

杭州湾滩涂湿地植被群落演替与物种多样性动态*

吴统贵 吴明* 萧江华

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 国家林业局杭州湾湿地生态系统定位研究站,浙江富阳 311400)

摘要 以杭州湾不同年份形成的滩涂湿地植被群落为研究对象,采用样线法结合样方法进行调查取样,并通过除趋势对应分析排序研究了群落演替的动态和方向,同时采用 Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数分析了物种多样性在群落演替过程中的动态变化。结果表明:该区域植被群落演替序列为海三棱藨草群落→芦苇群落→怪柳+芦苇群落→旱柳+白茅群落,随着演替的进行,群落物种丰富度显著增加,均匀度逐渐降低,物种多样性呈先增加后降低的趋势。

关键词 杭州湾;滩涂湿地;群落演替;DCA;物种多样性

中图分类号 Q948 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2008)08-1284-06

Dynamics of community succession and species diversity of vegetations in beach wetlands of Hangzhou Bay. WU Tong-gui, WU Ming, XIAO Jiang-hua (*Research Institute of Sub-tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Wetland Ecosystem Research Station of Hangzhou Bay, State Forestry Administration, Fuyang 311400, Zhejiang, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2008 27(8):1284-1289.

Abstract : Line transect and plot sampling methods were applied to investigate the vegetation communities developed in different years in beach wetlands of Hangzhou Bay. DCA (detrended correspondence analysis) ordination technique was used to clarify the dynamics and direction of vegetation community succession, and the Pielou's evenness index, Margalef's richness index, Shannon-Wiener diversity index, and Simpson's diversity index were introduced to analyze the dynamics of species diversity during community succession. The results showed that the succession series of vegetation communities in test area was *Scirpus mariqueter*→*Phragmites communis*→*Tamarix chinensis* + *Phragmites communis*→*Salix matsudan* + *Imperata cylindrica*. With the succession progressed, the species richness increased significantly, evenness decreased, while species diversity increased first and decreased then.

Key words : Hangzhou Bay; beach wetland; community succession; DCA; species diversity.

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(Costanza, 1997; 葛振鸣等, 2005)。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(王宪礼和李秀珍, 1997),同时也是该区域防御和减弱海洋灾害的生态屏障。

群落演替和生物多样性变化研究是植物群落生

态、植被恢复与管理领域的热点问题(张金屯等, 2000)。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。在杭州湾滨海滩涂湿地,慎佳泓等(2006)和李侠等(2007)对该区域高等植物多样性进行了初步研究,而系统分析滨海滩涂湿地植被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,杭州湾滩涂湿地开垦利用迅猛,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(吴明, 2005),退化湿地生态系统急需恢复重建。本文采用空间代替时间

* 浙江省重点科技攻关项目(2005C22072)、浙江省-中国林业科学研究院合作项目(2005SY009)和浙江省重大科技攻关资助项目(2004C12030)。

** 通讯作者 E-mail: hangzhoubay@126.com

收稿日期:2008-01-10 接受日期:2008-05-04

的研究方法,以杭州湾滨海滩涂湿地植被群落为研究对象,调查分析了滨海滩涂湿地植被演替趋势、方向以及生物多样性的变化规律,以期揭示其植被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 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

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 $121^{\circ}08'43''$ E, $30^{\circ}18'40''$ N (图 1)。该地区多年平均气温为 16.0°C ,全年 1 月份最冷,平均气温为 3.8°C ,7 月份最热,平均气温 28.2°C ,全年平均日照时数约为 2 038.4 h,无霜期约为 244 d。多年平均降水量为 1 344.7 mm。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 6 h,落潮历时 6.4 h,涨落潮流向几乎与海岸线平行。月平均潮位随季节变化,9 月份最高,1 月份最低,年变幅 0.5 m。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(宋永昌,2001)。

1.2 研究方法

1.2.1 取样及测定 本研究区域滩涂湿地由不同年代淤积而成,分布着不同类型的植被群落,近海岸线端主要分布着海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)、糙叶苔草(*Carex scabrifolia*)和芦苇(*Phragmites communis*)等水生草本植物群落,远端形成年份较早,主要分布着柽柳(*Tamarix chinensis*)、旱柳(*Salix matsudana*)等灌木群落。2007 年 7—8 月,在 GPS 技术辅

助下,在不同年份的滩涂上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。

植物取样:在靠近海岸线的草本群落内平行于海岸线由东向西设置 6 条 500 m 样线,间隔 100 m (靠近海岸线的 2 条间隔 30 m),在每条样线上间隔 100 m 设置 1 样方,共设置 30 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方,远端灌木群落相同方法设置 4 条样线,在每条样线上间隔 100 m 设置 1 个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的样方,共 20 个,并在每个样方中随机设置 3 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的草本样方。记录内容包括灌木、草本植物的种类、多度、高度、盖度、密度等,其中旱柳高度大都在 4 m 以下,将其归入灌木。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 0~30 cm 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 PHS-3BW 型 pH 计测定其 pH 值。

1.2.2 分析方法

灌木、草本的重要值用下面公式计算:

$$\text{重要值}(IV) = (\text{相对频度} + \text{相对盖度} + \text{相对密度})/3$$

50 个样方中共记录了 17 种主要物种,得到 50×17 数据矩阵,用除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)进行排序,以分析植被演替的趋势和梯度。DCA 计算采用国际通用软件 CANOCO(Ter Braak,1991)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)

$$JP = \frac{-\sum_{i=1}^k P_i \ln P_i}{\ln S}$$

Margalef 丰富度指数(Ma)

$$Ma = \frac{S-1}{\ln N}$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H)

$$H = -\sum_{i=1}^k P_i \ln P_i$$

Simpson 多样性指数(DS)

$$DS = 1 - \sum_{i=1}^k P_i^2$$

式中, N_i 为第 i 个种在样方中的重要值, N 为样方中所有种的重要值之和, $P_i = N_i/N$, S 为样方内物种总数。



图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of study site

为了清晰地反映多样性的动态变化,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,分析多样性在演替过程中的变化规律。

2 结果与分析

2.1 群落的 DCA 排序分析

将调查的 50 个样方进行 DCA 排序分析(图 2A),DCA 第一排序轴与样方的空间分布呈显著的线性相关($R^2 = 0.9287$, $P < 0.01$) (图 3),DCA 第一排序轴很好地反映了杭州湾滨海滩涂湿地植被演替的趋势和梯度。沿 DCA 第一轴从左到右,滩涂形成的时间逐渐加长,基本可以划分成 4 个演替阶段:第 I 阶段为新形成滨海滩涂上的海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)群落,第 II 阶段为芦苇(*Phragmites communis*)群落,第 III 阶段为柽柳 + 芦苇(*Tamarix chinensis* + *Phragmites communis*)群落,第 IV 阶段为较早形成滩涂上的旱柳 + 白茅(*Salix matsudana* + *Imperata cylindrica*)群落。3、17、18、21 样方为入侵物种互花米草(*Spartina alterniflora*)种群,因此偏离演替过程。

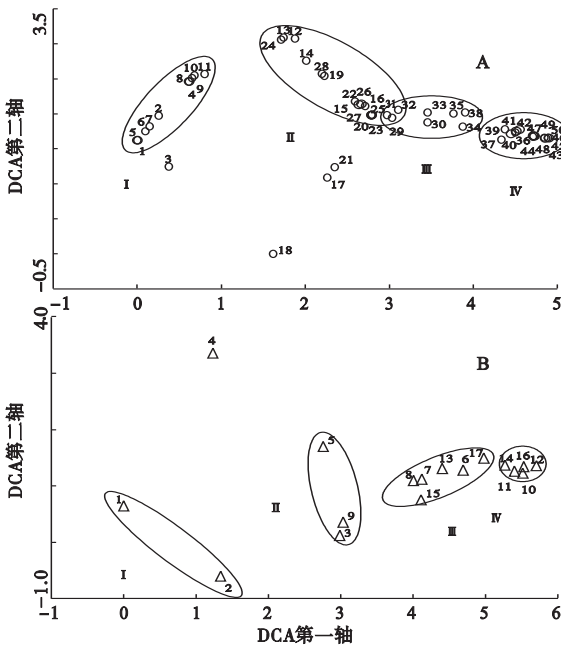


图 2 杭州湾滨海湿地植被群落演替排序和物种排序
Fig. 2 DCA ordination diagram of vegetation succession and species in Hangzhou Bay

A 为 50 个样方的 DCA 排序图,1~50 表示样方序号。B 为 17 物种排序图。1. 海三棱藨草 2. 糙叶苔草 3. 芦苇 4. 互花米草 5. 南方碱蓬 6. 钻形紫莞 7. 柽柳 8. 绢毛飘拂草 9. 碱莞 10. 白茅 11. 旱柳; 12. 加拿大一枝黄花 13. 野艾蒿 14. 多裂刺果菊 15. 野塘蒿 16. 水烛 17. 匍茎苦菜。I、II、III、IV 分别代表 4 个演替阶段。

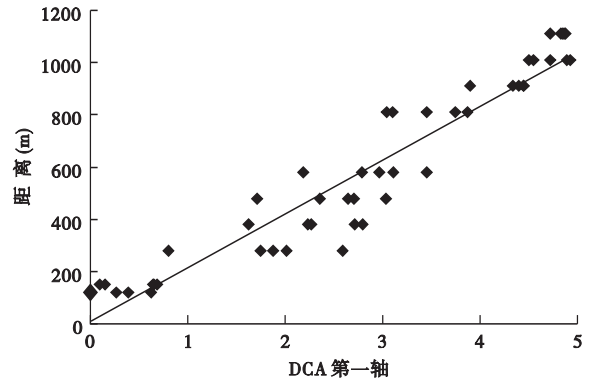


图 3 DCA 第一轴与样地到海岸线间距离的回归分析
Fig. 3 Regression analysis between DCA1 and distance from shoreline to plot

I 海三棱藨草群落阶段。此阶段为群落演替的初级阶段,土壤为新形成的滩涂盐土,含盐量较高,在 0.43% ~ 0.78%,pH 在 8.10 ~ 9.07,一般植物很难生存;本群落盖度可达 40% ~ 80%,其中散生一定数量的糙叶苔草(*Carex scabrifolia*)和南方碱蓬(*Suaeda australis*)。海三棱藨草是新生滩涂湿地的先锋物种,对滩涂湿地的环境改造和随后植被定居具有非常重要的作用。

II 芦苇群落阶段。该植被群落内土壤含盐量在 0.30% ~ 0.58%,pH 在 7.74 ~ 8.24,群落盖度可达 80% ~ 95%。不同年份形成滩涂上芦苇的盖度、高度等结构特征差异明显,随着演替时间(向内陆方向延伸)的增加,芦苇群落的盖度一定程度增加,高度显著增加($P < 0.05$)。该群落内主要伴生种有糙叶苔草、碱莞(*Tripolium vulgare*)和南方碱蓬。

III 柽柳 + 芦苇群落阶段。前面 2 个阶段为演替早期的草本植物发展阶段,芦苇群落发展到一定程度,土壤等环境条件进一步优化,木本植物柽柳开始出现,形成柽柳 + 芦苇群落,随着演替的进行,柽柳所占比重逐渐增加,从而形成柽柳灌丛群落。该群落土壤含盐量均在 0.20% 以下,植被盖度都在 85% 以上,群落分层明显,灌木层主要为柽柳,偶尔散生旱柳,草本层物种较为丰富,主要有芦苇、钻形紫莞(*Aster subblatus*)、野塘蒿(*Conyza bonariensis*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、绢毛飘拂草(*Fimbristylis sericea*)、匍茎苦菜(*Sonchus brachyotus*)、羊蹄(*Rumex japonicus*)等。

IV 旱柳 + 白茅群落阶段。随着土壤等环境因子的逐步好转,木本植物旱柳和草本植物白茅开始出现,该群落盖度均在 90% 以上,是现有群落演替

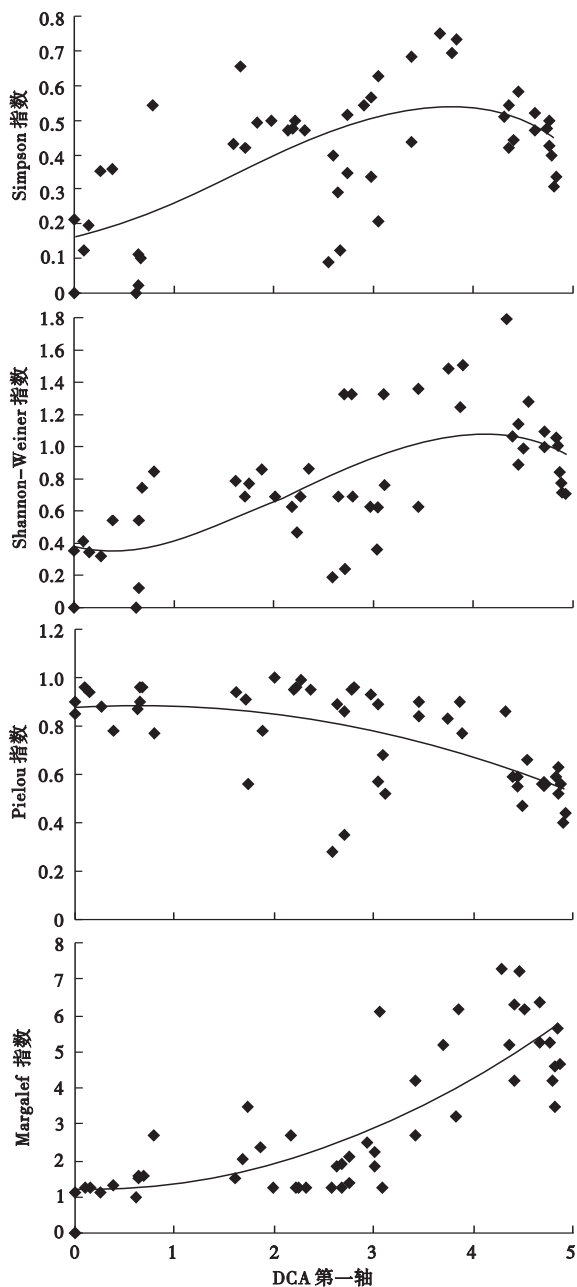


图4 多样性指数在演替过程中的变化趋势
Fig. 4 Changes of diversity indices during the succession

的最后阶段。上层木本植物主要为旱柳、柽柳,下层草本植物除白茅外,还有多裂刺果菊(*Pterocypsela laciniata*)、绢毛飘拂草、芦苇、水烛(*Typhaceae angustifolia*)和外来入侵物种加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)等。

2.2 物种多样性在演替过程中的变化规律

全面衡量物种多样性需要从物种丰富度、均匀度2个方面进行比较分析,进而可以从不同角度反映群落物种组成结构水平(张继义等2004)。根据对50个样方的调查,发现该区共有17种高等植物,

隶属7科17属。随着杭州湾滨海滩涂湿地植被的演替,群落的均匀度和丰富度(图4)的变化趋势较简单,Pielou均匀度指数逐渐降低,Margalef丰富度指数逐渐增加;而Shannon-Wiener和Simpson多样性指数均表现出在演替早期逐渐增加,而到了演替后期下降的现象(图4)。

3 讨论

3.1 杭州湾滩涂湿地植被群落演替规律

海三棱藨草是我国特有种,主要分布在长江口和杭州湾一带的潮间带,是该区域的优势盐沼植物(陈中义等2005);闰芊等(2007)针对崇明东滩的植被研究发现从海岸线向内陆延伸依次分布着海三棱藨草群落、互花米草群落和芦苇群落带,与本研究演替前期的趋势相同,只是本区域互花米草还未形成优势群落,郝金标等(2002)通过对黄河三角洲植物群落和环境的调查发现其演替序列为碱蓬群落→芦苇群落→柽柳→白茅群落,与本研究结果相似。

杭州湾滩涂形成早期,潮水干扰频繁,土壤含盐量、含水量极高(李侠等2007),只有海三棱藨草等极少数盐生植物作为先锋物种定居下来(Zhang, 2004),物种适应环境是演替发生的先决条件,这与Glenn-Lewin等(1980)的个体演替观点相同。早期物种一方面起到促淤、防浪的作用,加速海岸滩涂抬升(陈中义等2005),改善土壤水分状况;另一方面,植被覆盖后土壤蒸发大大减少,土壤含盐量明显下降(李政海等2002;刑尚军等2003),土壤环境得到明显改善,有利于芦苇等多年生湿生植物入侵。此后,由于芦苇的高度、盖度和生物量等优势(郝金标等2002),很快替代海三棱藨草。芦苇产生大量枯枝落叶,加快地面抬升、土壤脱盐和土壤养分改良过程,土壤逐渐旱化,盐分进一步降低,耐盐草本植物优势逐渐降低(Portnoy, 1999; Garde et al., 2004),耐盐、喜湿的木本植物柽柳出现,并表现出更大的竞争力,形成柽柳+芦苇群落;群落演替至第Ⅲ阶段后,已经摆脱了潮水干扰,地下水埋深增加,土壤等环境条件进一步中生化,中生性植物旱柳和白茅出现并替代柽柳和芦苇成为优势物种。可见杭州湾湿地植被演替过程与Connell和Slatyer(1977)的演替促进作用理论相一致。根据中国植被分类,本区域演替顶级群落为北亚热带常绿阔叶林,可见现有群落远未达到演替顶级,因此要加强现有滩涂湿地植被的保护和管理,保障群落健康演替。

演替过程中群落物种组成也发生明显变化,所有物种也可分成4组(图2B),与群落演替排序较好地吻合。不同演替阶段,群落的物种组成、结构、功能及种间关系等都会发生很大的变化(张继义等,2004)。可见植物种类组成数据也能很好地反映群落发展演替的过程。

3.2 生物多样性沿群落演替过程的变化规律

群落演替初期,裸地一般被一些1年生草本植物(先锋物种)占据,但随着时间的推移和演替的进行,植物种类数量逐渐增加,群落结构也趋于复杂化,物种多样性发生明显的变化(Castellanos *et al.*, 2005)。杭州湾滨海湿地演替初期的海三棱藨草形成单一群落,结构简单,具有较高的均匀度,随着植被演替,土壤含盐量逐渐降低,潮汐干扰消失,植被种类开始增多,特别是出现了木本植物怪柳、旱柳后,群落出现分层现象,结构复杂化,植物生态型增多(邢尚军等,2003),物种数量增加,因此群落丰富度越来越大,而优势种作用越来越重要,群落异质性增加(Zhang *et al.*, 2005),导致其均匀性降低(图4)。多样性指数是反映丰富度和均匀度的综合指标,随着杭州湾滩涂湿地植被演替,丰富度指数逐渐增加,均匀度指数却逐渐降低,由此导致多样性指数变化的复杂性,呈现出先上升后下降的趋势。研究发现,土壤含盐量与群落物种多样性呈显著负相关(李侠等,2007),随着植被演替,土壤含盐量逐步下降,物种数量明显增加(图2B),群落丰富度显著增加,而均匀度的降低却不明显(图4),因此多样性指数逐渐增加,演替后期,旱柳和白茅在木本层和草本层分别占据主导优势地位,群落内部竞争增强(Cook, 2005; Ziella *et al.*, 2006),均匀度显著下降,一些草本植物优势度逐渐降低甚至消失,最终导致物种多样性指数在本阶段下降。这与其他植被群落演替规律一致(Degn, 2001; Otto, 2006)。

生物多样性作为群落的基本特征,既表征群落的组成结构,也是对环境状况的指示(张继义等,2004)。在杭州湾滨海湿地植被演替过程中,每一群落对环境的改造都对下一阶段群落的形成和物种入侵创造了条件,一定的群落环境对应着一定的多样性水平,而生物多样性可以作为群落或生态系统发育程度和健康程度的表征,因此本研究可以为本区域的植被管理以及植被恢复与重建中的植被配置等提供科学依据。

参考文献

- 陈中义,李博,陈家宽. 2005. 互花米草与海三棱藨草的生长特征和相对竞争能力. 生物多样性, **13**(2): 130-136.
- 葛振鸣,王天厚,施文彧,等. 2005. 崇明东滩围垦堤内植被快速次生演替特征. 应用生态学报, **16**(9): 1677-1681.
- 李侠,于明坚,慎佳泓,等. 2007. 杭州湾滩涂 Na 元素含量对植物多样性和优势度的影响. 生态学报, **27**(11): 4603-4611.
- 李政海,王海梅,刘书润,等. 2006. 黄河三角洲生物多样性分析. 生态环境, **15**(3): 577-582.
- 慎佳泓,胡仁勇,李铭红,等. 2006. 杭州湾和乐清湾滩涂围垦对植物多样性影响. 浙江大学学报(理学版), **33**(3): 324-328.
- 宋永昌. 2001. 植被生态学. 上海:华东师范大学出版社.
- 唐承佳,陆健健. 2003. 长江口九段沙植物群落研究. 生态学报, **23**(2): 399-403.
- 王宪礼,李秀珍. 1997. 湿地的国内外研究进展. 生态学杂志, **16**(1): 58-62.
- 吴明. 2005. 杭州湾滨海湿地现状与保护对策. 林业资源管理, **26**(6): 44-47.
- 郝金标,宋玉民,邢尚军,等. 2002. 黄河三角洲生态系统特征与演替规律. 东北林业大学学报, **30**(6): 111-114.
- 邢尚军,郝金标,张建锋,等. 2003. 黄河三角洲植被基本特征及其主要类型. 东北林业大学学报, **31**(6): 85-86.
- 闫芊,陆健健,何文珊. 2007. 崇明东滩湿地高等植被演替特征. 应用生态学报, **18**(5): 1097-1101.
- 张继义,赵哈林,张铜会,等. 2004. 科尔沁沙地植被恢复演替系列上群落演替与物种多样性的恢复动态. 植物生态学报, **28**(1): 86-92.
- 张金屯,柴宝峰,邱扬,等. 2000. 晋西吕梁山严村流域撂荒地植物群落演替中的物种多样性变化. 生物多样性, **8**(4): 378-384.
- Castellanos AE, Martinez MJ, Llano JM, *et al.* 2005. Successional trends in Sonoran desert abandoned agricultural fields in northern Mexico. *Journal of Arid Environments*, **60**: 437-455.
- Connell JH, Slatyer RO. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, **111**: 1119-1144.
- Cook WM, Yao J, Foster BL, *et al.* 2005. Secondary succession in an experimentally fragmented landscape: Community patterns across space and time. *Ecology*, **86**: 1267-

- 1279.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* 1997. The value of the world's ecosystem services and nature capital. *Nature*, **387**:253-260.
- Degn HJ. 2001. Succession from farmland to heathland: A case for conservation of nature and historic farming methods. *Biological Conservation*, **97**:319-330.
- Garde LM, Nicol JM, Conran JG. 2004. Changes in vegetation patterns on the margins of a constructed wetland after 10 years. *Ecological Management and Restoration*, **5**:111-116.
- Glenn-Lewin DC. 1980. The individualistic nature of plant community development. *Plant Ecology*, **43**:141-146.
- Otto R, Kritisi BO, Burga CA, *et al.* 2006. Old-field succession along a precipitation gradient in the semi-arid coastal region of Tenerife. *Journal of Arid Environments*, **65**:156-178.
- Portnoy JW. 1999. Salt marsh diking and restoration: Biogeochemical implications of altered wetlands hydrology. *Environmental Management*, **24**:111-120.
- Ter Braak CJF. 1991. CANOCO - A FORTRAN program for canonical community ordination by [partial], [detrended], [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis. Wageningen: Agricultural Mathematics Group.
- Tziaila CE, Veresoglou DS, Papakosta D. 2006. Changes in soil characteristics and plant species composition along a moisture gradient in a Mediterranean pasture. *Journal of Environmental Management*, **80**:90-98.
- Zhang JT. 2005. Succession analysis of plant communities in abandoned croplands in the eastern Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*, **63**:458-474.
- Zhang RS, Shen YM, Lu LY, *et al.* 2004. Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu province, China. *Ecological Engineering*, **23**:95-105.

作者简介 吴统贵,男,1981年12月生,博士研究生。主要从事滨海湿地生态研究。E-mail:wutonggui@126.com
责任编辑 魏中青

《香根草系统的理论与实践》一书出版

由徐礼煜、夏汉平主编的《香根草系统的理论与实践》一书于2008年正式出版。这是我国从1988年引种香根草以来,20余年研究和应用该系统理论与实践的结晶,该书在总结经验、交流成果的基础上,加速香根草系统在我国和世界上的研究、应用和推广。香根草系统(Vetiver System),原称香根草技术,是一价格低廉、用于水土保持、基础设施保护、污染控制与治理以及减轻自然灾害等的有效系统。随着香根草在我国应用地域和领域的拓宽,1997、1999和2003年分别在福州、南昌和广州召开了三次香根草的国际会议。有力地促进了香根草系统的研究、应用和推广,如红壤水土保持、公路、铁路护坡、河、湖、水库的污染防治和矿区修复、重建等领域,经济、生态、社会三大效益显著。为了使农民在坡地种香根草保持水土的同时,得到更加直接的经济效益。

本书共载论文37篇,40余万字,内容主要包括两大部分:一是汇集近些年来我国科技工作者在香根草的研究和应用方面所取得的最新成就;二是将国外的主要研究成果和信息介绍到我国。对有志于了解国内外香根草系统的现状、进展,进一步开拓香根草的研究和相关应用开发的科教、生产技术人员有直接指导意义。

本书定价48元,订购者可以通过网络或电话联系:南京市北京东路71号或南京市821信箱中国科学院南京土壤研究所中国香根草网络。备有少量书籍免费赠送给单位图书馆,欢迎来函索取,数量有限,送完为止。邮编210008,电话025-86881269,E-mail:lyxu@issas.ac.cn Homepage:http://www.vetiver.org.cn