

上海市崇明岛不同模式农田防护林对水稻产量的影响

沈青叶^{1,2}, 李 晴^{1,2}, 邹春静^{1,2}, 张 超¹

(1. 华东师范大学 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062; 2. 华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062)

摘要: 选取农田防护林主要模式, 调查其结构特征, 探讨防护林对所防护的水稻 *Oryza sativa* 产量和千粒质量的影响。经统计分析, 结合林带疏透度及水稻防护效益, 得到每种模式最佳防护区域, 找出最佳防护模式, 从而优化崇明岛农田防护林模式。结果表明: 5 种模式农田防护林都能使水稻增产, 提高水稻千粒质量, 并有利于叶面积指数的增加; 同样地不同树高倍数处产量及千粒质量差异显著, 空间数值变化趋势相同; 不同模式增产效益有较大区别, 5 种模式增产效益为: 池杉 *Taxodium ascendens* 模式 > 水杉 *Metasequoia glyptostroboides*-柳杉 *Cryptomeria fortunei* 混交模式 > 水杉模式 > 杨树 *Populus spp.* 模式 > 柳杉模式; 5 种模式防护林林带平均疏透度变化范围为 0.31 ~ 0.39, 高于最适宜范围, 树干疏透度偏大; 最佳防护区域均为林带树高的 5 ~ 10 倍 (5H ~ 10H), 混交林比纯林具有更好的防护效益; 水杉-柳杉混交模式为最佳防护模式, 池杉模式、水杉模式次之, 杨树模式和柳杉模式居后。图 3 表 3 参 21

关键词: 农田防护林; 林带疏透度; 水稻产量; 千粒质量; 叶面积指数

中图分类号: S714.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2010)02-0198-07

Rice yield of five farmland shelter-belt models on Chongming Island, Shanghai

SHEN Qing-ye^{1,2}, LI Qing^{1,2}, ZOU Chun-jing^{1,2}, ZHANG Chao¹

(1. Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062; 2. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract: Farmland shelter-belts are the main component of Chongming Island's shelter forest network. The objective of this study was to select the optimum farmland shelterbelt type by determining the optimal shelter forest porosity. After choosing the main shelter forest models (*Taxodium ascendens* forest, mixed *Metasequoia glyptostroboides* (water fir)-*Cryptomeria fortunei* forest, *M. glyptostroboides* forest, *Populus spp.* (poplar) forest, and *C. fortunei* forest) and surveying the community structure, rice yield and 1 000-grain weight were determined for each shelter forest. Results showed that at different distances within the same sample plot, forest protection significantly improved rice yield and 1 000-grain weight; leaf area index also improved. Among the different models, yield increase was in the order *T. ascendens* > the mixed forest of *M. glyptostroboides* and *C. fortunei* > *M. glyptostroboides* > *Populus spp.* > *C. fortunei*. The range of shelter forest porosity was 0.31 - 0.39, and the most effective protective distance was 5H (fivefold height of the tree)-10H. In addition, the mixed forest was better than the monotypic forest with the mixed forest of *M. glyptostroboides* and *C. fortunei* being the optimal shelterbelt model. [Ch, 3 fig. 3 tab. 21 ref.]

Key words: farmland shelter-belt; shelter forest porosity; yield; 1 000-grain weight; leaf area index

收稿日期: 2009-04-27; 修回日期: 2009-08-19

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划重大项目(2006BAC01A14); 国家自然科学基金重点项目(90511608); 中法国际合作项目(063907040); 上海市科委重大科研专项(06DZL2303); 上海市科委重大项目(07DZ12037)

作者简介: 沈青叶, 从事城市生态学和植被生态学研究。E-mail: qyshin@ecnu.cn。通信作者: 邹春静, 副教授, 从事植被生态学、系统生态学等研究。E-mail: cjzou@bio.ecnu.edu.cn

关于农田防护林对农作物产量、生物量和小气候影响等方面的研究较多^[1-7]，并且不少研究者从林带防风效能^[8]、土壤改良效果方面^[9]提出模式优化意见，但国内对岛屿农田防护林体系研究很少，且研究多针对于某一种特定防护林模式，基于多种农田防护林模式下对农作物产量的研究也少有报道。崇明岛是世界上最大的河口冲积岛，地处中国长江河口，位于东部沿海地区“T”形交汇点，兼具沿海防护林和沿江防护林建设的双重要求^[10]。作为一个成陆历史很短的河口岛屿，台风、暴雨、风暴潮等是常见的气候现象^[11]。受全球气候变暖趋势的影响，长江三角洲地区相对海平面上升幅度加大，风暴潮灾成加重趋向^[12]，这些都将大大增加崇明岛的生态风险，也对崇明沿海防护林体系防护功能提出更高要求。农业在崇明岛经济发展中一直占有很重要的地位，而作为崇明岛沿海防护林重要组成部分的农田防护林，目前的研究十分欠缺，这对生态岛建设及生态安全都非常不利。面对政府在林业发展中提出的完善农村林网化体系建设的重要目标和《全国沿海防护林体系建设工程规划》提出的沿海地区农田林网控制率 85.0% 的建设标准，如何优化崇明岛现有农田防护林模式，完善防护林体系，提高防护功能是我们面临的迫切任务。笔者整合了农作物防护效益及林带结构特征 2 个方面，旨在对崇明岛不同模式农田防护林的防护效益进行研究，探索最佳防护林模式，最终为优化农田防护林模式提出建议，并为崇明岛农田防护林的完善与更新提供理论指导。

1 研究区概况

崇明岛(31°27'00" ~ 31°51'15"N, 121°09'30" ~ 121°54'00"E)处于长江入海口，三面临江，属亚热带季风性气候，夏季盛行东南风，冬季盛行偏北风，风灾是崇明岛区的主要自然灾害。气象资料显示，崇明岛多年月平均风速均在 5 ~ 6 级，3 ~ 5 月间月平均风速最大，均为 6 级；10 月平均风速最低，平均 5 级；7 月和 8 月为台风多发期。据崇明气象局统计(1949 - 2005)，岛区台风的发生概率为 73.21%，平均 2 次·a⁻¹，多时可达 6 ~ 7 次·a⁻¹。此外，据国家科技部自然灾害综合研究组统计(1949 - 2002)，崇明岛风暴潮发生的概率为 62.96 %。

崇明岛的农田防护林树种、模式多样，但缺乏抚育与更新，很多林带已经凋零甚至死亡。在农业示范区中选取试验区，该区域内立地条件相同，农作物种植由相关部门统一管理，主防护林带相互平行，与主害风方向基本垂直，或有 45°夹角，带间距均约 200 m。选取 5 种常见且生长较好的防护林模式为研究对象，基本结构特征见表 1。池杉 *Taxodium ascendens* 模式、杨树 *Popular spp.* 模式、水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 模式、柳杉 *Cryptomeria fortunei* 模式都为纯林，水杉-柳杉混交模式为混交林，其中间 2 行为柳杉，外侧 2 行为水杉。

表 1 农田防护林结构特征

Table 1 Characteristics of farmland shelterbelts

样地	树种	树高/m	枝下高/m	胸径/cm	行数	株行距/ (m × m)	冠幅(EW × SN)/ (m × m)	占地率/%
池杉模式	池杉	13	2.7	70	4	2.0 × 2.0	3.0 × 3.0	4.3
杨树模式	杨树	15	3.5	55	6	2.0 × 2.0	4.0 × 3.5	6.5
水杉模式	水杉	11	1.8	51	4	2.0 × 2.5	2.9 × 2.7	5.2
柳杉模式	柳杉	5	1.8	30	4	1.5 × 2.0	2.1 × 2.2	3.8
水杉-柳杉混交模式	柳杉	7	1.7	54	2	2.5 × 1.6	2.7 × 3.0	4.8
	水杉	11	2.0	56	2	2.5 × 1.6	2.1 × 2.2	

2 研究方法

2.1 试验设计

2008 年 7 月至 10 月对全岛农田防护林进行野外实地踏查。试验区内选取上述 5 种模式农田防护林为实验样地，各样地包括 50 m 长林带及其所防护的水稻 *Oryza sativa* 田。对照样地选取原则：大

小、形状及采样分析方法与样地一致；地处空旷区域或距周围林带 30 倍树高(30H)处；水稻品种、种植方式、管理和施肥等与样地基本一致。样地内样方设定方法为：沿林带垂直的方向，距林带不同树高倍数处布设 1 m × 1 m 的样方共 5 个，即 1H, 3H, 5H, 10H 和 15H，同样方法，相隔一定距离，再设 2 次重复。对照样地沿与一条较长地缘相垂直的方向，距地缘 10, 30, 50, 100, 150 m 处设置样方。

计算叶面积指数和水稻产量。在水稻灌浆后不久，叶面积较稳定的时期，各个样方使用 CI-203 激光叶面积仪活体测量单个叶片的叶面积，计算叶面积指数。水稻籽粒成熟后，常规方法测量产量、千粒质量和产量^[5]。测定样地防护林林带的结构特征，计算林带有叶期疏透度、农防林占地比率^[13]。林带疏透度采用照相法数字化测定^[3-4]。林带平均疏透度值采用加权平均法计算^[14]。根据尼基金和克雷夫达(1976)按分层计算疏透度并规定各基本类型的变动范围，同时结合林带各基本类型的定义，综合确定各林带的结构。

2.2 数据处理

采用 SPSS(Version 15.0)软件对数据进行分析。

3 结果与分析

3.1 产量的测定与变化

如图 1 所示，5 个样地不同距离处水稻产量值有显著差异，但变化趋势基本一致，离林带最近的 1H 处和最远的 15H 处数值较低，5H 处和 10H 处区域数值较高。对照样地不同距离处水稻产量在空间分布上变化规律性。比较同一模式不同树高倍数处水稻产量值与对照样地产量平均值(图 1)，发现各样地都有多个样方的水稻产量明显高于对照样地。提高范围：池杉模式 3H ~ 15H 为 24.2% ~ 64.0%；杨树模式 3H ~ 10H 为 10.9% ~ 49.0%；水杉模式 1H ~ 15H 为 8.3% ~ 37.2%；柳杉模式 5H ~ 10H 为 8.9% ~ 16.1%；水杉-柳杉混交模式 3H ~ 10H 为 25.9% ~ 39.8%。这些数据看出各模式都发挥了较好的防护效能。杨树模式和柳杉模式 1H 处分别减产 9.6% 和 5.7%，有明显的林带胁地效应，这是由于杨树高大，庇荫时间最长且面积大，柳杉树矮小，林带下层过于通透，防护效益差。其他模式胁地效应减小或没有是由于树种冠幅小，庇荫面积小，且林带与田地之间有宽、深都是 1.5 m 的壕沟，使林带根部对水稻影响减到最小。各种模式不同树高倍数处产量值显著高于此模式总体平均值的区域为最佳防护区域^[15]。由图 1 可知，除柳杉模式的最佳防护区域为 5H 至 10H 区域，以 5H 最优外，其他 4 种模式最佳防护区域均为 5H 至 10H 区域，以 10H 最优。

计算各样地及其对照样地的平均产量，进而得增产率(表 2)。发现不同模式防护林增产效益差别很大。增产效益：池杉模式 > 水杉-柳杉混交模式 > 水杉模式 > 杨树模式 > 柳杉模式。因为林带结构不同，防风效果有差异，最终引起防护效益不同。

3.2 千粒质量变化分析

对 5 个样地千粒质量分别进行方差分析，均 $P < 0.05$ ，故认为，林带对水稻千粒质量的空间分布有影响。各模式千粒质量空间变化规律与产量变化规律相似(图 2)。比较各样方与它们对照样地平均千粒质量的增加率，除杨树模式及柳杉模式的 1H 处由于林带的胁地效应而下降外，其他都有所提高，一般 3H ~ 10H 区域提高较显著。比较 5 种模式总体平均千粒质量增加率，除柳杉模式千粒质量提高不明显，仅为 1% 外，其他模式都有较大提高。分别为：池杉模式 9.1%，杨树模式 7.8%，水杉模式 8.6%，水杉-柳杉混交模式提高最大，为 10.4%。由此推论，林带防护对水稻的千粒质量有明显的提高作用。

表 2 不同模式农田防护林水稻产量的增产效益

样地	样地产量/(t·hm ⁻²)	对照样地产量/(t·hm ⁻²)	产量增产率/%
池杉模式	8.73	6.65	31.2
杨树模式	7.91	6.65	18.7
水杉模式	7.94	6.65	19.3
柳杉模式	6.90	6.65	3.8
水杉-柳杉混交模式	8.06	6.65	21.1

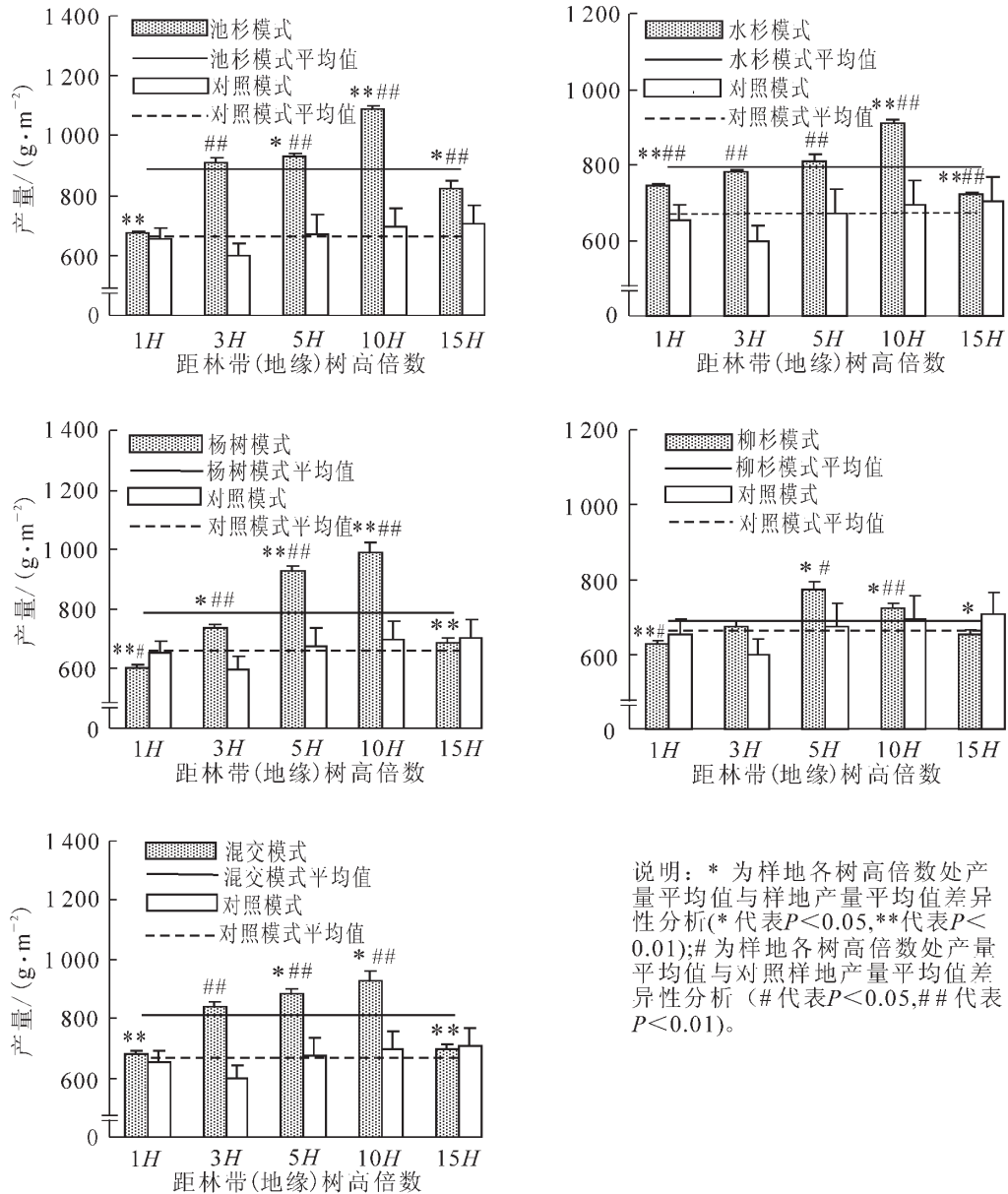


图 1 5 种模式及其对照样地不同距离处水稻产量

Figure 1 Rice yield measured at different distances from the shelterbelts of the plots and their control plots

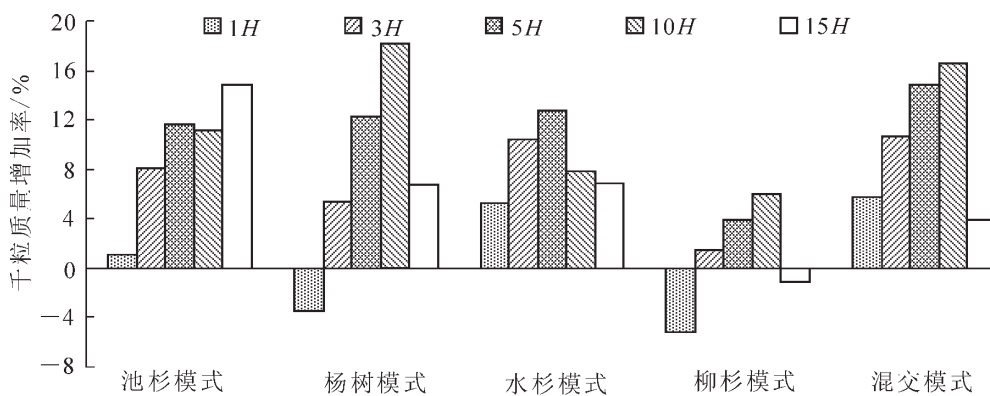


图 2 不同距离处千粒质量增加率

Figure 2 Increasing rate of 1 000-grain weight measured at different distances from the shelterbelts

3.3 水稻叶面积指数变化分析

图3所示,各样地靠近林带的1H处水稻叶面积指数较大,随着距离的增加,叶面积指数逐渐减小,从3H处起,其变化趋势与产量、千粒质量变化趋势基本一致。1H处叶面积指数值大的原因是受林带蔽荫作用,直射光相对较少,慢射光较多,叶面积的增加能较好的利用较弱的光;再者就是贪青现象,调查发现,1H处水稻植株偏高,穗质量小,产量低,地上总生物量低。从植物生理方面来看,水稻叶面积指数的变化,可以解释水稻产量及千粒质量的变化。进一步证明林带对水稻有防护作用,能增大水稻叶面积,促进水稻有机物质的积累。

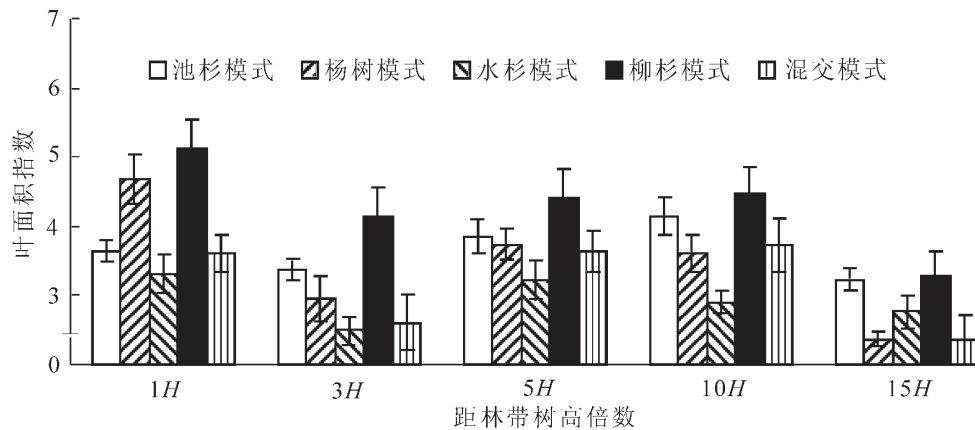


图3 不同距离处叶面积指数

Figure 3 Leaf area index measured at different distances from the shelterbelts

3.4 不同模式防护林林带疏透度与功能状况

林带疏透度是区别林带防风性能优劣的最主要指标之一^[3-4]。林带最适疏透度为0.30~0.50^[1-2]。康立新等^[16]对苏北沿海防护林的研究表明,主林带疏透度以0.25~0.30为最适值。笔者以后者为标准。5种模式均为上疏下开结构,由表3可知,树冠疏透度值基本在最适值范围内,林带平均疏透度值略高于最适值范围,是由树干部分过于通透造成。5种模式中,水杉-柳杉混交模式疏透度值最接近最适疏透度,林带结构最合理。

分析水稻产量、千粒质量及叶面积指数的变化,5种模式均对水稻发挥了较好的防护功能。池杉模式产量增产效益最高,树木高大,占地率较小,防护功能好;杨树防护距离最远,但胁地效应也最明显,占地率最大;柳杉模式树木矮小,枝下高占树高的比值最大,为36%,防风效果差,产量及千粒质量增加率远低于其他4种模式;水杉模式疏透度为5种模式中最大,但枝下高所占比值较小,为16%,从水稻增产效益看,防护效果较好;水杉-柳杉混交模式疏透度最接近最适值,林带结构最合理,千粒质量增加率最高,总体防护效果好。综合分析,池杉模式和水杉-柳杉混交模式都为很好的模式,水杉模式、杨树模式次之,柳杉模式最差。由踏查发现,水杉和柳杉栽植面积远大于池杉,为当地优势树种。柳杉无明显季相变化,冬天防护效果较好。崇明岛夏季多发虫害,混交林比纯林更具有抗虫抗灾能力,因此,水杉与柳杉混种,可扬长避短,提高防护效益。综上,水杉-柳杉混交林为最优防护林模式。

表3 5种模式农田防护林林带疏透度计算值

Table 3 Porosities of farmland shelterbelts

样地	树种	树冠疏透度	树干疏透度	林带疏透度
池杉模式	池杉	0.295	0.529	0.343
杨树模式	杨树	0.292	0.600	0.373
水杉模式	水杉	0.308	0.640	0.390
柳杉模式	柳杉	0.224	0.587	0.355
水杉-柳杉混交模式	水杉+柳杉	0.236	0.543	0.308

4 讨论与建议

农田防护林由于改善了农田小气候，促进农作物本身物质、能量的转化和积累，从而提高了农作物生物量和产量甚至品质^[17-20]。向开馥^[5]关于防护林对粮食产量及千粒质量影响的研究与本研究结果相似。本研究中，5 种模式的水稻产量增产率为 3.8% ~ 31.2%，千粒质量和平均叶面积指数也相应增大，最佳防护区域均为 5H ~ 10H。产量的增产效益：池杉模式 > 水杉-柳杉混交模式 > 水杉模式 > 杨树模式 > 柳杉模式。千粒质量增加效益：水杉-柳杉混交模式 > 池杉模式 > 水杉模式 > 杨树模式 > 柳杉模式。最佳防护面积：杨树模式 > 池杉模式 > 水杉-柳杉混交模式 > 水杉模式 > 柳杉模式。因此在完善防护林体系时，建议选取树木较高，但冠幅较小的树种，例如池杉和水杉，这样既能保证防护距离，又能消减胁地效应。

关于林带疏透度已有很多研究，Sun 等^[1]的研究表明，林带疏透度为 0.44 时，有效防护距离可远至林带后 23.23H 处，在这距离以内，风速将大大减小；康立新等^[16]研究表明，主林带疏透度为 0.25 ~ 0.30 时林带结构最优，有效防护距离为 23H。本研究发现，崇明岛 5 种模式林带平均疏透度为 0.31 ~ 0.39，高于最适值 0.25 ~ 0.30，林带结构还需进一步调节，这与孔正红等^[21]对崇明岛沿岸防护林林带疏透度研究结果一致。5 种模式防护林林带树干疏透度都偏高，建议在林带下层适当栽植灌木，或根据季节种植大豆 *Glycine max*，油菜 *Brassica campestris* 等农作物，这样既有经济价值，还可减小树干疏透度，调节林带平均疏透度到最优。Hiroyuki 等^[8]认为防护距离还与林带宽度显著相关，而崇明岛农田防护林林带绝大多数为 4 行，林带宽度和占地率无大差别，带间距都约为 200 m，从这 5 种模式林带防护效益来看，现有林带栽植方式比较合理，除柳杉模式外，带间距构建也较合理。综合林带结构特征及防护效益，可推论出水杉-柳杉混交模式为最佳防护模式，池杉模式和水杉模式次之，杨树模式及柳杉模式则应进行重点改良。

本研究选择的是外貌完整的林带。经调查发现，崇明岛农田防护林体系自建成后，缺乏及时的抚育与更新，再加上时有发生赤蛾 *Formica rufibarbis* 或其他虫害，很多林带已经凋零甚至死亡，大大妨碍了防护功能的发挥。建议政府尽快完修复善现有农田防护林体系。

参考文献：

- [1] SUN D, DICKINSON G R. A case study of shelterbelt effect on potato (*Solanum tuberosum*) yield on the Atherton Tablelands in tropical north Australia [J]. *Agrofor Sys*, 1994, **25**: 141 - 151.
- [2] MARSHALL J K. The effect of shelter on the productivity of grasslands and field crops [J]. *Field Crop Abstr*, 1967, **20**: 1 - 14.
- [3] MIZE C W, EGEH M H, BATCHELOR W D. Predicting maize and soybean production in a sheltered field in the corn-belt region of North Central USA [J]. *Agrofor Sys*, 2005, **64**: 107 - 116.
- [4] 曹新孙. 农田防护林学[M]. 北京：中国林业出版社，1983.
- [5] 向开馥. 防护林研究[M]. 哈尔滨：东北林业大学出版社，1989.
- [6] MOHAMMED A E, STIGTER C J, ADAM H S. Wind regimes windward of a shelterbelt protecting gravity irrigated crop land from moving sand in the Gezira Scheme (Sudan) [J]. *Theor Appl Clim*, 1999, **62**: 221 - 231.
- [7] STIGTER C J, ELTAYEBMOHAMMED A, NAWAL K, et al. Agroforestry solutions to some African wind problems [J]. *J Wind Eng Ind Aerodyn*, 2002, **90**: 1101 - 1114.
- [8] HIROYUKI T, HAJIME S. Relationship between shelterbelt structure and mean wind reduction [J]. *Agric For Meteorol*, 2007, **145**: 186 - 194.
- [9] 万福绪，韩玉洁. 苏北沿海防护林优化模式研究[J]. 北京林业大学学报，2004，**26** (2): 31 - 36.
WAN Fuxu, HAN Yujie. Optimal models of shelterbelts and their application in coastal protection forest construction in Jiangsu Province [J]. *J Beijing For Univ*, 2004, **26** (2): 31 - 36.
- [10] 王开运，邹春静，孔正红，等. 生态承载力与崇明岛生态建设[J]. 应用生态学报，2005，**16** (12): 2247 - 2453.
WANG Kaiyun, ZOU Chunjing, KONG Zhenghong, et al. Ecological carrying capacity and Chongming Island's ecological construction[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (12): 2247 - 2453.

- [11] 杨娟, 蔡永立, 李静, 等. 崇明岛生态风险源分析及其防范对策研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, **6** (5): 615 - 619.
YANG Juan, CAI Yongli, LI Jing, *et al.* Analysis on main sources of eco-risk in Chongming Island of Yangtze Estuary with proposal of its countermeasures [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2007, **6** (5): 615 - 619.
- [12] 杨桂山. 中国沿海风暴潮灾害的历史变化及未来趋向[J]. 自然灾害学报, 2000, **9** (3): 23 - 30.
YANG Guishan. Historical change and future trends of storm surge disaster in China's coastal area [J]. *J Nat Disaster*, 2000, **9** (3): 23 - 30.
- [13] 王忠林. 农田防护林结构特征与作物产量关系的探讨[J]. 陕西林业科技, 1991 (2): 49 - 52.
WANG Zhonglin. Study on relationships between shelterbelt structure and crop yield in Weibei Dry Plateau [J]. *J Shaanxi For Sci Technol*, 1991 (2): 49 - 52.
- [14] 万猛, 潘存德, 王梅, 等. 农田防护林林带疏透度数字化测定方法及其应用[J]. 干旱区地理, 2005, **28** (1): 120 - 123.
WAN Meng, PAN Cunde, WANG Mei, *et al.* Application of the digitized measurement on windbreak porosity of farmland shelter-forests [J]. *Arid Land Geogr*, 2005, **28** (1): 120 - 123.
- [15] 谢伟, 刘文欢, 宋斌岩, 等. 防护林对农作物的生物量、品质及光合特性的影响研究[J]. 东北林业大学学报, 1992, **20** (增刊1): 112 - 117.
XIE Wei, LIU Wenhuan, SONG Binyan, *et al.* Its influence of shelterbelt on crop biomass, quality and photosynthetic characteristics [J]. *J Northeast For Univ*, 1992, **20** (supp 1): 112 - 117.
- [16] 康立新, 张纪林, 季永华, 等. 沿海防护林体系生态环境效益及评价技术[J]. 林业科技开发, 1998 (2): 31 - 32.
KANG Lixin, ZHANG Jilin, JI Yonghua, *et al.* Ecological environment benefit and evaluation technology on agricultural environment [J]. *China For Sci Technol*, 1998 (2): 31 - 32.
- [17] 朱廷曜. 防护林体系生态效益及边界层物理特征研究[M]. 北京: 气象出版社, 1992.
- [18] 杨胜涛, 张先江, 孟宪辉, 等. 农田防护林对农作物增产的实验与简析[J]. 吉林林业科技, 2001, **30** (3): 26 - 31.
YANG Shengtao, ZHANG Xianjiang, MENG Xianhui, *et al.* Effect of farmland shelterbelt forest on the mechanism of increasing yield of crops [J]. *J Jilin For Sci Technol*, 2001, **30** (3): 26 - 31.
- [19] 查同刚, 孙向阳, 于卫平, 等. 宁夏地区农田防护林结构与小气候效应[J]. 中国水土保持科学, 2004, **2** (4): 82 - 86.
CHA Tonggang, SUN Xiangyang, YU Weiping, *et al.* Structure and microclimate effects of shelter belt on farmland in Ningxia [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2004, **2** (4): 82 - 86.
- [20] BRANDEL J R, HODGES L, ZHOU X H. Windbreaks in North American agricultural systems [J]. *Agrofor Sys*, 2004, **61**: 65 - 78.
- [21] 孔正红, 董卉卉, 陈希, 等. 崇明岛沿岸防护林结构与功能空间异质性分析[J]. 林业科学, 2009, **45** (4): 60 - 64.
KONG Zhenghong, DONG Huihui, CHEN Xi, *et al.* Spatial heterogeneity of structure and function of the coastal shelterbelts in Chongming Island [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (4): 60 - 64.