

# 微藻群落在氮、磷比率与硅酸盐含量的生态位研究

梁伟峰<sup>1,2</sup>, 李卓佳<sup>1</sup>, 陈素文<sup>1</sup>, 文国樑<sup>1</sup>, 曹煜成<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 广东海洋大学, 广东 湛江 524000)

**摘要:**通过 Smith 生态位宽度指数和 Pianka 生态位重叠指数分析了嗜蚀隐藻、新月菱形藻、微绿球藻和蛋白核小球藻在氮、磷比率和硅酸盐含量资源维上的生态位宽度和生态位重叠特征。结果表明,在氮、磷比率资源上各种群生态位宽度的大小依次为微绿球藻>嗜蚀隐藻=蛋白核小球藻>新月菱形藻,各微藻在 N:P=24 时生长最好,但新月菱形藻在高氮、磷比率下具有更好的适应性。在硅酸盐含量资源上各种群生态位宽度大小依次为微绿球藻=蛋白核小球藻>嗜蚀隐藻>新月菱形藻,对硅酸盐含量的较理想适宜范围除了微绿球藻在 28~59  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  外,各微藻均在 28~54  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。生态位宽度较小的种与其他种的生态位重叠却大。在氮、磷比率和硅酸盐含量上,蛋白核小球藻分别与微绿球藻和嗜蚀隐藻有最大的重叠值,说明蛋白核小球藻在氮、磷比率的需求上和对硅酸盐含量耐受上,分别经受着与微绿球藻和嗜蚀隐藻的剧烈竞争。当养殖水体 N:P 值高时,微藻定向培育应当选择嗜蚀隐藻和新月菱形藻组合或者蛋白核小球藻和新月菱形藻组合;当养殖水体 N:P 值较低时可引入微绿球藻、嗜蚀隐藻。在硅酸盐含量资源上,对于新月菱形藻和蛋白核小球藻,硅酸盐含量为 28  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  或 54  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  均可,但为了其他微藻的共生长,硅酸盐含量应为 28  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

**关键词:**嗜蚀隐藻;新月菱形藻;微绿球藻;蛋白核小球藻;生态位;氮、磷比率;硅盐含量

**中图分类号:**X171.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)02-0773-05

## Niche Characteristics of Microalgae Community in N/P Ratio and Silicon Concentration

LIANG Wei-feng<sup>1,2</sup>, LI Zhuo-jia<sup>1</sup>, CHEN Su-wen<sup>1</sup>, WEN Guo-liang<sup>1</sup>, CAO Yu-chen<sup>1</sup>

(1. South China Fisheries Institute, Guangzhou 510300, China; 2. Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, China)

**Abstract:** Niche breadths and overlaps of four microalgae populations among gradients of N/P ratio and silicon concentration were analyzed using Smith and Pinanka indexes. The results showed that the niche breadth of all populations in N/P ratio resource dimension was as following: *Nannichloropsis oculata* > *Cryptomonas erosa* Ehr. = *Chlorella pyrenoidosa* Chick > *Nitzschia closterium*. The suitable N/P ratios for the microalgae ranging above was 8~24, 8~27.3, 16~24 and 24~27.3 respectively. All the microalgae grew well in the N/P ratio of 24, and it was good for *Nitzschia closterium* in the higher N/P ratio. The niche breadth of all populations in silicon concentration resource dimension was as following: *Chlorella pyrenoidosa* Chick = *Nannichloropsis oculata* > *Cryptomonas erosa* Ehr. > *Nitzschia closterium*. The ideal silicon concentration for the microalgae growth of *Nannichloropsis oculata* was 28~59  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , but it was 28~54  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  for the other microalgae. Population with lower niche breadth had greater niche overlap with other species, such as *Chlorella pyrenoidosa* Chick, with the greatest niche overlap with *Nannichloropsis oculata* and with *Cryptomonas erosa* Ehr in the resource of N/P ratio and in the resource of silicon concentration, respectively. Thus *Chlorella pyrenoidosa* Chick acutely competed with *Nannichloropsis oculata* and *Cryptomonas erosa* Ehr. in the resources of N/P ratio and silicon concentration respectively. *Nitzschia closterium* should be bred in the condition of high N/P ratio with *Cryptomonas erosa* Ehr. or *Chlorella pyrenoidosa* Chick, while, under low N/P ratio condition, *Cryptomonas erosa* Ehr. and *Nannichloropsis oculata* were suited and they grew well in the broad range of N/P ratio. *Nitzschia closterium* and *Chlorella pyrenoidosa* Chick grew well in the silicon concentration of 28  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  or 54  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , but if all the microalgae grew well together, the silicon concentration should be 28  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**Keywords:** *Cryptomonas erosa* Ehr.; *Nitzschia closterium*; *Nannichloropsis oculata*; *Chlorella pyrenoidosa* Chick; niche; N/P ratio; silicon concentration

收稿日期: 2007-05-22

基金项目: 中央级科研院所基本科研项目(2007ZD01); 广东省自然科学基金项目(5003485); 广东省科技计划项目(2006B20601009); 国家“十一五”支撑计划(2006BAD09A11); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(nyhyzx07-042)

作者简介: 梁伟峰(1979—), 男, 硕士研究生, 从事虾池浮游植物的选优及培养研究。E-mail: liangweifenglikesu@126.com

通讯作者: 李卓佳 E-mail: zhuojiali609@163.com

微藻在对虾养殖池塘中占有重要位置,它对于维持池塘生态系统的正常功能,稳定池塘环境是不可缺少的<sup>[1]</sup>。改善对虾养殖环境,特别是依靠调控微藻群落结构能增加对虾的抗病力<sup>[2-5]</sup>。微藻单种营养因子的研究已有不少报道<sup>[6-12]</sup>,但微藻的生态位研究却鲜有报道<sup>[13]</sup>。生态位是物种在群落中的生态地位,生物体或物种持续生存的许多条件和资源量的范围,常被设想为多维空间<sup>[14]</sup>,是种群生态研究的核心问题<sup>[15]</sup>。生态位理论已被广泛地用于研究植物种间关系、群落结构、群落演替、生物多样性、物种进化及濒危物种评价等方面<sup>[16-22]</sup>,成为解释自然群落中物种共存与竞争机制的基本理论。生态位宽度表示种群生长过程综合利用资源的能力、利用资源多样化程度和竞争水平<sup>[23]</sup>。生态位宽度与种间生态位重叠被认为是物种多样性及群落结构的决定性因素,反映该物种对资源的利用能力及其在群落或生态系统中的功能和位置,也反映了其所在群落的稳定性<sup>[24,25]</sup>。因此,分析微藻种群在不同资源梯度上的分布规律是研究微藻种群生态位的重要方法。本研究通过分析共培养生长中各微藻的生态适应能力和微藻间的生态特征差异特点,为不同氮、磷比率和不同硅酸盐含量条件下,池塘微藻定向培育的微藻种类选择、组合和调控方法提供科学指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 微藻的种类与来源

本研究所选用的微藻为嗜蚀隐藻(*Cryptomonas erosa* Ehr.)、新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)、微绿球藻(*Nannichloropsis oculata*)和蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa* Chick),均由广东湛江东海岛对虾池塘分离、培养所得。

表1 因子梯度表

Table 1 Resources gradients of abiotic factor

| 因子梯度 | 氮、磷比率 | 硅酸盐含量/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ |
|------|-------|--|
| 1    | 27    | 59                                       |
| 2    | 24    | 54                                       |
| 3    | 16    | 41                                       |
| 4    | 8     | 28                                       |
| 5    | 5     | 23                                       |

### 1.2 实验方法

在生态位的研究中,首先进行资源梯度的划分。根据虾塘环境特征,分别对氮、磷比率和硅酸盐含量划分为5个级别,使具有梯度变化,采用二次回归正

交旋转组合设计<sup>[26]</sup>安排实验。

在500 mL锥形瓶加入培养液300 mL,营养盐终浓度为:硝酸铵( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )和硅酸钠( $\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )如表1,磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) $15\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,柠檬酸铁( $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) $0.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,pH7.8。采用46 W乔森照明节能灯为光源,光照度测定使用光照度计JD-3型(上海市嘉定光学联仪厂),光照时间昼:夜为12:12,光照强度6000 lx。采用超级智能恒温循环器DTY-813(北京德天佑科技发展有限公司)水浴控温,温度21℃。海水盐度测定使用比重计,盐度20‰。光强、温度和盐度在实验前都经过调试、测定。微藻生长处于指数增长期时,通过Sigma-3k30离心机 $10000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心10 min收集,加入试验瓶中各微藻的密度为 $5\times 10^7\ \text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$ 。每组设置3个平行。实验周期为7 d。

### 1.3 检测与分析方法

样本检测采用血球计数板计数法<sup>[27]</sup>,数据分析借助DPS数据处理系统<sup>[28]</sup>进行分析。

### 1.4 生态位宽度和生态位重叠的计算

生态位宽度采用Simth(1982)提出的公式进行计算<sup>[29]</sup>:

$$B_i = \sum_{j=1}^R (P_{ij} \cdot q_{ij})^{0.5}$$

式中: $B_i$ 为种群*i*的生态位宽度; $P_{ij}$ 与 $q_{ij}$ 为第*i*种群在第*j*个资源位上所占的比例与资源利用率; $R$ 为资源位个数。

种群之间生态位重叠采用Pianka(1973)提出的公式进行计算<sup>[30]</sup>:

$$O_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^n P_{ih} \cdot p_{jh}}{\sqrt{\sum_{h=1}^R P_{ih}^2 \cdot \sum_{h=1}^R P_{jh}^2}}$$

式中: $O_{ij}$ 为种群*i*与*j*的生态位重叠值; $P_{ih}$ 与 $p_{jh}$ 为种群*i*与*j*在资源*h*上所占的比例。

## 2 结果与分析

### 2.1 微藻种群密度

微藻种群在各资源上的细胞密度如表2所示。从表中可以得出,在氮、磷比率资源上新月菱形藻的密度最大,达到 $50.70\times 10^7\ \text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$ ,对应的氮、磷比率为24;蛋白核水球藻的密度最小,仅为 $3.86\times 10^7\ \text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$ ,对应的氮、磷比率为5。在硅酸盐含量上,新月菱形藻的密度最大,达 $38.42\times 10^7\ \text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$ ,对应的硅酸盐含量为 $28\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,嗜蚀隐藻的密度最小,仅为 $2.11\times 10^7$

表 2 微藻种群氮、磷比率和硅酸盐含量的密度表 ( $10^7 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ )Table 2 Density of microalgae populations in resources of N/P ratio and silicon concentration ( $10^7 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ )

| 种群     | 氮、磷比率 |       |       |       |       | 硅酸盐含量/ $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ |       |       |       |      |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|------|
|        | 27    | 24    | 16    | 8     | 5     | 59   | 54    | 41    | 28    | 23   |
| 嗜蚀隐藻   | 13.68 | 13.86 | 10.88 | 10.53 | 3.86  | 5.61                                       | 11.75 | 11.86 | 12.63 | 2.11 |
| 新月菱形藻  | 50.18 | 50.70 | 18.98 | 24.74 | 12.63 | 15.44                                      | 37.02 | 23.09 | 38.42 | 6.32 |
| 蛋白核小球藻 | 4.91  | 11.75 | 7.44  | 5.09  | 3.86  | 4.21                                       | 8.07  | 7.65  | 8.77  | 2.46 |
| 微绿球藻   | 8.42  | 16.14 | 14.04 | 12.11 | 7.72  | 11.58                                      | 13.68 | 14.14 | 14.56 | 3.51 |

注:以上数据为 3 个平行的平均值。

Note: Values in the table are means of three replicates.

$\text{ind} \cdot \text{L}^{-1}$ , 对应的硅酸盐含量为  $23 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

## 2.2 微藻生态位宽度

从各资源上的生态位宽度平均值得出微绿球藻的生态位宽度最大,达 0.983,在氮、磷比率和硅酸盐资源上分别达 0.990 和 0.976。在氮、磷比率资源上蛋白核小球藻与嗜蚀隐藻有相同的生态位宽度,达 0.980。而新月菱形藻的生态位最小,为 0.966。微藻的生态位是微藻群落的各种群适应所处环境和不断利用各种环境资源的结果。生态位大小反映了种群对环境的适应能力或对资源的利用程度,生态位宽度越大,物种对生态因子的适应幅度就大,在群落内的分布幅度也就较大<sup>[23]</sup>。微绿球藻具有最大的生态位宽度值,也就是说它几乎能利用、适应群落环境的全部资源,对环境资源的利用最充分,竞争力最强。新月菱形藻的生态位宽度值最小,说明它在群落中的生态适应范围较窄。具体见表 3。

微藻的生态位宽度在不同的环境因子梯度上有差异,揭示了不同种群在不同环境因子梯度的利用率

及适应性有差异。当环境资源有限或条件改变时,某些种群的利用资源能力减弱,可能在竞争中被排除。表 4 显示,在氮、磷比率梯度上,微绿球藻具有最大的生态位宽度值,在氮、磷比率为 8~24 的范围内,种群的适应性随着氮、磷比率的增加而增强;嗜蚀隐藻种群在氮、磷比率 8~27.3 的范围内有较强的适应性,其中以 24 时适应性最好。新月菱形藻和蛋白核小球藻在氮、磷比率为 24 时适应性最好,前者在氮、磷比率为 27.3 条件下也有较强的适应性。嗜蚀隐藻和新月菱形藻在高氮、磷比率下具有更好的适应性。

在硅酸盐含量资源上,各种群生态位宽度的大小依次为:微绿球藻=蛋白核小球藻>嗜蚀隐藻>新月菱形藻。微绿球藻对硅酸盐含量的较理想范围在  $28 \sim 59 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,其余微藻均在  $28 \sim 54 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。新月菱形藻和蛋白核小球藻在硅酸盐含量为 28、54  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时生长优于 41  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,表现两者对硅酸盐的需求和适应范围有一定的分化,不具有线性关系。过高的硅酸盐含量对微藻的生长具有一定的抑制作

表 3 微藻在不同资源上的生态位宽度

Table 3 The niche breath of the microalgae in different resource dimensions

| 种群     | 氮、磷比率 | 硅酸盐含量 | 平均值   |
|--------|-------|-------|-------|
| 嗜蚀隐藻   | 0.980 | 0.961 | 0.971 |
| 新月菱形藻  | 0.966 | 0.960 | 0.963 |
| 蛋白核小球藻 | 0.980 | 0.976 | 0.978 |
| 微绿球藻   | 0.990 | 0.976 | 0.983 |

表 4 微藻氮、磷比率主要分布率(%)

Table 4 The main distribution rates of microalgae in resource of N/P ratio (%)

| 种群     | 氮、磷比率 |       |       |       |     |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----|
|        | 27.3  | 24    | 16    | 8     | 4.7 |
| 嗜蚀隐藻   | 25.91 | 26.25 | 20.60 | 19.93 | —   |
| 新月菱形藻  | 31.91 | 32.25 | —     | —     | —   |
| 蛋白核小球藻 | —     | 35.56 | 22.51 | —     | —   |
| 微绿球藻   | —     | 27.63 | 24.02 | 20.72 | —   |

注:以分布率大于 19% 为主要分布率,“—”表示非主要分布。

表5 微藻硅酸盐资源主要分布率(%)

Table 5 The main distribution rates of microalgae in resource of silicate content(%)

| 种群     | 硅酸盐含量/ $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ |       |       |       |    |
|--------|--|-------|-------|-------|----|
|        | 59   | 54    | 41    | 28    | 23 |
| 嗜蚀隐藻   | —  | 26.74 | 26.98 | 28.73 | —  |
| 新月菱形藻  | —  | 30.78 | 19.19 | 31.94 | —  |
| 蛋白核小球藻 | —  | 25.90 | 24.55 | 28.15 | —  |
| 微绿球藻   | 20.15                                      | 23.81 | 24.60 | 25.34 | —  |

注:以分布率大于19%为主要分布率,“-”表示非主要分布。

用。具体见表5。

### 2.3 生态位重叠

在群落中,复杂的生态关系使各种群的生态位通常不表现为离散的,而总是倾向于分享其他种群的生态位,结果导致2个或更多的种群对某些资源的共同需求,使不同种群的生态位处于不同程度的重叠状态<sup>[25]</sup>。生态位重叠,反映了两个种群之间利用资源的相似程度或对环境的生态适应能力,生态位重叠较大的种群有相近的生态特性,生态位重叠较小的种群有较差异的生态特征<sup>[23,31]</sup>。

如表6所示,在氮、磷比率需求上,微绿球藻与蛋白核小球藻的重叠值最大,达0.9798;微绿球藻与新月菱形藻的重叠值最小,为0.8909。从分布情况得出,各微藻对资源的竞争出现在氮、磷比率为8~27.3,其中氮、磷比率为24时是各微藻剧烈竞争的比值。在硅酸盐含量上,嗜蚀隐藻和蛋白核小球藻的重叠值最大,达0.9969;微绿球藻与新月菱形藻的重叠值最小,为0.9649。非硅藻类通常对硅酸盐利用得很少<sup>[32]</sup>,而硅藻却相对多地依赖硅酸盐进行生长繁殖。本研究中,硅酸盐可能在一定程度上成为非硅藻类生长的抑制因子,而成为新月菱形藻生长的必须条件,通过满足新月菱形藻生长需求,进而间接地致使微藻竞争光、氮和磷。

### 3 讨论

本文在一维资源状态研究各微藻种群的生态位宽度值以及各种群之间生态格局分布和生态位重叠,结果表明生态位宽度的变化呈现一定的规律性,揭示了不同种群在不同环境因子梯度上资源利用率及适应性的差异及其规律性。在特定时间范围内,种群在空间有各自的分布状况,这主要取决于种群自身的生长及繁殖特性、种群的现实生态位和该种群与其他种的竞争作用。同一种群处于不同环境或与不同的类群分布在一起时,分布格局通常不同<sup>[33]</sup>,在微藻群落培育、调控中应根据微藻各自特点采取相应措施。

在氮、磷比率梯度上,各微藻在N:P=24时生长最好。嗜蚀隐藻和新月菱形藻在高氮、磷比率下具有更好的适应性。研究表明在养殖后期由于N:P值常偏高<sup>[34]</sup>,微藻定向培育则应当选择嗜蚀隐藻和新月菱形藻。微绿球藻和新月菱形藻在氮、磷需求上有相当的差异,由于养殖前期N:P值较低<sup>[35]</sup>,可引入微绿球藻,当N:P值较高时再引入新月菱形藻。

在硅酸盐含量资源上,对于新月菱形藻和蛋白核小球藻,硅酸盐含量为28  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  或54  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  均可;过高的硅酸盐含量对各微藻的生长具有一定的抑制作用。微绿球藻对硅酸盐具有一定的耐受性,当硅

表6 微藻在各因子资源上的生态位重叠

Table 6 Niche overlaps among the microalgae in each factor resources

| 因子    | 种群     | 种群     |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|
|       |        | 嗜蚀隐藻   | 新月菱形藻  | 蛋白核小球藻 |
| 氮、磷比率 | 新月菱形藻  | 0.9674 |        |        |
|       | 蛋白核小球藻 | 0.9455 | 0.9136 |        |
|       | 微绿球藻   | 0.9588 | 0.8909 | 0.9798 |
| 硅酸盐含量 | 新月菱形藻  | 0.9826 |        |        |
|       | 蛋白核小球藻 | 0.9969 | 0.9857 |        |
|       | 微绿球藻   | 0.9835 | 0.9649 | 0.9870 |

酸盐含量不大于  $59 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,适宜与新月菱形藻共同定向培育。

生态位重叠,反映了两个种群之间利用资源的相似程度。对微藻群落进行改良时,要充分考虑所引种群的生态位特征,根据所引种群的最适生态位位置,将其置于相应的群落中,使群落内部各种群在时间及空间生态位上均处于合理的格局之中,避免所引种群与原有种群形成较大生态位重叠,防止种群间产生激烈的利用性竞争,从而使群落中各种群均能有效利用有限的环境资源,提高群落的初级生产力和稳定的水体环境。

#### 参考文献:

- [1] 王崇明,张岩,麻松松.对虾池塘浮游植物与主要水质因子的关系[J].海洋科学,1993,4:10-12.
- [2] 李永祺.海水养殖生态环境的保护与改善[M].济南:山东科学技术出版社,1999.61-70,10-14.
- [3] 孙舰军,丁美丽.改善虾池环境增强中国对虾抗病力的研究[J].海洋科学,1999,1:3-5.
- [4] 曾呈奎,相建海.海洋生物技术[M].济南:山东科学出版社,1998.327-340.
- [5] 黄翔鹤,李长玲,刘楚吾,等.两种微藻改善虾池环境增强凡纳对虾抗病力的研究[J].水生生物学报,2002,26(4):342-347.
- [6] 曲克明,陈碧鹃,袁有宪,等.氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究[J].应用生态学报,2000,11(3):445-448.
- [7] Hoppema M, Goeyens L. Redfield behavior of carbon, nitrogen, and phosphorous depletions in Antarctic surface water[J]. *Limnol Oceanogr*, 1999,44:220-224.
- [8] Terry K L, Laws E A, Burns DJ. Growth rate variation in the N:P requirement ratio of phytoplankton[J]. *Phycol*, 1985, 21:323-329.
- [9] Brzezinski M A. The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables[J]. *Journal of Phycology*, 1985,21,347-357.
- [10] 张青田,董双林,胡桂坤,等.不同氮源对微藻增殖的影响[J].海洋科学,2005,29(2):8-11.
- [11] 黄翔鹤,李长玲,刘楚吾,等.微绿球藻对氮和磷营养盐需求的研究[J].海洋科学,2002,26(8):13-17.
- [12] 李雅娟,王起华.氮、磷、铁、硅营养盐对底栖硅藻生长速率的影响[J].大连水产学院学报,1998,13(4):7-14.
- [13] 王翠红,张金屯.汾河水库及河道中优势硅藻生态位的研究[J].生态学杂志,2004,23(3):58-62.
- [14] Robert E Ricklefs.生态学[M].孙儒泳,尚玉昌,李庆芬,等译.北京:高等教育出版社,2004.10.
- [15] 柳江,洪伟,吴承祯,等.退化红壤区植被恢复过程中灌木层主要种群的生态位特征[J].植物资源与环境学报,2002,11(2):11-16.
- [16] 陈存及,陈新芳,刘金福,等.人工天然杉阔混交林种群生态位及竞争研究[J].林业科学,2004,40(1):78-83.
- [17] 魏文超,何友均,邹大林,等.澜沧江上游森林珍稀草本植物生态位研究[J].北京林业大学学报,2004,26(4):7-12.
- [18] 颜廷芬,丛沛桐,刘兴华,等.环境因子对植物生态位宽度影响程度分析[J].东北林业大学学报,1999,27(1):35-38.
- [19] Rcsenthal G. Selecting target species to evaluate the success of wet grassland restoration[J]. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 2003, 98(3):227-246.
- [20] Morrison J A. Wetland vegetation before and after experimental purple loosestrife removal[J]. *Wetlands*,2002,22(1):159-169.
- [21] Timan D. Cause consequences and ethics of biodiversity[J]. *Nature*, 2002, 405:208-211.
- [22] Sylvain D, Daniel C, Clem Entine G C. Niche separation in community analysis: A new method[J]. *Ecology*,2000,81(10):2914-2927.
- [23] 王刚,赵松岭,张鹏云,等.关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究[J].生态学报,1984,4(2):119-127
- [24] 吴明作,刘玉萃,杨玉珍,等.河南省栓皮栎林主要种群的生态位研究[J].西北植物学报,1999,19(3):511-518.
- [25] 李军玲,张金屯,郭道宇,等.关帝山亚高山灌丛草甸群落优势种群的生态位研究[J].西北植物学报,2003,23(12):2081-2088.
- [26] 余家林.农业多元试验统计[M].北京:北京农业大学出版社,1993.87-135.
- [27] 陈明耀.生物饵料培养[M].北京:中国农业出版社,1995.178-180.
- [28] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其计算机处理平台[M].北京:中国农业出版社,1998.123.
- [29] Smith E P. Niche breadth, resource availability and inference[J]. *Ecology*, 1982, 63(5):1248-1253.
- [30] Pianka E R. The structure of Lizard communities[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4:53-74.
- [31] 丛沛桐,颜廷芬,周福军,等.东北羊草群落种群生态位重叠关系研究[J].植物研究,1999,19(2):213-219.
- [32] Sommer U. Phytoplankton competition along a gradient of dilution rates[J]. *Oecologia*,1986,68:503-506.
- [33] 余世孝.数学生态学导论[M].北京:科学技术文献出版社,1995.68-69.
- [34] 申玉春,熊邦喜,叶富良,等.南美白对虾高位池浮游生物和初级生产力的研究[J].水利渔业,2004,24(3):7-10.
- [35] 谢立民,林小涛,许忠能,等.不同类型虾池的理化因子及浮游植物群落的调查[J].生态科学,2003,22(1):34-47.