

学校编码: 10384  
学号: 21620121152460

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_

廈門大學

硕士学位论文

入侵植物互花米草的营养生长和有性繁殖的  
地理变异

Geographical Variation in Vegetative Growth and Sexual  
Reproduction of the Invasive *Spartina alterniflora*

刘文文

指导教师姓名: 张宜辉 副教授

专业名称: 植物学

论文提交日期: 2015年 04月

论文答辩时间: 2015年 05月

学位授予日期: 2015年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评阅人: \_\_\_\_\_

2015年6月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(红树林生态学与保护)课题(组)的研究成果,获得(国家自然科学基金面上项目41276078)课题(组)经费或实验室的资助,在(环境与生态学院B419)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

目录.....	i
CONTENT.....	iii
摘要.....	I
Abstract.....	IV
<b>第一章 引言 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 研究背景 .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 生物入侵及其危害概况.....	1
1.1.2 入侵植物适应不同环境的机理.....	2
1.1.3 同质种植园实验的应用背景.....	4
1.1.4 中国互花米草的入侵概况.....	5
1.1.5 中美不同纬度种群互花米草的研究概况.....	8
<b>1.2 研究目的及科学问题.....</b>	<b>9</b>
1.2.1 研究目的.....	9
1.2.2 科学问题.....	10
1.2.3 技术路线.....	11
<b>第二章 材料与方法 .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 野外调查及样品采集 .....</b>	<b>12</b>
2.1.1 样地概述.....	12
2.1.2 研究地点.....	12
2.1.3 野外调查.....	14
2.1.4 室内处理.....	14
2.1.5 气候和水文数据收集.....	15

2.2 同质种植园实验 .....	17
2.2.1 同质种植园实验设计 .....	17
2.2.2 同质种植园样品的收获 .....	18
2.3 数据分析 .....	18
<b>第三章 实验结果 .....</b>	<b>19</b>
3.1 环境因子沿纬度的变化 .....	19
3.2 野外和同质种植园表型性状沿纬度的变化 .....	23
3.2.1 互花米草个体水平上的生物学性状变化 .....	23
3.2.2 互花米草种群水平上的生物学性状变化 .....	23
3.3 互花米草的表型性状和环境因子之间的关系 .....	28
<b>第四章 讨论 .....</b>	<b>36</b>
4.1 不同纬度互花米草的表型变异 .....	36
4.2 同质种植园条件下的表型变异 .....	37
<b>第五章 结论与展望 .....</b>	<b>39</b>
5.1 结论 .....	39
5.2 展望 .....	40
<b>参考文献 .....</b>	<b>41</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>51</b>
<b>附录 .....</b>	<b>52</b>

---

**CONTENT**

<b>Abstract (in Chinese)</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract (in English)</b> .....	<b>IV</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Rsearch background</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Biological invasion and its damage.....	1
1.1.2 The mechanism of invasive plants adapt to different environment .....	2
1.1.3 The background of common garden experiment.....	4
1.1.4 The invasion of <i>spartina alterniflora</i> in China .....	5
1.1.5 The research progress of different latitude <i>S. alterniflora</i> in China and America .....	8
<b>1.2 The purpose and questions of this study</b> .....	<b>9</b>
1.2.1 Research purpose.....	9
1.2.2 Scientific questions .....	10
1.2.3 Framework and technical route.....	11
<b>Chapter 2 Materials and methods</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Field survey and sample collection</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 Site discription.....	12
2.1.2 The study sites .....	12
2.1.3 Field survey .....	14
2.1.4 Indoor handling .....	14
2.1.5 Meteorological and hydrological data collection .....	15
<b>2.2 Common garden experiment</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 The design of common garden experiment .....	17
2.2.2 Common garden sample harvest .....	18
<b>2.3 Statistical analysis</b> .....	<b>18</b>

<b>Chapter 3 Results</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 Abiotic conditions across latitude</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2 The phenotypic variability across latitude and common garden</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 The biological character of <i>S.alterniflora</i> individual variability .....	23
3.2.2 The biological character of <i>S.alterniflora</i> population variability.....	23
<b>3.3 Relationship between <i>S. alterniflora</i> phenotype and environmental factors</b> .....	<b>28</b>
<b>Chapter 4 Discussion</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 The phenotypic of spartina alterniflora variability across latitude</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 The phenotypic variability in the common garden</b> .....	<b>37</b>
<b>Chapter 5 Conclusions and prospect</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1 Conclusions</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2 Prospect</b> .....	<b>40</b>
<b>References</b> .....	<b>41</b>
<b>Acknowledgements</b> .....	<b>51</b>
<b>Appendix</b> .....	<b>52</b>

## 摘要

生物入侵是全球变化的重要内容，对全球经济和环境产生严重影响，并威胁生态系统的多样性。明确生物入侵发生的过程和机制可以有效地防控入侵生物带来的危害。繁殖是入侵种从定居到其后扩张过程中的一个重要的内在因素，进而可能影响入侵的成功。在入侵种扩散并占据广阔的地理分布区过程中，表型可塑性可能起到关键作用。揭示入侵种繁殖和表型可塑性在变异及其与环境因子的相关关系，对阐明外来物种的入侵机制和预测其分布具有重要的意义。互花米草原产美国大西洋沿岸和墨西哥湾，于 1979 年从美国引入中国。经过 30 多年的入侵和扩散，互花米草已经分布到除海南岛之外的沿海各省，南北跨 19 个纬度。目前，对于中国海岸带不同地理种群的互花米草的营养生长和有性繁殖的地理变异及其影响机制还缺乏系统深入的研究。

本研究开展了两年（2012 年和 2013 年秋季，互花米草生长季末期）的野外观测，从天津塘沽到广东雷州选择 11 个样地，沿纬度调查了中国互花米草的营养生长和有性繁殖相关的生物学性状，并收集了各样地的气象、水文和土壤数据，由此分析环境因子与互花米草生长性状的相关关系；在 2013 年和 2014 年，我们采用同质种植园实验方法，连续两年观测来自沿纬度不同样地的互花米草的生长性状，探讨遗传因素和环境因子对互花米草表型性状的效应。主要研究结果如下：

1. 互花米草个体水平的生物学性状：在野外沿纬度不同样地中，互花米草植株的高度和纬度呈现驼峰型的关系，在中纬度地区，2012年株高最大值为浙江乐清（28° 20' N）的 $201 \pm 9$  cm，2013年为福建罗源（26° 26' N）的 $229 \pm 5$  cm。对应2012和2013年度株高最小值 $133 \pm 2$  cm和 $126 \pm 5$  cm均来自低纬度区域的广东雷州（20° 54' N）。单个植株的小穗数和纬度正相关，其变化范围从低纬度的 $< 100$ 个/株增加到高纬度的 $> 400$ 个/株。结实率（饱满种子占总小穗数的比例）和纬度正相关，从低纬度的 $< 10\%$ 增加到高纬度的 $> 80\%$ ；与此相比，在同质种植园条件下，来自不同样地互花米草的植株高度以及单株小穗数均和纬度没有相关关系。仅有结实率和纬度保持正相关，但是这种变化幅度减弱了。第一个生长季末（2013年）结实率变化范围从3%到20%，第二个生长季末（2014年）结实率变化范围从3%到25%。



2. 互花米草种群水平的生物学性状：在野外沿纬度不同样地中，成年植株的密度随着纬度的上升下降了40%，呈负相关关系。开花株数比例和纬度呈驼峰型关系，在中纬度地区达到最大值2012年的江苏盐城（33°42' N） $69 \pm 7\%$ 和2013年的福建云霄（23°55' N） $83 \pm 4\%$ 。单位面积种子产量从低纬度到高纬度呈现出一个渐近线的变化趋势；但是在同质种植园条件下，来自不同样地互花米草的植株密度和单位面积种子产量与纬度均没有相关关系。仅开花株数比例在第一个生长季末和纬度呈驼峰型关系，但这种关系是微弱的，并在第二个生长季末消失了。

3. 非生物环境因子随纬度的变化：年均温、年均积温和年均降雨量均和纬度呈负相关。年均温从低纬度的23.2 °C（广东珠海）降到高纬度的13.4 °C（天津塘沽）。年均积温（> 10 °C）从低纬度的8410 °C（广东珠海）降到高纬度的4679 °C（天津塘沽）。年均降雨量也从低纬度的1812 mm（广东珠海）降到高纬度的587 mm（山东东营）；潮差最大值在中纬度地区（浙江乐清，5.28 m），是最小值（山东东营，1.58 m）的3.3倍；各样地间土壤间隙水盐度变化范围为11.2~55.1 PSU，高纬度样地的盐度相对较高；土壤含水量变化范围为26.2%~58.3%，高纬度样地相对干燥；土壤质地为壤土和粘土；各样地之间土壤总碳和总氮含量变化为0.55%~1.79%以及0.03%~0.14%，差异达到3~4倍，但是没有表现出纬度的变化趋势。

4. 相关分析表明：有些环境因子和纬度相关，并且有些环境因子彼此之间也有相关性。特别是，年均气温、年积温、年降雨量和土壤含水量之间显著正相关；土壤总氮含量和年均气温、年积温以及土壤含水量正相关。因为年均气温、年积温、年降雨量，土壤含水量以及土壤总氮含量都和纬度负相关，所有的这些环境变量分别都能够影响互花米草生物学特性的变化。用多元回归模型表明，发现气温、积温、降雨量、土壤氮含量以及潮差是影响互花米草在野外表型差异的主要原因。

我们通过连续两年的野外观测以及同质种植园实验，研究结果表明：在互花米草入侵我国沿海地区的过程中，互花米草很强的表型可塑性促进了互花米草在中国沿海的扩散，并且在入侵地（中国）出现了以遗传为基础的表型变异（有性繁殖），由此在将来可能会发生地理渐变群的进化。较低的株高和繁殖

使互花米草在低纬度扩散较慢，但高的结实率，会使互花米草很可能在高纬度地区继续扩散，甚至可能向朝鲜半岛蔓延。

**关键词：**生物入侵；纬度梯度；表型可塑性；同质种植园；互花米草

厦门大学博硕士论文摘要库

## Abstract

Biological invasions are recognized as a significant component of global change, acting as a major threat to the economy, environment and biodiversity of ecosystems worldwide. Making clear of the process and mechanism of biological invasion can help to control the biological invasion effectively. The reproduction is a critical factor in a plant's ability of colonization and establishment, which may affect the success of the invasion. The phenotypic plasticity may play an important role in the process of invasion diffusion and occupation to the vast geographical area. Therefore, reveal the invasive species reproduction and phenotypic plasticity in mutation and its correlation with environmental factors, can illustrate the mechanism of alien species invasion and predict their distribution. *Spartina alterniflora*, native to the Atlantic coast and Gulf of the United States, was introduced into China in 1979 and now has spread over 19° of latitude along the western Pacific coast. It is not known how the phenotype of *S. alterniflora* varies across this geographic range.

At the end of growing season of 2012, and 2013, we studied patterns in vegetative growth and sexual reproduction of *S. alterniflora* along a latitudinal gradient from Tanggu (high latitude) to Leizhou (low latitude), and in an effort to determine the relationship between *S. alterniflora* phenotype and environmental factors, we collected all sample areas of weather, hydrology and soil data. We further evaluated whether observed phenotypic differences were mostly genetic or mostly plastic by growing plants from across the range for 2 growing seasons in a common garden, in 2013 and 2014. The main results were shown as follows:

1. The individual level biological character of *S. alterniflora*: plant height showed hump-shaped relationship with latitude in the field, reaching its maximum at intermediate latitudes, 2012 for Yueqing, Zhejiang (28°20' N)  $201 \pm 9$  cm, 2013 for Luoyuan, Fujian (26°26' N)  $229 \pm 5$  cm. Correspondingly, the minimum plant height in year 2012, and 2013 were  $133 \pm 2$  cm and  $126 \pm 5$  cm at the low latitude site of Leizhou (20°54' N). However, plant height in the common garden experiment did not vary with latitude of origin. The number of spikelets (seeds) per inflorescence increased from  $< 100$  to  $> 400$  with latitude in the field, but again showed no relationship with latitude of origin in the common garden. Seed setting (proportion of

seeds that are filled) increased sharply with latitude in the field, ranging from <10 % at low latitudes to >80% at high latitudes. Seed setting increased with latitude of origin in the common garden, but the relationship was greatly diminished, with seed setting ranging from 3 to 20 % in the first growing season in 2013, and 3 to 25 % in the second growing season in 2014. Variation in seed set was the only trait that continued to show a latitudinal pattern for two growing seasons in the common garden.

2. The population level biological character of *S. alterniflora*: plant shoot density declined ca. 40 % with increasing latitude in the field, but showed no relationship with latitude of origin in the common garden. The percentage of culms flowering peaked at intermediate latitudes in the field, Yancheng, Jiangsu in 2012 (33 °42 'N)  $69 \pm 7\%$  and 2013 Yunxiao, Fujian (23 °55' N)  $83 \pm 4\%$ . This relationship was apparent but weaker in the common garden in the first year, then disappeared in the second year. Seed production, measured as the number of spikelets/m<sup>2</sup>, increased from low latitudes to an asymptote at high latitudes; no pattern was seen in the common garden.

3. Abiotic conditions across latitude: abiotic conditions varied considerably among the survey locations. Annual average temperatures declined from 23.2 °C (Zhuhai) at low latitudes to 13.4 °C (Tanggu) at high latitudes, and the annual number of growing degree days (> 10 °C) similarly declined from 8410 (Zhuhai) at low latitudes to 4679 (Tangdu) at high latitudes. Annual total precipitation also declined from 1812 mm (Zhuhai) at low latitudes to 587 mm (Dongying) at high latitudes. Tide range was greatest at intermediate latitudes (5.28 m at Yueqing), and varied three-fold among sites. Porewater salinity in the fall varied five-fold among sites, ranging from 11.2 (Zhuhai) to 55.1 PSU (Lianyungang). High latitude sites tended to have soils with higher salinity. Soil water content varied two-fold, from 26.2 (Yancheng) to 58.3 % (Zhuhai), and soils tended to be driest at high latitudes. Soils were of silty loam, or clay from all field sites. Soil carbon and nitrogen varied three and four-fold among sites, respectively, but did not show latitudinal patterns.

4. Correlation analysis: several of the abiotic variables measured were correlated with latitude, and correlated with each other. In particular, annual average temperature, annual number of growing degree days, annual total precipitation, and soil water content were strongly correlated with each other, and soil nitrogen was strongly

correlated with annual average temperature, annual number of growing degree days, and soil water content. Because temperature, growing degree days, precipitation, soil water content, and soil nitrogen all correlated with latitude, all of these variables individually predicted variation in *S. alterniflora* traits in the field. The best multiple regression models for *S. alterniflora* traits identified that temperature, growing degree days, precipitation, soil nitrogen, and mean tidal range were the most important predictors of variation in *S. alterniflora* traits in the field.

The rapid spread of *S. alterniflora* across almost the entire coast of China has probably been facilitated by a high degree of phenotypic plasticity in growth and reproductive traits. Genetic clines for most traits have probably not yet evolved in the introduced range, whereas they exist for some traits in the native range. Considerable genetically-based variation among clones at any site in the introduced range, however, indicates that there is the potential for evolution of geographic clines in the future. Small stature and low fecundity of low latitude *S. alterniflora* populations in China might result in slower spread at low latitudes, but *S. alterniflora* is likely to continue to spread rapidly at high latitudes in China and into the Korean peninsula.

**Key words:** biological invasions; latitudinal gradient; phenotypic plasticity; common garden; *Spartina alterniflora*

## 第一章 引言

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 生物入侵及其危害概况

生物入侵 (Biological invasion) 是当今世界范围内的普遍现象, 从热带到温带, 从大陆到岛屿以及海洋等, 都能发现生物入侵, 无处不在。生物入侵也是全球变化的重要组成部分<sup>[1, 2]</sup>, 被视为当前最棘手的三大环境问题之一<sup>[3]</sup>, 对全球经济和环境产生严重影响, 并威胁生态系统和生物多样性<sup>[4]</sup>。早在 19 世纪, 生物入侵就成为了理论和实验研究的焦点<sup>[5]</sup>。到了 21 世纪, 随着全球化趋势的加剧, 全球贸易、旅游和交通的快速发展, 为外来种的远距离迁移与入侵、传播与扩散创造了条件, 导致入侵趋势进一步恶化, 并受到人们更多的关注<sup>[6]</sup>。世界各地许多生态系统因为外来种入侵遭受到严重的破坏, 包括种群和群落结构的改变, 大尺度生态系统过程的改变和生物多样性的丧失等, 其价值无法衡量<sup>[7, 8]</sup>。相关研究表明, 外来入侵物种主要通过改变入侵地的自然生态系统、降低物种多样性等途径对当地社会、经济甚至人类的健康产生严重危害<sup>[3, 9-11]</sup>。

外来种入侵一般会造成本土植物生物多样性下降, 最主要的影响就是造成本地物种的减少和消失。比如, 相关研究发现, 加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 的入侵导致上海地区多种土著物种局部消失<sup>[12]</sup>。又如互花米草 (*Spartina alterniflora*) 入侵福建等地沿海滩涂, 与沿海滩涂的本地植物竞争, 导致红树林湿地生态系统结构改变<sup>[13, 14]</sup>和部分红树林消亡, 影响海水的交换能力, 破坏近海生物栖息地的环境, 使沿海养殖多种生物窒息死亡, 还严重影响沿海贝类水产养殖<sup>[15]</sup>。互花米草入侵崇明东滩盐沼湿地后, 降低了土著植物芦苇 (*Phragmites australis*) 和海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 的丰度<sup>[16]</sup>, 甚至导致局域海三棱藨草的灭绝<sup>[17]</sup>。生物入侵对人类的经济活动也有许多不利的影 响, 全球由生物入侵造成的直接经济损失巨大, 而且有很多间接的经济损失目前还难以计数。据统计, 截至 2013 年, 确定入侵我国的有害物种达到 544 种, 其中危害严重的有 100 多种, 国际自然保护联盟公布的全球 100 多种最具威胁的外来入侵物种中, 入侵中国的就有 50 余种, 我国每年因外来生物入侵经济损失超两

千亿元<sup>[18]</sup>。美国目前约有 50000 种外来生物，其危害是巨大的，因入侵种造成的直接和间接的经济损失每年高达 1370 亿美元<sup>[19]</sup>。当然除了对生物多样性和社会经济的影响，我们还应该认识到，由生物入侵所引发的科学问题也是非常丰富的。例如，生物入侵的研究带动了生态学领域的快速发展，如进化生态，群落中物种间的协同进化，种间关系，群落的组合理论，生态系统过程与种群动态的联系等<sup>[20]</sup>。由此可见，对生物入侵的研究已经从一种应用性的研究转变为生态学研究的核心元素，并为相关科学的一些前沿问题的研究提供了前所未有的机遇<sup>[21, 22]</sup>。

### 1.1.2 入侵植物适应不同环境的机理

生物入侵的一个明显特点就是入侵种群通常比该物种原产地种群以及入侵地本地种群有更好的表现（Performance），如具有较大的个体生物量<sup>[23-25]</sup>、更强的资源竞争能力等<sup>[26, 27]</sup>。这种生态优势既可能是由入侵地缺少该入侵种的专性天敌或对入侵环境有预先适应所导致<sup>[28, 29]</sup>，也可能是由于入侵种对入侵地的环境发生了快速的适应性进化<sup>[30-32]</sup>。生物入侵是一个极其复杂的生态学过程，对于生物入侵这种现象的发生存在很多解释，对应于不同的入侵机制。目前，主要有两大类入侵机制为人们广泛接受，即入侵物种通过表型可塑性（Phenotypic plasticity）来适应入侵地不同的环境和入侵种在入侵地发生了快速的适应进化（Adapt evolution）。

许多入侵种遗传多样性比较低，但同时又占据了广阔的地理分布区和多样化的生境，较强的表型可塑性对入侵地生物和非生物环境的适应性，可能在这些物种的成功入侵和随后的扩散中起到了关键作用<sup>[33-35]</sup>。例如入侵英国沿海的大米草（*Spartina anglica*），虽然遗传多样性比较低，但具有很强的表型可塑性，所以能够入侵处于不同演替阶段的盐沼植物群落<sup>[36]</sup>。相关研究表明，来自入侵地中国不同种群的空心莲子草（*Alternanthera philoxeroides*）没有发生遗传分化，而是通过表型可塑性的变化适应从陆地到水域的多样化生境<sup>[37]</sup>。另外，入侵植物通常具有的较强表型可塑性表现在具有较宽的生态幅，对环境的忍耐性强，对营养物、水分、光等资源获得能力强等方面<sup>[38]</sup>。例如，对入侵我国的

空心莲子草的研究表明，其能够对土壤养分、水分及光照条件变化作出很强的形态和生理可塑性响应，表型可塑性扩展了其生态幅，并提高了其在多样化生境下的竞争能力，对入侵起到了积极作用<sup>[39-41]</sup>。另一方面，有些入侵物种具有较宽的生理生态耐受范围，能够适应高度异质性的环境并表现出很高的适合度，从而占据广阔的地理分布范围和多样化的生境<sup>[42-44]</sup>。因为可塑性作用能增加入侵物种在逆境中的生存适合度<sup>[45]</sup>，例如入侵我国的杂草紫茎泽兰（*Eupatorium adenophora*）具有对氮和磷营养的较强可塑性，可适应多样化的生境<sup>[46, 47]</sup>。因此，表型可塑性可使外来生物在新环境中产生较好的适应性，这为它们种群的成功建立和定殖奠定了可靠的基础。

虽然表型可塑性在一些外来物种成功入侵的过程中起到关键作用<sup>[33, 35]</sup>，但相关研究已经表明外来物种在新生境上也可能发生进化<sup>[48]</sup>。由于分布在多样化的异质环境中，同一种植物不同种群往往面临着不同的选择压力。在种群间的基因流较小的情况下，各种群可能对各自所面临的选择压力会产生适应性响应，并进一步产生适应于当地生境条件的进化特征，从而增强其对所在生境的适应能力<sup>[49, 50]</sup>。这一过程同时也可导致同一种植物不同种群间出现适应性遗传分化。目前已有研究表明，外来植物也能够快速对环境选择压力作出响应<sup>[51]</sup>，并且不同种群间甚至能够在较短的时间尺度内发生显著的适应性遗传分化<sup>[52]</sup>。例如，对入侵植物早雀麦（*Bomus tectorum*）的研究表明，生长于不同水分条件下的种群各自对其所在生境发生了适应性进化，从而使其在当地的适合度显著高于其他种群<sup>[53]</sup>。又如有人把猴面花（*Mimulus guttatus*）的原产地种群和入侵种群种植于入侵地的同质种植园中，发现两地种群的花数量（有性繁殖）和匍匐茎长度（无性繁殖）都表现出相同的维度渐变群格局：高纬度种群植株相对低纬度种群植株匍匐茎更长而花的数量更少，也就是说高纬度种群无性繁殖所占的比例更高<sup>[54]</sup>。但中性标记实验结果表明，入侵地与原产地相同纬度种群间的亲缘关系并不比不同纬度种群间的亲缘关系更近，表明猴面花对入侵地不同纬度环境作出了适应性进化。还有人把采自原产地和入侵地不同纬度的贯叶连翘（*Hypericum perforatum*）种群分别种植于原产地和入侵地的同质种植园中，发现原产地种群和入侵种群在植株大小和繁殖能力上都表现出纬度渐变群的格局，



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.