

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 4 期 2012 年 2 月 (半月刊)

中国科学院科学出版基金资助出版

目 次

固垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响	马长安,徐霖林,田伟,等	(1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价	孙才志,杨磊	(1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征	侯勇,高志岭,马文奇,等	(1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟	高照全,冯社章,张显川,等	(1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应	宋春桥,游松财,柯灵红,等	(1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应	唐振兴,何志斌,刘鹄	(1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素	田风霞,赵传燕,冯兆东,等	(1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等	(1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程	马井会,顾松强,陈敏,等	(1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系	田丰歌,徐兆礼	(1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状	张跃环,王昭萍,闫喜武,等	(1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征	李慧,王江涛	(1115)
起始生物量比对 3 种海洋微藻种间竞争的影响	魏杰,赵文,杨为东,等	(1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅	文世勇,宋琍琍,龙华,等	(1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应	陈书军,陈存根,邹伯才,等	(1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局	田中平,庄丽,李建贵	(1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较	石松利,王迎春,周红兵,等	(1163)
干旱胁迫下黄土高原 4 种乡土禾草抗氧化特性	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁	(1174)
施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响	肖逸,王兴祥,王宏伟,等	(1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生环境	张翼飞,王炜,梁存柱,等	(1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系	管孝艳,王少丽,高占义,等	(1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性	刘春利,胡伟,贾宏福,等	(1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局	张春华,王宗明,居为民,等	(1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立	王鹏,张春庆,陈化榜,等	(1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等	(1241)
西花蓟马在 6 种蔬菜寄主上的实验种群生命表	曹宇,鄧军锐,孔译贤	(1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等	(1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别	许文雯,孙翔,朱晓东,等	(1264)
珠三角城市绿地 CO ₂ 通量的季节特征	孙春健,王春林,申双和,等	(1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例	吴以中,朱沁园,刘宁,等	(1283)
专论与综述		
湿地退化研究进展	韩大勇,杨永兴,杨杨,等	(1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评	杨荣,苏永中,王雪峰	(1308)
问题讨论		
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性	屠振力,方俐晶,王家刚	(1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响	杨永胜,卜崇峰,高国雄	(1327)
研究简报		
祁连山典型灌丛降雨截留特征	刘章文,陈仁升,宋耀选,等	(1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法	喻梅,周守标,吴晓艳,等	(1347)



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新的鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012241836

文世勇, 宋琍琍, 龙华, 余骏, 高树刚, 赵冬至. 不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅. 生态学报, 2012, 32(4): 1133-1141.

Wen S Y, Song L L, Long H, Yu J, Gao S G, Zhao D Z. On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarens* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1133-1141.

不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅

文世勇¹, 宋琍琍², 龙 华², 余 骏², 高树刚¹, 赵冬至^{1,*}

(1. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023; 2. 浙江省海洋监测预报中心, 杭州 310012)

摘要:藻类氮的生态幅是指在一定氮浓度范围内藻类能生长和繁殖的浓度范围。它由藻类生长的最佳氮浓度、氮适宜生长范围和氮耐受限度构成。为了定量计算藻类的氮生态幅,在室内培养条件下,研究了低磷(0.48 μmol/L)、中磷(0.97 μmol/L)和高磷(1.45 μmol/L)3种不同磷起始浓度条件下不同氮对塔玛亚历山大藻细胞数和最大比生长率的影响,依据 Shelford 耐受性定律建立了塔玛亚历山大藻生长的氮耐受性模型,并得到了藻类生长的最佳氮浓度、氮适宜生长范围和氮耐受范围的定量表达。结果表明,在低磷、中磷和高磷条件下,当氮浓度小于适合藻类生长的最佳氮浓度时,藻类细胞数和最大比生长率均随着氮浓度的增大而增大;当氮浓度大于适合藻类生长的最佳氮浓度时,藻类细胞数和最大比生长率均随着氮浓度的增大而减小。藻类生长的氮耐受性模型与谢尔福德耐受定律较为吻合,定量得到在低磷、中磷和高磷培养条件下塔玛亚历山大藻的最佳氮浓度分别为 30.36、62.07 和 77.85 μmol/L;氮适宜生长范围分别为 18.30—42.42、37.71—86.43 和 41.52—114.18 μmol/L;氮耐受限度分别为 6.24—54.48、13.35—110.79 和 5.19—150.51 μmol/L。研究显示不同磷起始浓度条件下,藻类的氮生态幅也不相同。

关键词:塔玛亚历山大藻;氮生态幅;最佳氮浓度;适宜生长范围;耐受范围

On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarens* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures

WEN Shiyong¹, SONG Lili², LONG Hua², YU Jun², GAO Shugang¹, ZHAO Dongzhi^{1,*}

1 National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China

2 Marine Monitoring & Forecasting Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China

Abstract: The ecological amplitude of nitrate of algae can be defined in terms of the range of nitrate conditions under which it is able to grow and reproduce. It usually consists of the optimum nitrate concentrations, the optimum growth range of nitrate concentrations and the tolerance range of nitrate concentrations. In order to calculate the ecological amplitude of nitrate during algal growth, the relationship between nitrate concentration and the cell density, and that between nitrate concentration and maximum specific growth rate of *Alexandrium tamarens* were analyzed at three different fixed initial phosphate concentrations [0.48 μmol/L (low-P), 0.97 μmol/L (medium-P) and 1.45 μmol/L (high-P)] in laboratory cultures. The experiments were carried out in three independent batch cultures respectively. The cell density and the specific growth rate were assessed as the response parameters. A nitrate tolerance model of algal growth was established following Shelford's law of tolerance and using the experimental data. The results show that: (1) in low-P, medium-P, and high-P-grown cultures, both the cell density and the specific growth rate of *A. tamarens* increased when $C_N \leq C_{N_{opt}}$ and then decreased when $C_N \geq C_{N_{opt}}$; (2) the nitrate tolerance model was consistent with Shelford's law of tolerance; (3) the optimum nitrate concentrations in low-P, medium-P, and high-P grown cultures were 30.36, 62.07 and 77.85 μmol/L,

基金项目:国家海洋局 908 专项(908-02-03-01);863 计划 2007AA092003 和上海市科学技术委员会科研计划项目(08DZ1206304);浙江省海洋与海岛管理基金项目 2009(497594);海洋公益性行业专项(200805064)

收稿日期:2010-12-24; 修订日期:2011-06-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dzzhao@nmemc.gov.cn

respectively; the optimum growth ranges of nitrate concentrations were 18.30—42.42, 37.71—86.43 and 41.52—114.18 $\mu\text{mol/L}$, respectively, and the tolerance ranges of nitrate concentrations were 6.24—54.48, 13.35—110.79 and 5.19—150.51 $\mu\text{mol/L}$, respectively. The results suggest that the ecological amplitude of nitrate during algal growth depended on the initial phosphate concentrations.

Key Words: *Alexandrium tamarense*; ecological amplitude of nitrate; optimum nitrate concentrations; optimum growth range of nitrate concentrations; tolerance range of nitrate concentrations

生态幅又称耐性限度或适应幅度,是指每种生物有机体能够生存的环境变化幅度,即最高、最低生态因子(或称耐受性下限和上限)之间的范围。每种藻类生长对氮的摄取都存在一个耐受范围,即存在一个氮最低浓度和最高浓度。在最低浓度和最高浓度之间的范围,即为该藻类的氮生态幅。表征藻类生态幅的重要特征参数为藻类生长的最佳氮浓度、藻类生长的氮适宜生长范围的上下限和藻类生长的氮耐受限度的上下限。不同环境条件下藻类生长的生态幅也有所改变。

塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)广泛分布于世界沿海海域,是一种可产生神经麻痹性贝毒(PSP)的海洋甲藻^[1-3],有着较高的赤潮发生率。塔玛亚历山大藻生长状况和藻细胞毒素含量与毒素成分受到多种环境要素(如营养盐浓度、盐度、温度等)的影响。目前,营养盐与塔玛亚历山大藻之间的关系主要集中在以下两个方面:一方面是营养盐对塔玛亚历山大藻细胞毒素含量或毒素成分的影响机制研究^[4-15];另一方面是营养盐对塔玛亚历山大藻生长状态的影响机制研究^[16-22],且实验中设置的营养盐浓度多局限于较高浓度(f/2 加富培养基水平),与自然海水中的营养盐浓度相差较大。而藻类生长的营养盐生态幅一般依据实验研究结果进行定性分析与描述,尚未对藻类的营养盐生态幅进行定量分析。

本文研究目的是参考中国海水水质标准中磷浓度的界定设置了接近自然海水状况的营养盐浓度,根据实验结果和 Shelford 耐受性定律,建立塔玛亚历山大藻生长的氮生态幅模型,定量划分塔玛亚历山大藻生长的氮生态幅,为研究藻类生长生理生态提供支持,为进一步研究塔玛亚历山大藻赤潮的发生机制和防治提供参考依据。

1 材料

1.1 实验设计

1.1.1 藻种与培养基

实验所用藻种塔玛亚历山大藻 *Alexandrium tamarense* 由国家海洋环境监测中心提供。该藻种保存在温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、盐度 (30 ± 1) PSU、光照强度约为 $58.5 \mu\text{mol 光子 m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (冷光管)、明暗周期为 12 h : 12 h 的培养条件下。培养液中除了不添加 Na_2SiO_3 外,其余元素与 f/2 培养液配方相同^[23]。实验用人工海水按照 Harrison 配方配制^[24]。

1.1.2 实验浓度梯度设置

在人工海水中加入除氮、磷之外的所有 f/2 培养基的其他成分,然后根据中国海水水质标准^[25]中磷浓度的界定,固定磷($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)起始浓度分别为 $0.48 \mu\text{mol/L}$ (低磷,一类水质)、 $0.97 \mu\text{mol/L}$ (中磷,二、三类水质)和 $1.45 \mu\text{mol/L}$ (高磷,四类水质)条件下,各氮源浓度按设定浓度添加。其中分别以 NaNO_3 和 NaH_2PO_4 作为氮源和磷源,其浓度按表 1 的梯度分别配制。

1.1.3 实验方法

实验前,将处于对数生长期的藻种接种于不含氮磷的培养液内,并在与实验设定的相同环境条件下进行 3—4 d 的预培养以减少培养条件突变对藻类生长的影响。实验时将处于对数生长期的驯化后的藻种离心(2000 r/min , 10 min),用不添加任何培养基的人工海水清洗 3 次。将接种密度均为 500 个/mL 的藻液分别装到含有不同氮、磷浓度的 2000 mL 培养液的 3000 mL 锥形瓶中进行培养。每组实验设 2 个平行样,并间隔

24 h 取样(考虑到藻体生长的沉降作用,每次在取样前要将藻体摇匀),取 0.5 mL 培养物后在显微镜下计数,重复 3 次,计数值间相差应小于 15%,取两相近数据平均值为实验结果。培养时间为藻种的一个生长周期。取样过程中,各操作步骤均进行灭菌处理。

表 1 氮和磷的浓度梯度配制

Table 1 Concentration gradient of nitrogen (N) and phosphorous (P)

	磷浓度为 0.48 $\mu\text{mol/L}$ (低磷浓度) $C_p = 0.48 \mu\text{mol/L}$ (Low-P)	磷浓度为 0.97 $\mu\text{mol/L}$ (中磷浓度) $C_p = 0.97 \mu\text{mol/L}$ (Medium-P)	磷浓度为 1.45 $\mu\text{mol/L}$ (高磷浓度) $C_p = 1.45 \mu\text{mol/L}$ (High-P)
	氮浓度 $C_N/(\mu\text{mol/L})$	氮浓度 $C_N/(\mu\text{mol/L})$	氮浓度 $C_N/(\mu\text{mol/L})$
1	0.48	0.97	1.45
2	4.84	9.68	14.52
3	9.68	19.36	29.04
4	14.52	29.04	43.56
5	19.36	38.72	58.08
6	24.20	48.40	72.60
7	29.04	58.08	87.12
8	33.88	67.76	101.64
9	38.72	77.44	116.16
10	43.56	87.12	130.68
	第 1 组实验	第 2 组实验	第 3 组实验

1.2 数据分析与处理

1.2.1 生长曲线的测定

在显微镜下用计数框隔天计数,每瓶计数 3 次,后根据平行样的均值再取平均值作为当天的藻类细胞密度,记录 1 个生长周期左右,以培养时间为横坐标,每 1 mL 液体中的细胞数为纵坐标,绘制细胞密度-培养时间 t 的藻类生长曲线。

1.2.2 最大比生长率

根据公式(1)和公式(2)分别计算出藻类在不同条件下的最大比生长速率,以 N/P 为横坐标,最大比生长速率为纵坐标,绘制最大比生长率-N/P 的关系曲线。

$$\mu' = \frac{dN}{Ndt} \quad (1)$$

式中, μ' 表示藻类的比生长率(d^{-1}), N 表示藻类细胞数(个/L), t 表示藻类的生长时间(d)。

$$\mu_{\max} = \max(\mu'_1, \mu'_2, \dots, \mu'_k, \dots, \mu'_n) \quad (2)$$

式中, μ_{\max} 表示藻类最大比生长率(d^{-1})。

1.2.3 统计学分析

采用单因素方差分析法(One-Way ANOVA analysis)对不同培养条件下的细胞密度值、比生长速率和最大比生长速率差异显著性进行分析。

2 结果与分析

2.1 塔玛亚历山大藻的生长特性

图 1 分别显示了在低磷、中磷和高磷条件下不同氮对塔玛亚历山大藻细胞密度的影响。在低磷起始浓度条件下,在设定的氮浓度范围内,塔玛亚历山大藻在氮浓度为 29.04 $\mu\text{mol/L}$ 条件下,藻细胞数达到最大值为 1776×10^4 个/L;小于此氮浓度时,藻细胞数随浓度增加增大而显著增大(ANOVA, $P < 0.05$);大于此氮浓度时,藻细胞数随浓度的增加反而显著减小(ANOVA, $P < 0.01$)。同样地,在固定中磷起始浓度条件下,塔玛亚历山大藻在氮浓度为 58.08 $\mu\text{mol/L}$ 条件下,藻细胞数达到最大值为 4094×10^4 cells/L;小于此氮浓度,藻细胞数随

浓度增加增大而显著增大 (ANOVA, $P < 0.05$); 大于此氮浓度, 藻细胞数随氮浓度的增加反而显著减小 (ANOVA, $P < 0.01$)。在固定高磷起始浓度条件下, 塔玛亚历山大藻在氮浓度为 $87.12 \mu\text{mol/L}$ 条件下, 藻细胞数达到最大值为 6891×10^4 个/L; 小于此氮浓度, 藻细胞数随浓度增加增大而显著增大 (ANOVA, $P < 0.05$); 大于此氮浓度, 藻细胞数随浓度的增加反而显著减小 (ANOVA, $P < 0.01$) (图 1)。

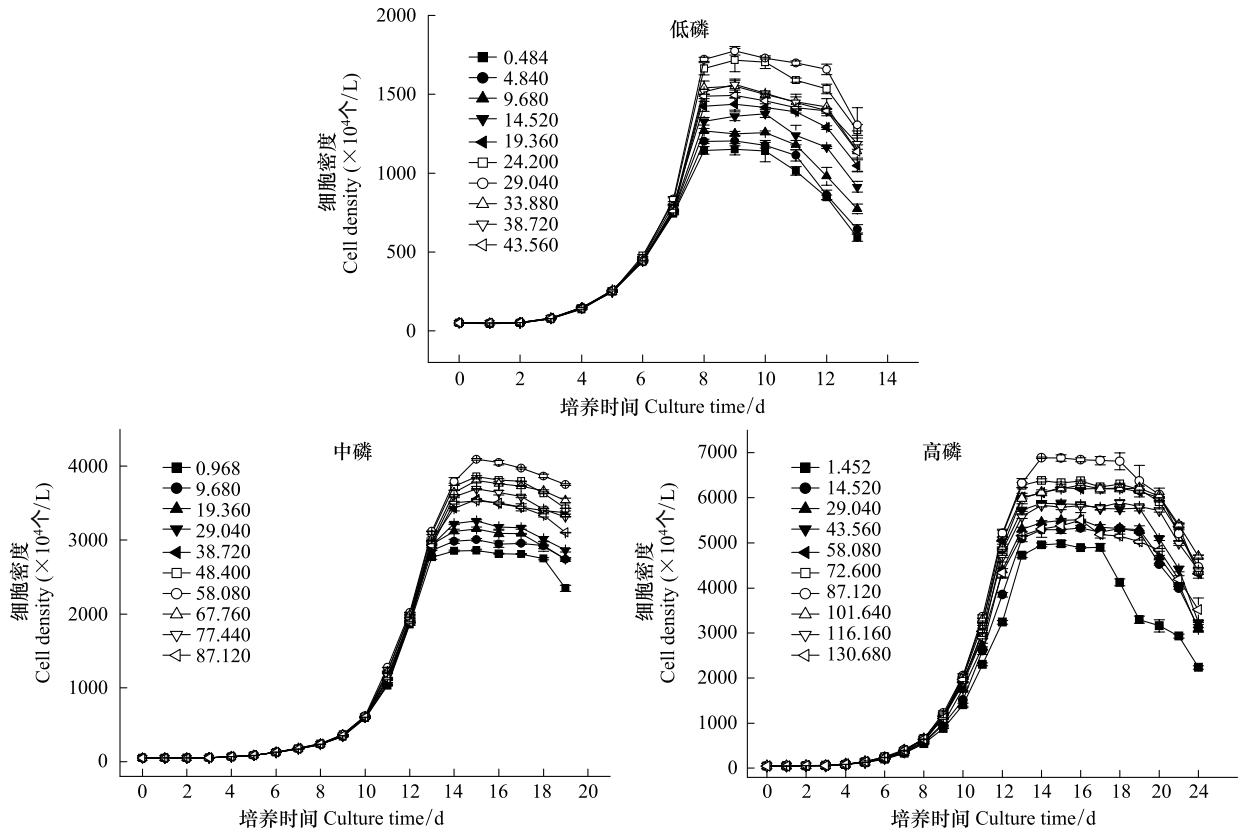


图 1 固定不同磷起始浓度条件下氮对塔玛亚历山大藻细胞密度的影响

Fig. 1 Cell density of *Alexandrium tamarense* in various N concentrations under different fixed initial phosphate concentrations

2.2 塔玛亚历山大藻生长的氮耐受性模型

根据公式(1)、公式(2)和 Shelford 耐受性定律, 在 OriginLab 7.5 平台下通过模型拟合(图 2), 得到不同磷条件下, 藻类最大比生长速率与氮浓度之间的关系响应模型(3)和模型在不同磷条件下的参数(表 2)。

表 2 基于 OriginLab 7.5 软件平台下确定方程(3)在不同培养条件下的相关参数

Table 2 The parameters value of Equation (3) under various batch cultures conditions based on OriginLab 7.5 software-platform

a	b	$N_{opt} (\mu\text{mol/L})$	σ	培养条件 Culture conditions
2.71	1.31	30.36	12.06	固定低磷条件下
4.17	1.14	62.07	24.36	固定中磷条件下
6.99	2.68	77.85	36.33	固定高磷条件下

$$\mu_{max} = a + b \times \exp\left(\frac{-(N - N_{opt})^2}{2 \times \sigma^2}\right) \tag{3}$$

式中, μ_{max} 表示藻类的最大比生长速率 (d^{-1}); N 表示环境氮的浓度 ($\mu\text{mol/L}$); N_{opt} 表示适宜藻类生长的最佳氮浓度 ($\mu\text{mol/L}$); σ 表示藻类对氮的耐受度; a, b 为参数。

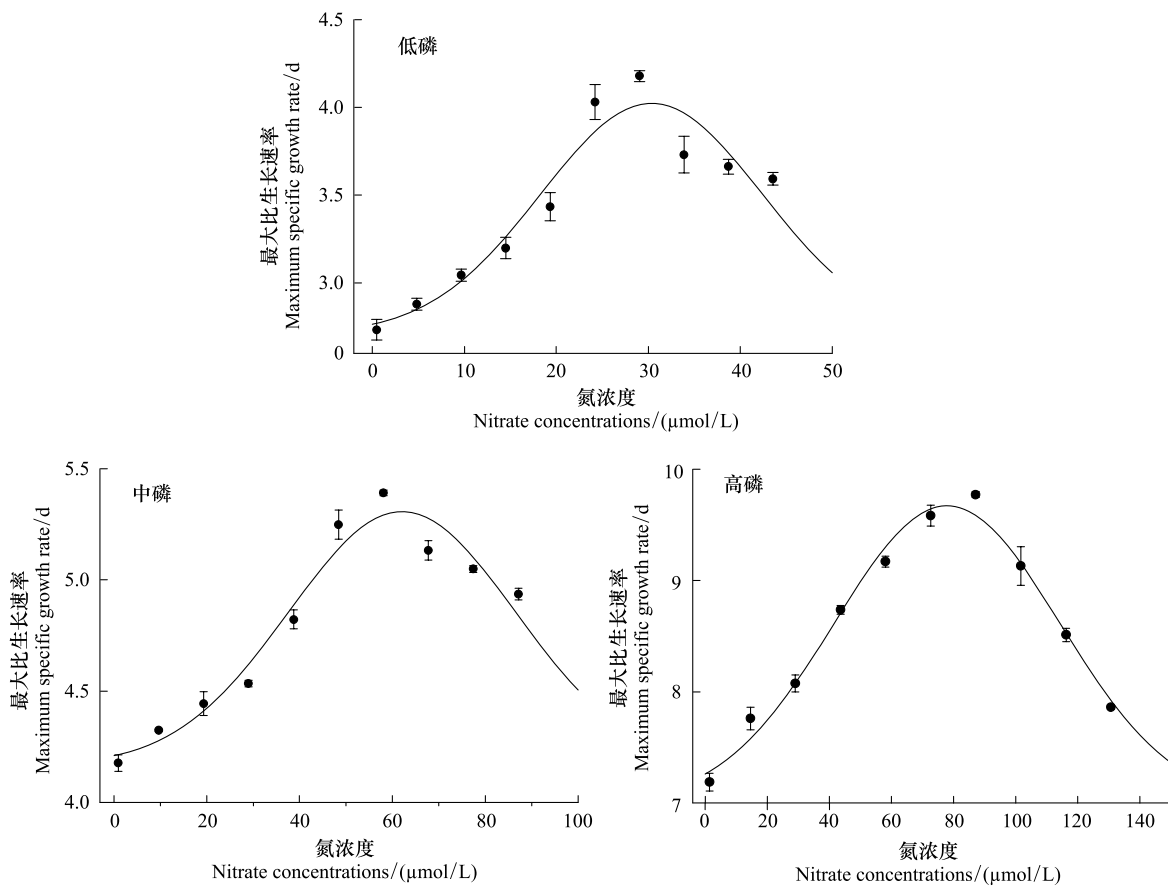


图2 固定不同磷起始浓度下塔玛亚历山大藻最大比生长速率与N浓度的函数关系曲线

Fig. 2 Maximum specific growth rate of *Alexandrium tamarese* as a function of N concentrations under different fixed initial phosphate concentrations

2.3 塔玛亚历山大藻氮生态幅定量表达

2.3.1 藻类生长的最佳氮浓度

藻类生长的最佳氮浓度是在其它环境条件不变情况下,藻类生长处于最佳的生长状态。根据 Shelford 耐受性定律和公式(3)可知,对公式(3)求一阶导数,导数为0处的点即为最大比生长率达到最大值,而该点对应的氮浓度即为藻类生长的最佳氮浓度。因此令

$$\frac{d\mu_{\max}}{dN} = 0 \quad (4)$$

式中, μ_{\max} 表示藻类的最大比生长速率(d^{-1});N表示氮的浓度($\mu\text{mol/L}$)。

根据公式(4)得到塔玛亚历山大藻在低磷、中磷和高磷条件下的最佳氮浓度(N_{opt})分别为30.36、62.07、77.85 $\mu\text{mol/L}$ (表2)。

2.3.2 藻类生长的氮适宜生长范围

藻类生长的氮适宜生长范围是藻类生长达到较好生长状态的氮浓度条件。每种藻类都有各自相对稳定的氮适宜生长范围,在氮适宜生长范围内,藻类生长进入适宜生长区间。根据 Shelford 耐受性定律,氮适宜生长范围的上下限是藻类生长生理紧张带和适宜生长范围的分界点(图3)。在达到最佳氮浓度前,藻类比生长率随着氮浓度的增大而增大,藻类生长对氮浓度由不适宜到适宜的分界点为比生长率变化率的一个极大值。在比生长率与氮浓度关系曲线上,该分界点则为曲线的一个拐点(P_2),拐点对应的氮浓度即为氮适宜生长范围的下限(N_2)。同样地,藻类生长由适宜到不适宜的分界点为比生长率变化率的一个极小值,在比生长率与氮浓度关系曲线上,该分界点则为曲线的另一个拐点(P_4),拐点对应的氮浓度即为氮适宜生长范围的上限(N_4)。

根据以上分析,对公式(3)求二阶导数,即:

$$\frac{d^2\mu_{\max}}{d^2N} = 0 \tag{5}$$

从而得出藻类生长的氮适宜生长范围的下限、上限和适宜生长范围分别为:

氮适宜生长范围的下限:

$$N_{\text{适宜生长下限}} = N_{\text{opt}} - \sigma \tag{6}$$

氮适宜生长范围的上限:

$$N_{\text{适宜生长上限}} = N_{\text{opt}} + \sigma \tag{7}$$

氮适宜生长范围:

$$N_{\text{opt}} - \sigma - N_{\text{opt}} + \sigma \tag{8}$$

公式中参数的意义与公式(3)相同。

根据公式(8)和表2可以得到塔玛亚历山大藻在低磷、中磷和高磷条件下的氮适宜生长范围分别为 18.30—42.42、37.71—86.43 和 41.52—114.18 $\mu\text{mol/L}$ (表3所示)。

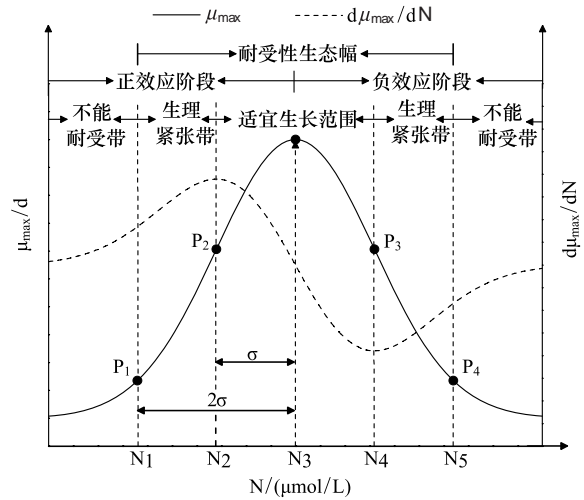


图3 赤潮藻类生长的氮耐受性生态幅效应曲线
Fig.3 The nitrate ecological amplitude effect curve of algal growth

表3 固定不同磷起始浓度条件下塔玛亚历山大藻的氮适宜生长范围和氮生态幅

Table 3 The optimum growth range of nitrate concentrations and the tolerance range of nitrate concentrations of *A. tamarense* under different initial phosphate concentrations

氮适宜生长范围/ $\mu\text{mol/L}$ The optimum growth ranges of nitrate concentrations	氮生态幅(耐受限度)/ $\mu\text{mol/L}$ The tolerance ranges of nitrate concentrations	实验条件 Culture conditions
18.30—42.42	6.24—54.48	低磷
37.71—86.43	13.35—110.79	中磷
41.52—114.18	5.19—150.51	高磷

2.3.3 藻类生长的氮耐受性范围

一般一个生物种的生态幅度变化于 4σ 之内^[26],毕作林等^[27]将一个生物种的生态幅区间表示为 $[u-2\sigma, u+2\sigma]$ (u 表示相应的生物指标达到最大值时所对应的环境因子值),因此,根据式(3),可以得到藻类生长的氮耐受下限、上限及耐受性生态幅表达式为:

$$\text{氮的耐受下限} \quad N_{\text{耐受下限}} = N_{\text{opt}} - 2\sigma \tag{9}$$

$$\text{氮的耐受上限} \quad N_{\text{耐受上限}} = N_{\text{opt}} + 2\sigma \tag{10}$$

$$\text{氮的耐受性生态幅} \quad N_{\text{opt}} - 2\sigma - N_{\text{opt}} + 2\sigma \tag{11}$$

公式中参数的意义与公式(3)相同。

根据公式(11)和表2可以得到塔玛亚历山大藻在低磷、中磷和高磷条件下的氮耐受性范围分别为 6.24—54.48、13.35—110.79 和 5.19—150.52 $\mu\text{mol/L}$ (表3所示)。

3 讨论

氮、磷营养盐被认为是赤潮发生的物质基础。实验所设的氮浓度范围内,在固定同一磷起始浓度条件下,均存在一个影响塔玛亚历山大藻生长的氮浓度阈值(最佳氮浓度, N_{opt})。当氮浓度 (C_N) $< C_{N_{\text{opt}}}$ 时,藻细胞密度和最大比生长速率均随着 C_N 的增大而增大;当 $C_N > C_{N_{\text{opt}}}$ 时,藻细胞密度和最大比生长速率均随着 C_N 的增大而减小,表明过低和过高的 C_N 都不利于塔玛亚历山大藻的生长,只有在合适的 C_N 条件下才有利于藻类生长,这个结果是 Shelford 耐受性定律是一致的^[28-29]。此外,不同磷起始浓度对藻细胞密度和最大比生长速率有显著的影响,藻细胞密度和最大比生长速率均随着磷起始浓度的增大而增大,表明高磷起始浓度条件有利于藻类

的生长,这个结果与其他研究者对塔玛亚历山大藻研究得到的结论相一致的^[4, 30-35]。

公式(3)和公式(4)定量得到塔玛亚历山大藻在固定低磷、中磷、高磷条件下的最佳氮浓度分别为 30.36、62.07 $\mu\text{mol/L}$ 和 77.85 $\mu\text{mol/L}$,表明藻类在不同营养盐条件下的最佳氮浓度不是一个固定值,这与“当某种生物对某一特定生态因子不是处在最佳状态时,对其他生态因子的耐受限度可能随之下降”^[36-37]是一致的。徐轶肖等^[19],江天久和徐轶肖^[21]分别在固定磷起始浓度为 41 $\mu\text{mol/L}$ (f/2 培养基)实验条件下均定性得到的最佳氮浓度为 1765 $\mu\text{mol/L}$ 。Wang 和 Hsieh^[9]在固定磷起始浓度为 10 $\mu\text{mol/L}$ 等实验条件下定性得到的最佳氮浓度为 264 $\mu\text{mol/L}$ 。石岩峻等^[17]在固定磷起始浓度为 41 $\mu\text{mol/L}$ (f/2 培养基)等实验条件下定性得到的最佳氮浓度为 882 $\mu\text{mol/L}$,这些结果均大于本文得到的结果。公式(8)定量得到的固定低磷、中磷和高磷条件下塔玛亚历山大藻生长的氮适宜生长范围分别为[18.30, 42.42]、[37.71, 86.43]和[41.52, 114.18]。徐轶肖等^[19],江天久和徐轶肖^[21]分别在其实验条件下定性得到适宜塔玛亚历山大藻生长的氮浓度范围均为 882—1765 $\mu\text{mol/L}$,均大于本文得到的结果。公式(11)定量得到塔玛亚历山大藻在低磷、中磷和高磷条件下的氮耐受性范围分别为[6.24, 54.48]、[13.35, 110.79]和[5.19, 150.52]。徐轶肖等^[19],江天久和徐轶肖^[21]分别在其实验条件下定性得到适宜塔玛亚历山大藻生长的氮耐受性范围均为 0—7059 $\mu\text{mol/L}$ 。石岩峻等^[17]在其实验条件下定性得到适宜塔玛亚历山大藻生长的氮耐受性范围为 88.2—2646 $\mu\text{mol/L}$,均大于本文得到的结果。不同研究者在不同实验条件下得到藻类生长的营养盐生态幅存在差异性。产生这些差异性的原因可能是:(1)不同实验用的藻种系来自不同海域、不同藻株,有研究表明不同海域藻株或同一海域不同藻株在不同的环境条件下的生长特性存在差异性;(2)实验设置的磷起始浓度不一致;(3)其它实验条件(如光照强度、培养温度、起始细胞密度等)存在差异,导致了实验结果的差异性。因此,不同学者在不同实验条件下得到的研究结果也不相同。通过对藻类营养盐生态幅的研究有助于了解藻类生长与营养之间的关系。

本文设置的营养盐浓度模拟了自然海水营养盐浓度水平,并参照了塔玛亚历山大藻赤潮暴发时的基本物理条件,如光强和温度等,从而掌握该藻在不同的氮、磷水平下的生长特性。结果显示水体中高磷条件下,适宜的氮浓度有可能诱发塔玛亚历山大藻赤潮的暴发。污染严重的海域,富营养化严重,氮含量往往偏高,赤潮暴发前其他优势生物对氮的过量消耗有可能触发塔玛亚历山大藻赤潮暴发性增殖,导致塔玛亚历山大藻赤潮发生,而磷的耗尽在它的消亡中起重要作用^[38]。

References:

- [1] Hallegraeff G M. Harmful algal blooms: a global overview // Hallegraeff G M, Anderson D M, Cembella A D, eds. Manual on Harmful Marine Microalgae. IOC Manuals and Guides No 33. UNESCO, 1995: 1-18.
- [2] Anderson D M, Kulis D M, Doucette G J, Gallagher J C, Balech E. Biogeography of toxic dinoflagellates in the genus *Alexandrium* from the northeastern United States and Canada. *Marine Biology*, 1994, 120(3):467-478.
- [3] Anderson D M. Bloom dynamics of toxic *Alexandrium* species in the northeastern U. S. . *Limnology and Oceanography*, 1997, 42(5):1009-1022.
- [4] Boyer G L, Sullivan J J, Anderson R J, Harrison P J, Taylor F J R. Effects of nutrient limitation on toxin production and composition in the marine dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis*. *Marine Biology*, 1987, 96(1):123-128.
- [5] MacIntyre J G, Cullen J J, Cembella A D. Vertical migration, nutrition and toxicity in the dinoflagellate *Alexandrium tamarensis*. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 148: 201-216.
- [6] Parkhill J P, Cembella A D. Effects of salinity, light and inorganic nitrogen on growth and toxigenicity of the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* from northeastern Canada. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(5):939-955.
- [7] Yamamoto T, Tarutani K. Growth and phosphate uptake kinetics of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* from Hiroshima Bay in the Seto Inland Sea, Japan. *Phycological Research*, 1999, 47(1): 27-32.
- [8] Hamasaki K, Horie M, Tokimitsu S, Toda T, Taguchi S. Variability in toxicity of the dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* isolated from Hiroshima Bay, Western Japan, as a reflection of changing environmental conditions. *Journal of Plankton Research*, 2001, 23(3):271-278.
- [9] Wang D Z, Hsieh D P H. Effects of nitrate and phosphate on growth and C2 toxin productivity of *Alexandrium tamarensis* C101 in culture. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 45(1/2):286-289.
- [10] Wang C H, Hsieh D P H. Nutritional supplementation to increase growth and paralytic shellfish toxin productivity by the marine dinoflagellate

- Alexandrium tamarense*. Biochemical Engineering Journal, 2002, 11(2/3):131-135.
- [11] Frangópoulos M, Guisande C, deBlas E, Maneiro I. Toxin production and competitive abilities under phosphorus limitation of *Alexandrium* species. Harmful Algae, 2004, 3(2):131-139.
- [12] Leong S C Y, Murata A, Nagashima Y, Taguchi S. Variability in toxicity of the dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in response to different nitrogen sources and concentrations. Toxicon, 2004, 43(4):407-415.
- [13] Wang D Z, Hsieh D P H. Growth and toxin production in batch cultures of a marine dinoflagellate *Alexandrium tamarense* HK9301 isolated from the South China Sea. Harmful Algae, 2005, 4(2):401-410.
- [14] Shi Y J, Hu H H, Cong W. Positive effects of continuous low nitrate levels on growth and photosynthesis of *Alexandrium tamarense* (Gonyaulacales, Dinophyceae). Phycological Research, 2005, 53(1):43-48.
- [15] Hu H H, Chen W D, Shi Y J, Cong W. Nitrate and phosphate supplementation to increase toxin production by the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarense*. Marine Pollution Bulletin, 2006, 52(7):756-760.
- [16] Zhang Y H, Lian Y W. Effects of phosphorus on the growth of the red tide organism *Alexandrium tamarense*. Marine Environmental Science, 1999, 18(4):24-28.
- [17] Shi Y J, Hu H H, Ma R Y, Cong W, Cai Z L. Nitrogen and phosphorus absorption and growth characteristics of *Alexandrium tamarense*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(7):1143-1146.
- [18] Leong S C Y, Taguchi S. Response of the dinoflagellate *Alexandrium tamarense* to a range of nitrogen sources and concentrations: growth rate, chemical carbon and nitrogen, and pigments. Hydrobiologia, 2004, 515(1/3):215-224.
- [19] Xu Y X, Jiang T J, Lu S H. Studies on the Growth characteristics of Toxic *Alexandrium tamarense* (Hong Kong Strain II). Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2005, 13(1):21-24.
- [20] Zhang Y J, Cao Y, Wang Z H, Han B P, Yang Y F. Effects of limitation of Nitrogen and Phosphorus on the growth of *Alexandrium tamarense*. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2006, 14(6):482-486.
- [21] Jiang T J, Xu Y X. Studies on the growth of *Alexandrium tamarense* Balech. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(4):472-476.
- [22] Fang Q, Gu H F, Lan D Z, Huang Y H. Effect of temperature, salinity and nutrient on the growth of different strains of *Alexandrium tamarense*. Marine Science Bulletin, 2006, 25(6):20-25.
- [23] Guillard R R L, Ryther J H. Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Grun. Canadian Journal of Microbiology, 1962, 8(2):229-239.
- [24] Harrison P J, Waters R E, Taylor F J R. A broad spectrum artificial sea water medium for coastal and open ocean phytoplankton. Journal of Phycology, 1980, 16(1):28-35.
- [25] Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration, Ocean University of China. National seawater quality standard of China GB3097—1997. Beijing: China Environmental Science Press, 1998:1-7.
- [26] Wang F, Liang R J, Yang X L, Chen M J. A study of ecological water requirements in northwest China I: theoretical analysis. Journal of Natural Resources, 2000, 17(1):1-8.
- [27] Bi Z L, Xiong X, Lu F, He Q, Zhao X S. Studies on ecological amplitude of reed to the environmental gradient of water depth. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2007, (4):1-3.
- [28] Shelford V E. Physiological animal geography. Journal of Morphology, 1911, 22(3):551-618.
- [29] Shelford V E. Animal Communities in Temperate America. Chicago: University of Chicago Press, 1913.
- [30] Anderson D M, Kulis D M, Sullivan J J, Hall S, Lee C. Dynamics and physiology of saxitoxin production by the dinoflagellates *Alexandrium* spp. Marine Biology, 1990, 104(3):511-524.
- [31] Flynn K J. Physiology of toxic microalgae with special emphasis on toxin production: construction of dynamic models // Reguera B, Blanco J, Fernandez ML, Wyatt T, eds. Harmful Algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 1998:315-320.
- [32] Matsuda A, Nishijima T, Fukami K. Effects of nitrogen deficiency on the PSP production by *Alexandrium catenella* under axenic cultures // Yasumoto T, Oshima Y, Fukuyo Y, eds. Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 1996:305-308.
- [33] Usup G, Kulis D M, Anderson D M. Growth and toxin production of the toxic dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* Var. *compressum* in laboratory cultures. Natural Toxins, 1994, 2(5):254-262.
- [34] Béchamin C, Grzebyk D, Hachame F, Hummert C, Maestrini S Y. Effect of different nitrogen/phosphorous nutrient ratios on the toxin content in *Alexandrium minutum*. Aquatic Microbial Ecology, 1999, 20(2):157-165.
- [35] John E H, Flynn K J. Growth dynamics and toxicity of *Alexandrium fundyense* (Dinophyceae): the effect of changing N:P supply ratios on internal toxin and nutrient levels. European Journal of Phycology, 2000, 35:11-23.

- [36] Odum E P. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: Saunders Company, 1959.
- [37] Odum E P. *Basic Ecology*. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1971.
- [38] Liu H B, Laws E A, Villareal T A, Buskey E J. Nutrient-limited growth of *Aureoumbra lagunensis* (Pelagophyceae), with implications for its capability to outgrow other phytoplankton species in phosphate-limited environments. *Journal of Phycology*, 2001, 37(4):500-508.

参考文献:

- [16] 张宜辉,连玉武. 磷对赤潮生物塔玛亚历山大藻的增殖效应. *海洋环境科学*,1999,18(4):24-28.
- [17] 石岩峻,胡晗华,马润宇,丛威,蔡昭铃. 塔玛亚历山大藻对氮和磷的吸收及其生长特性. *应用生态学报*,2003,14(7):1143-1146.
- [19] 徐轶肖,江天久,吕颂辉. 有毒赤潮甲藻塔玛亚历山大藻(香港株Ⅱ)的生长特性研究. *热带亚热带植物学报*,2005,13(1):21-24.
- [20] 张玉娟,曹宇,王朝晖,韩博平,杨宇锋. N、P 营养盐对塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)生长的影响. *热带亚热带植物学报*,2006,14(6):482-486.
- [21] 江天久,徐轶肖. 塔玛亚历山大藻的生长研究. *水生生物学报*,2006,30(4):472-476.
- [22] 方琦,顾海峰,蓝东兆,黄元辉. 温、盐度及营养盐对不同藻株塔玛亚历山大藻生长的影响. *海洋通报*,2006,25(6):20-25.
- [25] 国家海洋局第三海洋研究所和青岛海洋大学. 海水水质标准 GB3097—1997. 北京:中国标准出版社,1998:1-7.
- [26] 王芳,梁瑞驹,杨小柳,陈敏建. 中国西北地区生态需水研究(1)——干旱半干旱地区生态需水理论分析. *自然资源学报*,2000,17(1):1-8.
- [27] 毕作林,熊雄,路峰,贺强,赵欣胜. 黄河三角洲湿地芦苇种群水深生态幅研究. *山东林业科技*,2007,(4):1-3.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

- The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)
- Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique SUN Caizhi, YANG Lei (1016)
- Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)
- The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)
- Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)
- Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)
- Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)
- Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)
- Analysis of a dust case using lidar in Shanghai MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)
- Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)
- Phenotypic traits of both larvae and juvenile *Crasstrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)
- Inter-specific competition between *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* LI Hui, WANG Jiangtao (1115)
- Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)
- On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)
- Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)
- The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jianguo (1151)
- Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. and the closely related *Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim. SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)
- Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress SHAN Changjuan, HAN Ruilian, LIANG Zongsuo (1174)
- The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (*Citrullus lanatus*) site in China XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)
- Suitable habitat for the *Achnatherum splendens* community in typical steppe region of Inner Mongolia ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)
- Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)
- Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)
- Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)
- The evaluation system of strength of winteriness in wheat WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)
- A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tiangjiahe Nature Reserve, China LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)
- Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* on 6 vegetable host plants CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)
- Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)
- Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)
- Seasonal characteristics of CO₂ fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)
- Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of TuoCheng County WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)
- Review and Monograph**
- Recent advances in wetland degradation research HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)
- A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)
- Discussion**
- The diversity of the radio-resistant bacteria *Deinococcus radiodurans* TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)
- Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)
- Scientific Note**
- Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)
- Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@esp.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@esp.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元