3.8
安徽陆瑶湖*	53.8	60.1	56.3	3.8	0.1	1.1	6.2		2.2

注：有机质含量为干燥基，有机组分含量为干燥无灰基。* 据张伟才、王钺谷等，1987

主。红树林泥炭的木质素含量一般为 5—10%，部分大于 10%。纤维素、半纤维素含量与木质素含量范围相似，在不同样品中，木质素含量和纤维素、半纤维素含量的大小关系不

固定, 相对于高分解度而言, 木质素、纤维素及半纤维素的含量明显高于淡水泥炭。还原物质在堆积红树林泥炭中较高, 多大于 5%, 埋藏泥炭中一般为 1~2%。红树林泥炭的泥炭腊含量为 1—2.5%, 略低于淡水泥炭。

与陆相淡水泥炭相比, 红树林泥炭的有机元素组成富氧、硫而低碳、氢, 有机组分以腐植酸为主, 其中黄腐酸含量高于褐腐酸。红树林泥炭具有较高的分解度, 但木质素、纤维素及半纤维素的含量相对较高。红树林泥炭与陆相淡水泥炭有机质组成的差异可归纳为表 3。

表 3 红树林泥炭与淡水泥炭有机质识别标志

Table 3 Criteria for recognition of organic matter in the mangrove peat and fresh-water peat

泥炭标志特征性质	C	O	S	H	黄腐酸	木质素	纤维素*
					褐腐酸	纤维含量	纤维含量
红树林泥炭	<50%	>40%	>1%	5%±	>2	>20	>15
陆相淡水泥炭	>50%	<40%	<1%	6%±	<1	<20	<15

* 其中包括半纤维素。

三、泥炭化过程中有机质成分的变化

泥炭化过程这里主要指泥炭埋深不断增加并发生生物化学反应的过程。红树林泥炭的有机元素及有机组分随埋深具规律性变化, 图 1 中埋藏红树林泥炭取自福田泥炭地的同一剖面, 我们可以发现如下事实: 堆积红树林泥炭的碳含量高于埋藏泥炭, 埋藏泥炭浅部 (0—1.6m) 碳含量随埋深降低, 埋深超过 1.6m 以后, 碳含量随埋深逐渐升高; 氧含量的变化与此正好相反, 先升高后降低; 硫的变化比较单一, 埋藏泥炭的硫含量高于堆积泥炭, 并

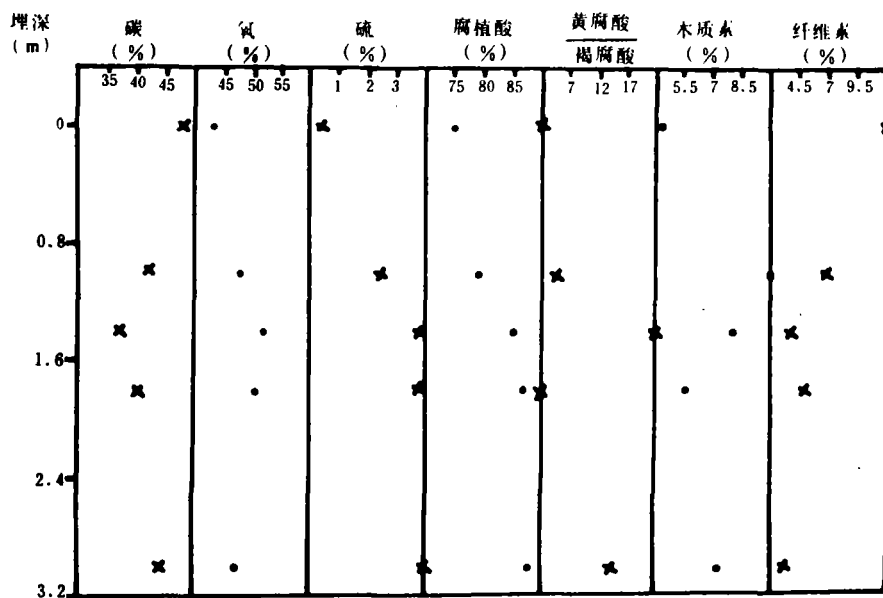


图 1 红树林泥炭有机质组成随埋深的变化特征

Fig. 1 Organic compositions in the mangrove peat as a function of buried depths

且随埋深增加依次增高；氢含量随埋深变化不大，氮含量随埋深增加略有减少。埋深在1.6m以上，总腐植酸含量随埋深迅速增加，超过1.6m之后，腐植酸含量的增加变缓，黄腐酸和褐腐酸的相对组成与碳、氧的变化有关，黄腐酸和褐腐酸之比与氧含量具相似的变化趋势；随埋深增加，木质素、纤维素和半纤维素表现为减少的趋势，尤其纤维素和半纤维素反映明显，并且在浅部减少迅速，与腐植酸的变化趋势相反。还原物质在堆积泥炭中较埋藏泥炭为高。

四、讨论

1. 红树林泥炭有机组成特殊性的机制探讨

泥炭坪生长的红树林不仅较热带陆生植物具更大的生产力，而且具有更高的归还率，掉落物可占年净生产力的30—40%，并且红树植物的根系统非常发达，这些为红树林泥炭的物质成份提供了基础；另一方面，泥炭坪环境细菌及底栖生物大量繁殖，有机物具有高的分解速率。红树植物富含单宁，可以减缓微生物对细胞壁的破坏，在分解度达80%的情况下，木质素、尤其是纤维素和半纤维素大量得以保存，而蛋白质、淀粉、果胶质、脂肪酸等易溶、易水解物被大量分解，使之在泥炭中含量很低，其产物部分以 CO_2 、 H_2O 等释放，大部分降解单体成为合成腐植酸的原料，纤维素、半纤维素及降解单体较木质素富氧。腐植酸是泥炭有机质的主要组成部分，其成份决定着泥炭有机元素组成。泥炭形成层腐植酸的生成过程也称之为腐植作用，可视为一个缓慢的氧化作用。泥炭坪环境正好具备了弱氧化的条件，虽然海水携带的氧大部分被红树气根，呼吸根及底栖生物所耗尽，但潮汐水流能连续带来氧，生物搅动作用也能引起局部氧化，使大部分纤维素、半纤维素、木质素、单宁及降解单体氧化缩合为腐植酸，其中主要为富氧的黄腐酸，而富碳的褐腐酸相对较少。红树林泥炭富含黄腐酸，纤维素、半纤维素等组分是造成元素组成氧高，碳低的直接原因。红树植物的硫含量比陆地植物可高出几倍，潮坪水介质中的大量硫酸盐硫可以转化为有机硫，也就是说特殊的造炭植物和泥炭坪环境使泥炭具有高的有机硫。

2. 碳、氧在泥炭化过程中异常性变化的探讨

由于特殊的成炭环境，形成层泥炭已具备了低碳高氧的特征。正常情况下，随泥炭埋深增加，泥炭有机质中碳含量会逐渐升高，氧含量逐渐下降。泥炭坪中还原带细菌的繁盛造成了碳、氧含量的异常性变化。还原带的上部细菌繁盛，泥炭中易溶、易水解残余物及半纤维素等低聚合物，在细菌作用下发酵生成大量甲烷并释放出去。由于强烈的生物化学作用，与甲烷伴生的二氧化碳中的氧可用来氧化纤维素、木质素，使浅部泥炭层中大量生成腐植酸，这样进一步降低了泥炭中的碳含量、使氧含量相对升高。当埋深继续增加时，细菌作用减弱，并且泥炭有机质主要变为腐植酸，木质素、纤维素等生物化学聚合物，发酵反应大大削弱，聚合反应进一步加强，黄腐酸更多地转化为褐腐酸，使碳含量增高并释放出氧，连同还原作用脱掉的含氧基团中的氧，被微生物利用来进一步氧化木质素和纤维素，生成新的腐植酸，从而充分利用有机质中的碳，而部分氧与氢结合为水的形式失掉，这样碳含量逐渐回升，氧含量逐渐下降。

3. 泥炭有机质堆积速度与黄腐酸和褐腐酸之比值呈负相关关系

黄腐酸、褐腐酸为一连续变化系列，仅氧、碳含量及缩合程度不同。在泥炭化过程中，

黄腐酸与褐腐酸的比值随氧含量的变化而变化。由于埋深的不同,生物化学反应的方式及释放产物也不同,从而改变黄腐酸和褐腐酸的相对组成。在泥炭埋藏较浅的情况下,泥炭有机质成分一定程度上继承了形成层泥炭的性质。在泥炭形成层,有机质堆积速度对黄腐酸、褐腐酸比值有显著影响(图2)。有机质含量取决于有机质和无机质堆积速度的相对大小,有机质含量越高,说明有机质的堆积速度相对越快,黄腐酸/褐腐酸越小,因为有机质堆积速度的快慢决定了氧化时间的长短和氧化程度的强弱。相同的气候和植物来源,有机质堆积速度受控于泥炭坪微环境的差别,泥炭坪向广海一侧及潮道、潮渠附近,均不利于有机质的堆积,从而使黄腐酸/褐腐酸增高。

4. 纤维素、半纤维素是镜质体的重要化学前身

木质素过去被认为是镜质体的唯一前身,现在已经发现纤维素、半纤维素、单宁等也参与镜质体的生成。从红树林泥炭的有机组成特征来分析,泥炭坪成煤中纤维素、半纤维素对镜质体的生成非常重要,主要表现在如下几个方面:

(1) 腐植酸是镜质体的直接前身,如图1,在泥炭化过程中,红树林泥炭有机组分中腐植酸含量逐渐增加,纤维素、半纤维素含量逐渐减少,并且二者具有相似的变化幅度,木质素的变化则没有纤维素显著。

(2) 按照 E. Welte (1952) 的意见,由纤维素生成腐植酸,酸性条件特别有利。泥炭坪环境测得泥炭 pH 值一般为 4—5,呈酸性,在微生物的作用下,纤维素、半纤维素大量生成腐植酸,如图1中,泥炭层浅部,纤维素快速降低,腐植酸迅速增加。

(3) 纤维素较木质素富氧,更易生成富氧腐植酸,这与红树林泥炭中有机元素富氧低碳,有机组分黄腐酸含量高的特征是相符的。

(4) 纤维素、半纤维素可占植物体有机组分的 60—70%,而木质素一般只有 20—30%。

野外工作曾得到东寨港国家级红树林自然保护区陈焕雄站长、王恭礼工程师,海南省燃料化学工业总公司王绍辉高级工程师的大力协助,笔者表示衷心感谢!

主要参考文献

1. 崔谷等, 1987, 不同沉积类型泥炭的研究, 陕西人民出版社。
2. 林鹏, 1990, 红树林研究论文集, 厦门大学出版社。
3. E. 斯塔赫著, 杨超等译, 1990, 斯塔赫煤岩学教程, 煤炭工业出版社。
4. 中国科学院地球化学研究所, 1982, 有机地球化学, 科学出版社。
5. 白汲仁, 1989, 煤质学, 地质出版社。

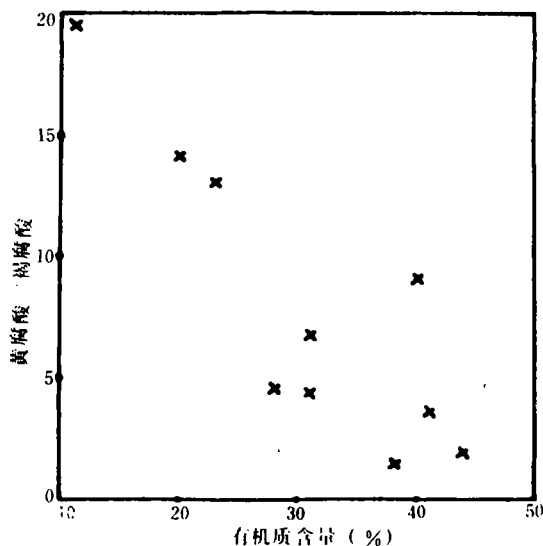


图2 泥炭腐植酸组成与有机质含量的相关性
Fig. 2 The correlation between the humic acid and organic matter contents in the mangrove peat

ORGANIC COMPOSITIONS AND GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF MANGROVE PEAT ON THE HAINAN ISLAND

Sang Shuxun Liu Huanjie

(China University of Mining and Technology)

Abstract

Mangrove peat is common in the peat flat environments on the Hainan Island in the tropic zone. The peat-forming plants are a tidal halophilous mangrove community. This paper deals in detail with the characteristics of organic elements and organic compositions in the mangrove peat. As compared with those in the fresh-water peat, the organic elementary compositions are characterized by higher oxygen and sulphur and lower carbon contents, and the humic acid compositions by higher fulvic acid contents in the mangrove peat. The organic compositions consist of higher contents of cellulose, semi-cellulose and lignin. This paper also discusses the variations in organic matter during peatification processes. For example, carbon and oxygen contents tend to change anomalously in shallow peat and cellulose and lignin to turn into humic acid rapidly in response to the increase of the buried depth. A plenty of useful information can be provided from the study for exploring the mechanism for peatification on tidal flats.