



亚热带泥质海涂消浪林 营造理论与技术

吴统贵 虞木奎 吴明◎著



中国林业出版社

S728.6
2



亚热带泥质海涂消浪林 营造理论与技术

吴统贵 虞木奎 吴明◎著

图书在版编目 (CIP) 数据

亚热带泥质海涂消浪林营造理论与技术 / 吴统贵, 虞木奎, 吴明著. —北京: 中国林业出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5038-8246-3

I. ①亚… II. ①吴… ②虞… ③吴… III. ①亚热带—淤泥质—海涂—造林—研究
IV. ①S728. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 275305 号

中国林业出版社·生态保护出版中心

责任编辑: 刘家玲

出版: 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号)

网址 lycb.forestry.gov.cn 电话: (010) 83143519

发行: 中国林业出版社

印刷: 农业出版社印刷厂

版次: 2015 年 11 月第 1 版

印次: 2015 年 11 月第 1 次

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 10

印数: 1200 册

字数: 260 千字

定价: 40.00 元

前言

滩涂消浪林是沿海防护林体系的重要组成部分，也是沿海防护林体系的最前沿阵地，在消浪、防风、保滩、促淤等方面具有重要作用。在亚热带泥质海涂，主要分布着芦苇、互花米草等草本植物群落，结构简单、防护功能相对较低，难以应对台风和风暴潮等突发性生态灾难。自2007年以来，著者在国家科技支撑课题（2009BADB2B03）、国家自然科学基金（31200533）、浙江省森林生态创新团队（2011R50027）等项目的资助下，系统开展了泥质海涂植被群落分布规律、演替过程及机制、泥质海涂消浪林营造技术及其生态功能等研究，并先后在浙江、上海、江苏等沿海省份营造试验示范林4处。

本书首先介绍了亚热带泥质海涂植被群落演替过程，并分析了群落演替机制及演替各阶段优势物种的生理生态学特征，为泥质海涂消浪林营造提供了理论依据。其次，系统形成了集造林地整地、树种选择、造林及抚育管理于一体的泥质海涂消浪林营造技术，并探明了主要造林树种对海水水淹胁迫的适应机制。最后，初步监测了泥质海涂消浪林在改良土壤、保滩促淤和生物资源保育等方面的生态功能。

全书共分六章，编写分工如下：第一、第二、第三章由吴统贵、吴明完成；第四章由吴统贵、虞木奎、成向荣完成；第五章由王宗星、吴统贵、虞木奎完成；第六章由吴统贵完成。董毅、段溪、吴倩婷、王婉等研究生参与了部分研究工作，张慧、张雷等研究生参与了初稿的校读工作。

由于时间仓促及著者水平有限，本著作中难免存在不足之处，恳请各位批评指正。

吴统贵
2015年9月

目 录

第 1 章 亚热带泥质海涂植被群落演替过程	1
1.1 研究区域基本概况	1
1.1.1 水环境	2
1.1.2 土壤与地质	4
1.1.3 气候	5
1.2 材料和方法	5
1.2.1 样方设置及调查取样	5
1.2.2 生物量测定方法	5
1.2.3 数据分析方法	6
1.3 试验结果	6
1.3.1 亚热带泥质海涂物种生态重要值	6
1.3.2 亚热带泥质海涂植被群落 TWINSpan 聚类分析	9
1.3.3 亚热带泥质海涂植被演替 DCA 排序分析	9
1.3.4 亚热带泥质海涂植被演替生物多样性动态变化	12
1.3.5 亚热带泥质海涂植被演替各阶段生物量变化	13
1.4 试验分析	14
1.4.1 亚热带泥质海涂植被群落演替过程	14
1.4.2 群落结构特征及其生物多样性的动态变化规律	15
1.4.3 植物群落演替生物量的动态变化	16
1.5 小结	16
参考文献	17
第 2 章 亚热带泥质海涂植被群落演替机制	19
2.1 试验地概况	19
2.2 试验材料与方法	19
2.2.1 野外调查试验方法与分析方法	19
2.2.2 控制试验材料与方法	20
2.3 试验结果	21

2.3.1	亚热带泥质海涂植被群落 DCCA 排序分析	21
2.3.2	土壤 4 种盐基阳离子组成特点对生物多样性的影响	22
2.3.3	优势植物对等渗 Ca^{2+} 、 Na^{+} 胁迫的响应	26
2.3.4	优势草本植物对海水水淹胁迫的响应	32
2.4	分析讨论	35
2.4.1	环境因子对群落分布的影响分析	35
2.4.2	盐基离子组成分布特征及其对植被分布和生物多样性的影响	36
2.4.3	优势植物对盐胁迫的响应分析	37
2.4.4	优势植物对水淹胁迫的响应	38
2.4.5	优势植物对胁迫响应的对比分析	39
2.5	小结	40
	参考文献	40
第 3 章	亚热带泥质海涂植被群落演替各阶段优势物种生理生态学特征	44
3.1	试验地概况	45
3.2	材料和方法	45
3.2.1	试验材料、方法	45
3.2.2	数据处理和分析	46
3.3	结果与分析	47
3.3.1	优势物种光合生理生态学特征	47
3.3.2	光合速率与环境因子间的关系	55
3.3.3	优势物种生态化学计量学特征	57
3.4	分析与讨论	60
3.4.1	不同演替阶段植物光合特征分析	60
3.4.2	不同演替阶段植物叶片化学计量学特征	64
3.5	小结	66
	参考文献	67
第 4 章	亚热带泥质海涂消浪林营造技术	71
4.1	亚热带泥质海涂整地技术	71
4.1.1	整地方法	71
4.1.2	整地后立地环境的改良	73
4.1.3	不同工程处理措施下植物成活及其生长状况	79
4.2	植物材料选择	81
4.2.1	苗木种类	81
4.2.2	木本植物成活率及生长状况	83

4.2.3 主要树种光合、生长特性对起垄高度的响应	86
4.3 亚热带泥质海涂消浪林营造关键技术研究	91
4.3.1 苗木栽植深度	91
4.3.2 苗木选择、处理及造林密度	91
4.4 不同配置方式对植物成活及生长状况的影响	92
4.4.1 植物成活状况分析	92
4.4.2 植物生长状况分析	93
4.5 工程措施综合评价	93
4.6 亚热带泥质海涂消浪林经营管理技术	96
4.6.1 施肥技术	96
4.6.2 其他管理技术	110
参考文献	110
 第5章 主要造林树种对海水水淹胁迫的适应机制	 113
5.1 试验方法	113
5.1.1 试验材料	113
5.1.2 试验处理	114
5.1.3 测定方法	114
5.1.4 数据处理方法	116
5.2 结果与分析	116
5.2.1 不同水淹胁迫下叶片光合作用光响应曲线及光合特性指标	116
5.2.2 不同水淹胁迫下两种植物净光合速率	120
5.2.3 不同水淹胁迫下两种植物蒸腾速率	122
5.2.4 气孔导度 (G_s)	123
5.2.5 胞间 CO_2 浓度 (C_i)	124
5.2.6 不同水淹梯度下叶片叶绿素含量动态变化	125
5.2.7 不同水淹梯度下叶片可溶性糖、淀粉含量动态变化	127
5.2.8 不同水淹梯度下叶片可溶性蛋白动态变化	130
5.2.9 不同水淹梯度下叶片乙醇酸氧化酶活性动态变化	131
5.2.10 不同水淹梯度下叶绿素荧光特性	132
5.2.11 不同水淹梯度下根系活力动态变化	133
5.2.12 不同水淹梯度下两种植物生长及形态学特征	134
5.3 讨论与结论	137
5.3.1 两种消浪树种光合特性对水淹胁迫的响应差异	137
5.3.2 两种消浪树种光合特性对水淹胁迫的响应机理及其差异	137
5.3.3 两种消浪树种对水淹胁迫的生长响应	139
参考文献	139

第6章 亚热带泥质海涂消浪林生态效应初步研究	141
6.1 土壤改良效应	141
6.1.1 土壤物理特性	141
6.1.2 植物根系土壤物理特性的关系	142
6.1.3 土壤化学特性	143
6.2 消浪促淤效应	144
6.3 生物资源保育作用	145
参考文献	145
附录：亚热带泥质海涂消浪林造林技术规程（LY/T 2481—2015）	147

亚热带泥质海涂植被群落演替过程

滨海滩涂湿地作为海洋与陆地两大生态系统的生态交错地带,是自然界中最富生物多样性、生产力最高、最具服务价值的湿地生态系统之一,也是人类最重要的生存环境之一。亚热带泥质海涂是我国沿海地区的主要海岸类型之一,也是海岸动力过程最活跃的地貌单元,拥有丰富的水产资源、巨大的土地供应潜力和主要的海岸湿地环境,是人类进行海岸开发和环境保护等工作的重点地区。

群落演替和生物多样性变化研究是植物群落生态学、植被恢复与管理领域的热点问题,植被演替主要表现为不同物种间相互替代以及由此产生的植物群落在结构组成和功能等方面的变化,从而导致系统生物多样性发生变化。唐承佳和陆健健(2003)调查总结了长江入海口九段沙植被群落类型,闫芊等(2007)研究了崇明岛湿地植物群落的生态特征、生物量等;在杭州湾滨海湾滩涂湿地,慎佳泓等(2006)和李侠等(2007)对高等植物多样性也开展了初步研究,而系统分析亚热带泥质海涂植被群落演替过程及生物多样性动态变化的研究还鲜有报道。长期以来,亚热带泥质海涂开垦利用迅猛,原生湿地面积锐减,植被群落生产力下降、稳定性衰退,植被自然演替受阻,退化的泥质海涂生态系统急需恢复与重建。本文采用空间代替时间的研究方法,以杭州湾滨海滩涂湿地植被群落为研究对象,调查了亚热带泥质海涂植被的分布特征,分析了植被演替趋势、方向以及群落结构特征、生物多样性和生物量的变化规律,以期揭示亚热带泥质海涂植被群落演替规律和多样性动态变化趋势,为本区域植被恢复、生态管理等提供科学依据。

1.1 研究区域基本概况

杭州湾滨海滩涂湿地是我国滨海湿地的南北过渡带,在维持区域生

态平衡、提供珍稀动植物栖息地和保护生物多样性等方面具有非常重要的作用，同时也是该区域防御和减弱海洋灾害的绿色生态屏障。研究区位于浙江省慈溪市国家林业局杭州湾湿地生态系统定位研究站境内，地理位置为 $121^{\circ}08'43''\text{E}$ ， $30^{\circ}18'40''\text{N}$ (图 1-1)。该地区多年平均气温为 16.0°C ，全年以 1 月为最冷，平均气温为 3.8°C ，7 月最热，平均气温为 28.2°C ，全年平均日照时数约为 2038.4h，无霜期约为 244d。多年平均降水量为 1344.7mm。同时，滩涂湿地受潮水影响较大，该区域潮流属不正规半日潮流，为往复流性质，涨潮历时 6h，落潮历时 6.4h，涨落潮流向几乎与海岸线平行。月平均潮位随季节变化，9 月最高、1 月最低，年变幅 0.5m。土壤为长江水和浙江入海河流输沙和海底掀沙淤积而成，属于滨海盐土带。在植被区划上该区属北亚热带常绿阔叶林北部亚地带浙皖山丘青冈苦槠林栽培植被区第一亚区，根据林业区划本研究区域属于沿海植被一类。

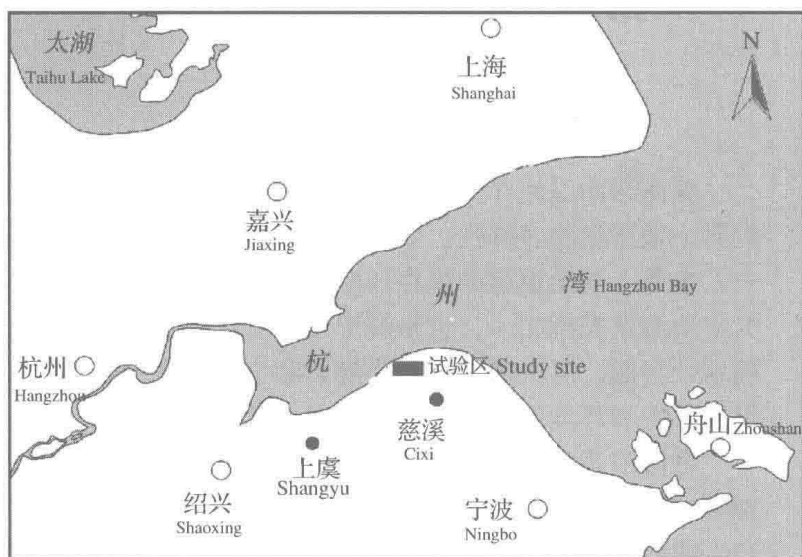


图 1-1 试验区位置示意图

本试验区位于慈溪市庵东镇大桥生态农庄以北的十塘 (建于 1998 年) 内外滨海滩涂，塘外主要分布着海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*)、糙叶苔草 (*Carex scabrifolia*) 和芦苇 (*Phragmites australis*) 等盐生、水生草本植物群落，但多数被农民围垦养殖，破坏严重；塘内主要分布着怪柳 (*Tamarix chinensis*)、旱柳 (*Salix matsudana*) 等灌木群落，多数已被农田开发利用。本文选择 GEF 项目区内保护相对较好的塘外滩涂植被为研究对象，面积约为 134hm^2 ；塘内则选择尚无破坏的大桥指挥部以北围垦区域，面积约为 230hm^2 。

1.1.1 水环境

海堤外：慈溪市近岸潮流属不正规半日潮流，为往复流性质，涨潮历时 6h，落潮历时 6.4h，涨落潮流向几乎与海岸线平行。主潮涨落潮最大流速 $1.7 \sim 1.8\text{m/s}$ ，中潮涨落潮最大垂线平均含沙量 $1.8 \sim 1.9\text{kg/m}^3$ ，大潮时其值可达 $5 \sim 9\text{kg/m}^3$ 。由于受杭州湾喇叭状地形影响，潮位呈西高东低变化，四灶浦闸潮位比镇龙闸潮位高出 1.02m，研究区域所在的慈溪西部深水区因受钱塘江径流的影响而落潮流大于涨潮流。月平均潮位随季节变化，9 月最高、1 月最低，年变幅 0.5m。波浪是海塘工程运行中的重要外部条件，也是引起海

塘毁坏的主要因素。慈溪市海域的波浪由于受风区限制，风浪一般较小，根据海皇山波浪观测资料分析，慈溪东部近岸主要方向的波浪是 NW(西北)—NE(东北)向大浪，强浪向偏北，测得平均最大浪高 2.4m，波向西北。一般地说，潮流是促使岸滩淤积的动力，风浪则是导致岸滩冲蚀的主要因素。

表 1-1 河网水位特征

水系	警戒水位 (m)	高水位 (m)	中水位 (m)	低水位 (m)	枯水位 (m)
东河	3.8	3.6	3.3	3.1	2.8
中河	4.0	3.8	3.5	3.2	2.9
西河	4.7	4.4	4.0	3.8	3.3
西北河	5.0	4.8	4.4	4.0	3.5

表 1-2 河网情况

水系	河区面积 (km ²)	水面面积 (km ²)	总蓄水量 (万 m ³)
东河	376.5	13.42	1135.02
中河	354.0	18.54	1670.12
西河、西北河	277.5	5.72	491.43
合计	1008.0	43.00	3796.49

注：表 1-1、1-2 中数据引自《慈溪水利志》和《慈溪骨干河道总体规划》。

海堤内：由于慈溪市的地势为西高东低、南高北低，形成显著的北排水系，因此本项目区域位于慈溪市水系的下游位置，水量、水质在很大程度上受到了上游水情的影响。根据西高东低的地势，境内自东向西建有东河、中河、西河、西北河四大水系，其中除西河水系及中河的石堰河网地区受制于姚江总调控外，其余三个水系均自行调控运作，各水系的特征水位详见表 1-1、表 1-2。

根据 1985 年《慈溪县水资源调查和区划》报告资料提供，慈溪市多年平均水资源总量为 5.12 亿 m³。按系列延长到 2001 年，由于陆域面积增加和年平均降水量增多，经计算多年平均水资源总量为 5.4 亿 m³。地下水为 3190 万 m³/a，且多为咸水，其中地下潜水(微咸水)为 1755.5 万 m³/a，承压微咸水 182.5 万 m³/a，承压淡水为 10.4 万 m³/a。

慈溪市多年平均降水量为 1344.7mm，水量年际变化较大，最大年降水量(1954 年的 1821.6mm)是最小年降水量(1967 年的 675.6mm)的 2.7 倍左右。年内降水量也分布不均，为夏季(139.2mm) > 春季(116.9mm) > 秋季(105.1mm) > 冬季(59.0mm)。汛期(4 ~ 10 月)降水量占全年总量的 72.2%，其中 6 月、9 月两个月为降水高峰，6 月梅雨占全年降水量的 14.0%，9 月秋雨占全年降水量的 13.5%，是内涝频发季节，但是，由于拦蓄能力不足，大量水资源不能够得到有效的保留和利用。7 月、8 月两个月常干热少雨，冬季晴冷干燥，降雨稀少。值得注意的是，慈溪市多年平均径流总量 5.4 亿 m³，人均水资源占有

量 500m³，仅为全国人均占有量的五分之一，分别只有全省人均占有量的四分之一和宁波市人均占有量的三分之一，属人均水资源拥有量严重偏少地区。

通过 50 年的降水资料分析，近半个世纪慈溪市的降水量除 20 世纪 60 年代减少外，其他年代均呈增加趋势，其中，以 90 年代增加幅度为最大(表 1-3)。

表 1-3 慈溪市不同年代降水量增加幅度

项目	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代
平均降水量(mm)	1345.9	1170.6	1289.0	1324.2	1365.2
增加幅度(mm)	69.3	-106.3	12.1	46.3	88.3

慈溪市地表水资源是全市水资源量中的主要部分，占总资源量的 93.8%，计 $5.081 \times 10^8 \text{ m}^3$ (已加入入境 $6.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，扣除出境 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$)。按河区分，多年平均地表径流系数南大北小，丘陵大于平原，东部大于西部，南北变化在 0.43 ~ 0.34 之间。东河区南部丘陵最大，达 0.43；北部为最小，为 0.34。

慈溪市地下水资源贫乏，多为咸水，慈溪市天然地下水资源为 $4.056 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ (其中基岩丘陵区为 $1.776 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ ，平原区 $2.28 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)，地下水可开采资源只有 $7.82 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ，目前已被开采的地下水不到 $100000 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

本项目区域的自来水供水方为位于中心城区的白沙水厂，供水规模为 $2.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ，水源地为邵岙水库。

除了水量贫乏外，慈溪市河网水体污染十分严重，根据 2003 年监测，在所有河网监测站位中，Ⅳ类水占 9.09%，Ⅴ类水占 9.09%，超Ⅴ类水占 81.82%，均未能达到地面水功能区划的要求。主要污染类型属有机污染，污染主要来自三个方面：一是工业废水，以及烟尘、残渣污染导致的干、湿沉降污染；二是滥用化肥、农药、除草剂、农膜、生长调节剂等化学品的污染；三是人类生活污水、垃圾和畜禽养殖业粪尿的污染。总之，水环境现状十分严峻，已明显地制约了社会经济的可持续发展。河网水体的污染状况对位于下游的项目区域造成了显著的污染负荷。

1.1.2 土壤与地质

本研究所在区域在地质构造上属于东海构造单元，是大陆边缘凹陷和环西太平洋新生代沟、弧、盆构造体系的组成部分，包括浙闽隆起区、东海陆架盆地、钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽盆地和琉球岛弧隆起带等构造单元，呈现西隆东凹的构造特征。

浙江沿岸的年淤积量约为 $2 \times 10^8 \text{ t}$ ，其中长江水和浙江入海河流的输沙约占淤积量的一半，另一半主要来自内陆架海底掀沙。随着长江口整治工程和三峡工程建设，长江入海泥沙总体上会有所减少，可能会对浙江产生多方面影响，具体变化有待进一步研究。

从四灶浦工程地质钻探所揭示的土质资料分析，项目范围内的潮间带浅滩广泛分布着青灰色轻亚黏土层，且土质粉黏含量较高。从慈溪市的土壤类型分布看，本项目区域属于沿海盐土带，主要分布在八塘以北至沿海一带的盐土及新围海涂。盐白地为少量轻、中、重、咸沙土及轻、中咸泥土；新围涂地为咸沙土及咸泥土，颗粒细小均匀，粉质土，含盐量为 0.1% ~ 0.5%，pH 值在 8.0 以上。

1.1.3 气候

该湿地属于北亚热带南缘季风型气候,受冷暖气团交替控制和杭州湾海水调节,气候温暖潮湿,雨量充沛,冬暖夏凉,冬夏稍长,春秋略短,历年平均最高气温为28.2℃,多年平均气温为16.0℃,多年平均最低气温为15.5℃,全年以1月份为最冷,平均气温为3.8℃,历年极端最低温度达-9.3℃(1977年1月5日)。3月底至4月初气温逐步回升。夏季,全市普遍高温,7月平均气温为28.2℃,极端最高温度达38.5℃(1964年7月14日和1966年8月6日)。

1.2 材料和方法

1.2.1 样方设置及调查取样

在GPS全球定位系统技术辅助下,在研究区域采用样线法结合样方法对保存较好的植被群落及土壤进行了取样调查。

植物调查:在靠近海岸线的草本群落内平行于海岸线,由海岸线向内陆方向设置由东向西方向的6条500m样线,间隔100m(靠近海岸线的两条间隔30m),在每条样线上间隔100m设置1个样方,共设置30个1m×1m样方;塘内灌木群落用相同方法设置4条样线,在每条样线上间隔100m设置1个5m×5m的样方,共20个,并在每个样方中随机设置3个1m×1m的草本样方。记录内容包括乔木(灌木)、草本植物的种类、多度、高度、盖度、密度等,同时记录样地经纬度(GPS测定)。

土壤取样及测定:土壤取样点与植物取样点一一对应。在样方内,利用土壤采样器取0~30cm的上层土壤,将采集的土壤样混匀、去杂、风干、研磨过筛后,采用电导率法测定其含盐量,采用烘干法测定土壤含水量。

1.2.2 生物量测定方法

2007年10月,在所调查的各种植被类型中进行生物量测定。草本植物群落采用收获法进行测定,将1m×1m样方内的草本植物地上部齐地剪下,同时将地下0.5m深土壤中的根系全部取出,然后带回实验室120℃下杀青2h,并在80℃下烘干48h直至恒重;木本植物群落旱柳和怪柳生物量采用相对生长法测定,首先选取20m×20m的样地进行木本植物的调查(主要调查胸径、地径和树高),根据调查数据在样地外选择7株各径级标准木将其伐倒,收获各个器官(根、干、枝、叶)鲜样,拿回实验室烘干至恒重,代入下面公式:

$$W = a(D^2 H)^b$$

式中:W——各器官生物量或总生物量, g/m²;

D——树木胸径(地径), cm;

H——树高, m;

a, b——常数

求出常数a、b,继而可以根据样地胸径和树高调查数据得到群落木本植物的生物量。

1.2.3 数据分析方法

灌木、草本的重要值用下面公式计算：

重要值(IV) = (相对频度 + 相对盖度 + 相对密度)/3

50 个样方中共记录了 17 种主要物种，得到 50×17 数据矩阵，首先通过双向指示种 (TWINSpan) 进行聚类分析，然后用去趋势对应分析 (DCA, Detrended Correspondence Analysis) 进行排序，以分析植被演替的趋势和梯度，TWINSpan 聚类分析、DCA 计算采用国际通用软件 CANOCO 完成。

物种多样性指数选用以下 4 个指标，其中包括 1 个均匀度指数、1 个丰富度指数和 2 个综合多样性指数。

Pielou 均匀度指数(JP)：

$$JP = \frac{-\sum_{i=1}^k p_i \ln p_i}{\ln S} \quad (1-1)$$

Margalef 丰富度指数(Ma)：

$$Ma = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1-2)$$

Shannon - Wiener 多样性指数(H')：

$$H' = -\sum_{i=1}^k p_i \ln p_i \quad (1-3)$$

Simpson 多样性指数(DS)：

$$DS = 1 - \sum_{i=1}^k p_i^2 \quad (1-4)$$

式中： N_i ——第 i 种在样方中的重要值；

N ——样方中所有种的重要值之和；

p_i —— N_i/N ；

S ——样方内物种总数

为了清晰地反映多样性的动态变化，本研究以 DCA 第一排序轴坐标值为横坐标(反映群落演替变化的趋势和梯度)，以各多样性指数值作为纵坐标作图，分析多样性在演替进程中的变化规律。

相关数据方差分析和线性回归采用 SAS 统计软件完成。

1.3 试验结果

1.3.1 亚热带泥质海涂物种生态重要值

根据对研究区域泥质海涂 50 个样地的调查，发现该区域主要物种有 17 种，隶属 7 科 17 属，其中木本植物有 2 种(桤柳 *Tamarix chinensis* 和旱柳 *Salix matsudana*)，草本植物 15 种，其生态重要值见表 1-4。

表 1-4 试验区 50 样方 17 种主要植物的生态重要值

样地	物种																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.54	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.33	0.35	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.52	0.14	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.58	0.03	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.40	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.34	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.29	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.28	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(续)

样地	物种																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.05	0.00	0.66	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.06	0.06	0.00	0.50	0.06	0.19	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.08	0.09	0.00	0.18	0.08	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.04	0.00	0.23	0.26	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.24	0.00	0.11	0.18	0.29	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.06	0.00	0.09	0.65	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.26	0.15	0.01	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.18
38	0.00	0.00	0.25	0.00	0.13	0.34	0.10	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.05	0.00	0.11	0.59	0.08	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.56	0.14	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
41	0.00	0.02	0.00	0.00	0.10	0.64	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
42	0.00	0.04	0.00	0.00	0.07	0.55	0.05	0.00	0.00	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.05	0.00	0.00	0.04	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.57	0.05	0.00	0.00	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.06	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.05	0.00	0.00	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.62	0.05	0.00	0.00	0.10	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.59	0.05	0.00	0.00	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.62	0.04	0.00	0.00	0.07	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.04	0.00	0.00	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：1. 海三棱藨草 *Scirpus mariqueter*；2. 糙叶苔草 *Carex scabrifolia*；3. 芦苇 *Phragmites australis*；4. 互花米草 *Spartina alterniflora*；5. 南方碱蓬 *Suaeda australis*；6. 钻形紫菀 *Aster subulatus*；7. 柽柳 *Tamarix chinensis*；8. 绢毛飘拂草 *Fimbristylis sericea*；9. 碱菀 *Tripolium vulgare*；10. 白茅 *Imperata cylindrica*；11. 旱柳 *Salix matsudana*；12. 加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis*；13. 野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia*；14. 多裂翅果菊 *Pterocypsela laciniata*；15. 野塘蒿 *Conyza bonariensis*；16. 水烛 *Typhaceae angustifolia*；17. 匍茎苦菜 *Sonchus arvensis*。下同。

1.3.2 亚热带泥质海涂植被群落 TWINSpan 聚类分析

根据各样方内主要物种的重要值(表 1-4)进行双向指示种(TWINSpan)聚类分析,结果将 50 个样方在 0.400 处分为 5 种植被类型(图 1-2),它们分别是:

(1)海三棱藨草群落(Comm. *Scirpus mariqueter*),由样方 1、2、4、5、6、7、8、9、10、11 组成,主要分布在海岸线边缘,伴生少量糙叶藨草(*Carex scabrifolia*)和互花米草(*Spartina alterniflora*)等;

(2)互花米草群落(Comm. *Spartina alterniflora*),由样方 3、17、18、21 组成,主要分布在海三棱藨草群落与芦苇群落的交错带;

(3)芦苇群落(Comm. *Phragmites australis*),由样方 12~28(17、18、21 除外)组成,主要分布在塘外滩涂,受潮水影响相对较小;

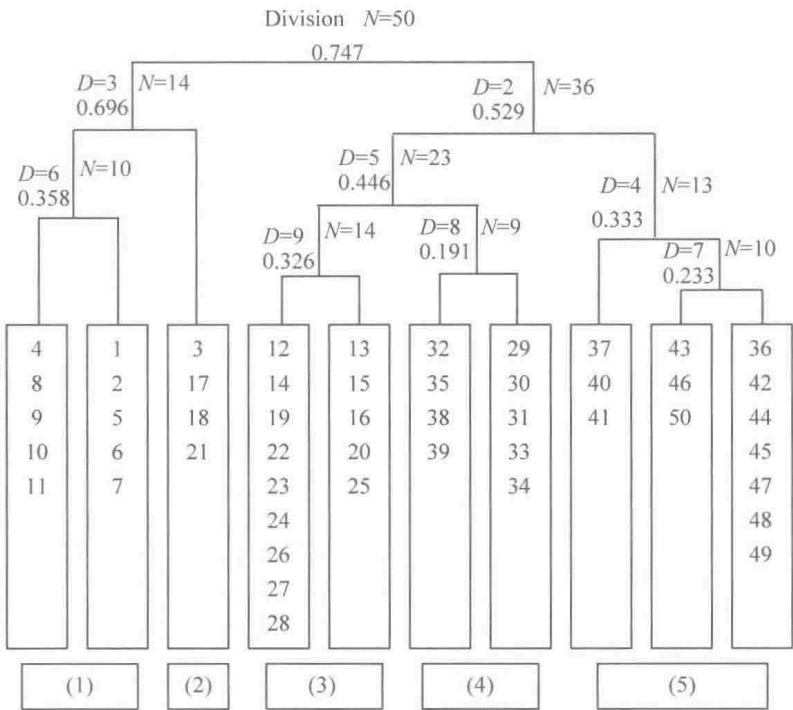


图 1-2 植被群落 50 样方聚类分析

N 代表样方数; D 代表分类次数。(1)~(5)为聚类群落。

(4)怪柳-芦苇群落(Comm. *Tamarix chinensis* + *Phragmites australis*),由样方 29~39(36、37 除外)组成,主要分布在塘内低洼地区,潮水干扰消失;

(5)旱柳-白茅群落(Comm. *Salix matsudana* + *Imperata cylindrica*),由样方 36、37、40~50 组成,主要分布在塘内更靠近内陆方向。

1.3.3 亚热带泥质海涂植被演替 DCA 排序分析

将调查的 50 个样方进行 DCA 排序分析(图 1-3A),DCA 第一排序轴(DCA1)与样方的空间分布具有良好的线性相关($R^2 = 0.9287$, $P < 0.01$)(图 1-4),DCA 第一排序轴很好地反映了亚热带泥质海涂植被演替的趋势和梯度。沿 DCA 第一轴从左到右,滩涂形成的时