

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180524001

http://www.yykxjz.cn/

孙昕, 刘福利, 梁洲瑞, 汪文俊, 孙修涛. 基于MaxEnt模型预测极北海带在我国黄渤海的适生情况. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 71-77

Sun X, Liu FL, Liang ZR, Wang WJ, Sun XT. Potential geographic distribution of *Laminaria hyperborea* in the Bohai and Huanghai Seas of China based on MaxEnt model. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 71-77

基于 MaxEnt 模型预测极北海带 在我国黄渤海的适生情况*

孙昕 刘福利^① 梁洲瑞 汪文俊 孙修涛

(中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛 266071)

摘要 我国黄渤海区域的自然藻场存在不同程度的退化, 建立人工藻场是制止海底荒漠化、恢复海底植被和建设海洋牧场的重要手段。本研究模拟极北海带(*Laminaria hyperborea*)在我国黄渤海区域的适生情况, 使用 MaxEnt 生态位预测方法, 针对影响极北海带分部的 21 项关键水质及水文条件以及在原产地的分布情况, 建立我国黄渤海海域生态位分布模型, 划分相应的适生区域, 并通过刀切法筛选对模型贡献度较大的环境因子, 逐一分析其对极北海带适生性的影响。结果显示, 在筛选出的 9 项对模型贡献度较大的环境因子中, 温度与光照强度对极北海带分布的影响最大。极北海带在温度 7°C~18°C 范围、光强不超过 52 E/(m²·d) 的区间有较大的适生概率; 氮、磷浓度对预测结果也有一定影响, 但天然海水中的氮、磷浓度不足以成为极北海带分布的限制因子。总体来看, 黄渤海区域有 1.67% 海域为中适生区, 主要集中在辽东半岛东岸长海县附近海域; 山东半岛东部、北部, 渤海西北部有一定的低适生范围, 占总海域面积的 5.12%; 非适生区和边缘适生区占海域总面积的 88.51% 和 4.70%。本研究表明, 辽东半岛东岸长海县附近海域是建立极北海带藻场的理想区域。

关键词 极北海带; MaxEnt; 人工藻场; 适生范围; 生态位

中图分类号 Q89 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)05-0071-07

海洋大型藻类是海洋中重要的初级生产者, 同时也是多种鱼类、贝类、底栖生物的重要栖息地, 为其提供必不可少的遮蔽环境、食物来源、栖息场所、繁殖区域等环境条件。近年来, 围绕山东半岛及辽东半岛藻场修复的研究有了很大进展, 在受损海区生态环境功能修复上取得一定成效(涂忠等, 2007、2009),

并发挥出相应生态功能(Largo *et al*, 1994; Seaman, 2007; Jiao *et al*, 2014)。然而, 海藻场的建设更多看重其生态功能, 以吸引鱼虾生物及浮游生物作为主要目的(张磊等, 2012; 袁小楠等, 2017), 若能将富有工业价值的海洋大型藻类, 如海带属(*Laminaria*), 作为主导藻种构建海藻床, 在起到生态恢复功能的同时, 也

*中国水产科学研究院基本科研业务费(2016HY-JC0301)、青岛市民生科技计划项目(17-3-3-65-nsh)和现代农业产业技术体系专项(CARS-50)共同资助 [This work was supported by Special Scientific Research Funds for Central Non-Profit Institutes, Chinese Academy of Fishery Sciences (2016HY-JC0301), Qingdao Science and Technology Project of People's Livelihood (17-3-3-65-nsh), and China Agriculture Research System (CARS-50)]. 孙昕, E-mail: 307368070@qq.com

① 通讯作者: 刘福利, 副研究员, E-mail: liufl@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-05-24, 收修改稿日期: 2018-08-07

可以综合提高藻场的经济产出率。极北海带(*Laminaria hyperborea*)系多年生大型海藻,源于大西洋东北海域,是当地“海藻森林”的优势藻种(Steneck *et al.*, 2002)。极北海带具有较高经济价值,其柄和叶片的褐藻胶含量分别为 25%~30%和 17%~33%(干重比),属于褐藻胶含量较高的褐藻之一,且其褐藻胶凝胶强度大,因古罗糖醛酸(Guluronic acid, G)含量在其柄和叶片的褐藻胶中分别占比高达 68%~70%和 44%~55%,而在其他商用褐藻胶中的含量一般为 10%~45% (Peter *et al.*, 2015),工业和商业价值显著。

在人工藻场的构建中,由于需要考虑生态恢复效果,提高底栖生物丰富度,海藻附着基通常设置在水深为 15~25 m 的硬质海底(许强等, 2011)。然而,我国常见的海带(*Saccharina japonica*)通常的垂直适生深度小于 15 m (曾呈奎等, 1981),在人工鱼礁深度的海水层中,光照强度往往无法达到海带正常生长所需的光强,使海带生长较慢,甚至死亡,导致生态功能恢复效果不理想。海带的适生深度主要受光照强度的影响,自然生长的极北海带对光照的需求较低,因此,在更深的海域也有分布。Joanna(1997)研究发现,在 25 m 以下深度的海底存在自然生长的极北海带。Luning(1979)对极北海带进行光照实验发现,极北海带生长所需光照显著低于其他海带属种类(*L. saccharina*, *L. digitata*)。因此,针对藻礁建设区域深度较深、光照不足的问题,极北海带可能是一个理想的适应品种。

Phillips 等(2008)基于生态位理论,用最大熵原理作为统计推断工具,以物种在已知分布区的信息以及目标区的环境变量为基础,通过比较该物种在已知分布区的生态环境变量来预测其占有的生态位,并编写程序 MaxEnt(Maxent entropy)。MaxEnt 仅考虑目标物种在所在区域的“出现”情况(Presence-only),综合考虑各种给定环境因子下物种出现的最大熵,从而对物种在预测区域的适生情况进行分析。该模型在预测物种适生性上有广泛应用,许多学者使用该模型对珍稀物种、入侵物种以及一些植物病虫害的潜在分布区域进行预测评价(曾辉等, 2008; 张飞等, 2017; 王运生等, 2007)。此外,该模型也被证实适合预测海洋藻类的适生范围(Martín- García *et al.*, 2017)。

尽管是构建海藻场的优良藻种,极具开发潜力,但作为外来物种,极北海带在我国黄渤海海区的适应性有待研究,是否会成为入侵物种的风险也尚不明确。因此,本研究采用 MaxEnt 软件对极北海带在我国黄渤海海区进行适生范围预测,评价其生态入侵风险,为构建极北海带藻场的可行性提供参考依据。

1 模型与方法

1.1 生态位预测模型

本研究选用 MaxEnt v3.3.3 对我国近海海域模拟极北海带的适生性进行评估,选取 logistic 形式表达,其他算法选择模型自身默认值,并将所选用的环境因子做刀切法(JackKnife)检验,判断每个环境因子对预测结果的重要性。

1.2 极北海带空间位点

本研究使用的极北海带空间数据从全球生物多样性信息网络 GBIF (<http://www.gbif.org/>)中获取。收集 1900~2018 年极北海带出现位点共 11894 处。除去实验、标本存储及其他人为培养位点 822 处,得到极北海带自然扩散位点 11072 处的经纬度数据。考虑到模型运算量以及许多点位较为集中,使用 Excel 在 11072 个点位中随机选择 300 个位点作为极北海带的空间位点数据,将 300 个空间位点数据转换成 *.csv 格式导入 MaxEnt 模型。

1.3 环境因子数据

于全球海洋生物扩散模型环境数据库 Bio-ORACLE(<http://bio-oracle.org/>)中筛选出影响极北海带生长的 21 项关键环境因子,用于适生模型构建。其中包含 12 项水质参数,即:最高月均温度、溶解氧、氮浓度、磷浓度;最低月均温度、溶解氧、氮浓度、磷浓度,年平均温度、溶解氧、氮浓度、磷浓度,以及 9 项水文参数,即:最大海流流速、海区深度、光照强度;最小海流流速、海区深度、有效太阳辐射,年平均海流流速、海区深度、光照强度。

1.4 环境因子选择

本研究采用 MaxEnt 模型中自带的刀切法,将上述 21 项因子进行筛选。将全球生物多样性信息网络中所收集到的极北海带空间位点经纬度数据转化成数据文本格式(.csv),并于 Bio-ORACLE 中所收集的环境数据文件(.asc)同时导入 MaxEnt 模型,以 logistic 格式输出最终结果。模型共计算 2 次,第 1 次计算用于筛选对适生模型贡献度为 0 的环境因子,舍去这些因子,将剩余环境因子再次导入 MaxEnt,进行第 2 次预测模型构建。

1.5 适生区评估

模型预测结果以*.asc 格式输出。将模型输出结果导入 ArcGIS 10.3,利用 ArcGIS 工具箱系统中的格式转换工具(conversion tools),将预测结果数据转化

为栅格数据(*.flt)格式。选定合适的阈值,将预测结果按适生概率等级划分为高适生区(>0.5)、中适生区(0.3~0.5)、低适生区(0.1~0.3)、边缘适生区(0.05~0.1)、非适生区(<0.05)(Martín-García *et al*, 2014; 齐国军等, 2012; 柯明剑等, 2017)。

1.6 MaxEnt 模型评估

本研究通过计算指受试者工作特征曲线(ROC)的曲线下面积(AUC)来评估模型准确性(Canran *et al*, 2005)。在进行模拟时,使用模型自身功能将所选取的 300 个位点分为 2 部分,随机选取 75%的物种分布点用于建模,剩余 25%用于模型的检验和校正(Phillips *et al*, 2006、2008)。在“presence-only”模型中,ROC 曲线表示正确预测的出现位点概率与假信号出现概率的比值,ROC 曲线下的面积(AUC)即表示预测结果的准确性。AUC 数值范围为 0~1, AUC 数值越大,表示预测结果越准确, AUC 值大于 0.9 时,表示

模型预测结果有很高的可信度。

2 结果

黄渤海海区统计共 5213 个栅格数据,最大值为 0.472,最小值为 0.000(精确到小数点后 3 位)。将适生概率按适生区域阈值划分,频数与频率见表 1。

极北海带在中国黄渤海海域的适生性预测结果如图 1 所示,适生概率从蓝色到红色依次上升。极北海带在山东半岛沿岸、渤海湾近岸海域以及辽东半岛沿岸均有一定的适生概率,低适生区多分布在渤海西北部及辽东半岛沿岸。山东半岛南岸有少量边缘适生区,再往南均无适生区。中、高适生区域主要分布在朝鲜及日本沿海地区,我国海域无分布。

评估预测模型准确性的 ROC 曲线如图 2 所示,其中,红色为用于模型检验校正,蓝色为模型建立。其 AUC 值分别为 0.966 与 0.965。

表 1 极北海带在我国黄渤海海域的适生区分布情况

Tab.1 The occurrence zones of *L. hyperborean* in Bohai and Huanghai Sea

适生区划分 Occurrence zone	适生率范围 Probability range	频数 Frequency	频率 Percentage (%)
非适生区 Unbefitting zone	0~0.05	4614	88.51
边缘适生区 Marginal zone	0.05~0.1	245	4.70
低适生区 Low OPZ	0.1~0.3	267	5.12
中适生区 Medium OPZ	0.3~0.5	87	1.67
高适生区 High OPZ	0.5~1	0	0
合计 Total		5213	

注: 适生频数及概率范围通过 ArcGIS 中的工具箱系统中的格式转换工具重新划分

Note: Occurrence probability zones (OPZs) and frequency are reclassified by the use of conversion tool from ArcGIS

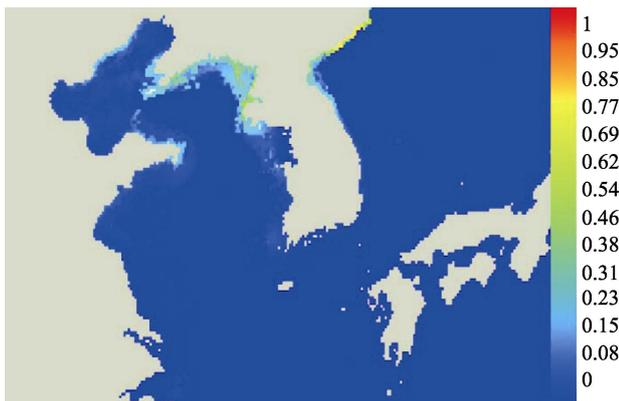


图 1 MaxEnt 模型预测极北海带在中国黄渤海海域的适生性概率范围

Fig.1 Occurrence probability zones of *L. hyperborean* in Bohai and Huanghai Sea

采用 MaxEnt 模型中自带的刀切法功能进行环境变量贡献度分析。第 1 次分析后,从所选 21 项环境

变量中,将贡献度为 0 的 12 项变量删除,保留剩余 9 项环境变量。SPSS 检测 9 项变量两两之间无显著相关性。图 3 为 9 项有贡献度的环境变量刀切法分析结果。纳入考虑的 9 个环境变量分别为最大月光照强度 Light(max)、年均光照强度 Light(mean)、平均海流流速 Current(mean)、年均溶解氧浓度 DO(mean)、最低月均氮浓度 $C_N(\min)$ 、最低月均磷浓度 $C_P(\min)$ 、最大月均温度 $T(\max)$ 、年均温度 $T(\text{mean})$ 以及最小月均温度 $T(\min)$ 。光照强度和温度对极北海带适生概率值的贡献度最为显著。

选取 MaxEnt 模型筛选出的对极北海带适生性影响较大的环境因子逐个分析(图 4),仅考虑单一环境变量时的极北海带适生概率,用来反映模型在预测适生性时,对所选变量的依赖性以及其他变量之间的相关性引起的依赖性。由图 4 可见,极北海带适生概率随光照强度的增加而增加,在最大光照强

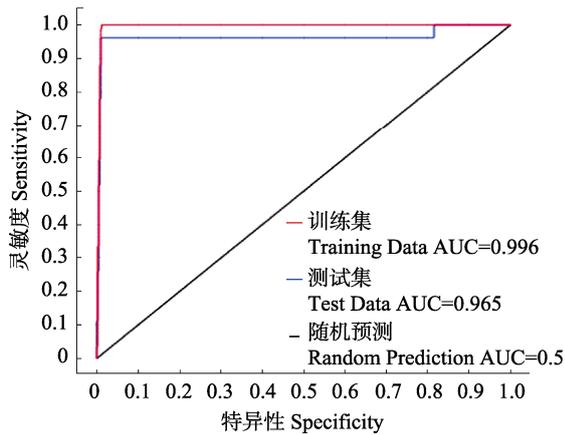


图2 MaxEnt 预测模型的 ROC 曲线
Fig.2 ROC curve of MaxEnt

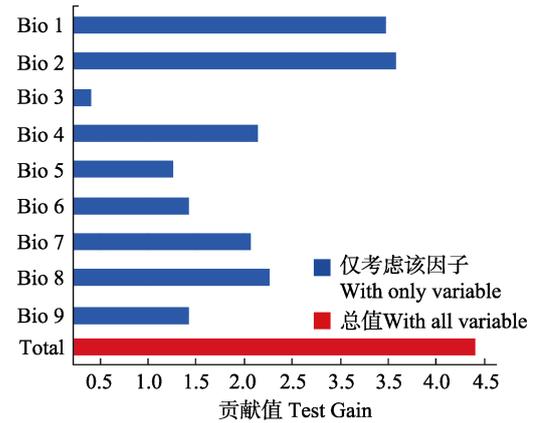


图3 环境因子对模型的贡献度
Fig.3 The contribution of each environmental variable

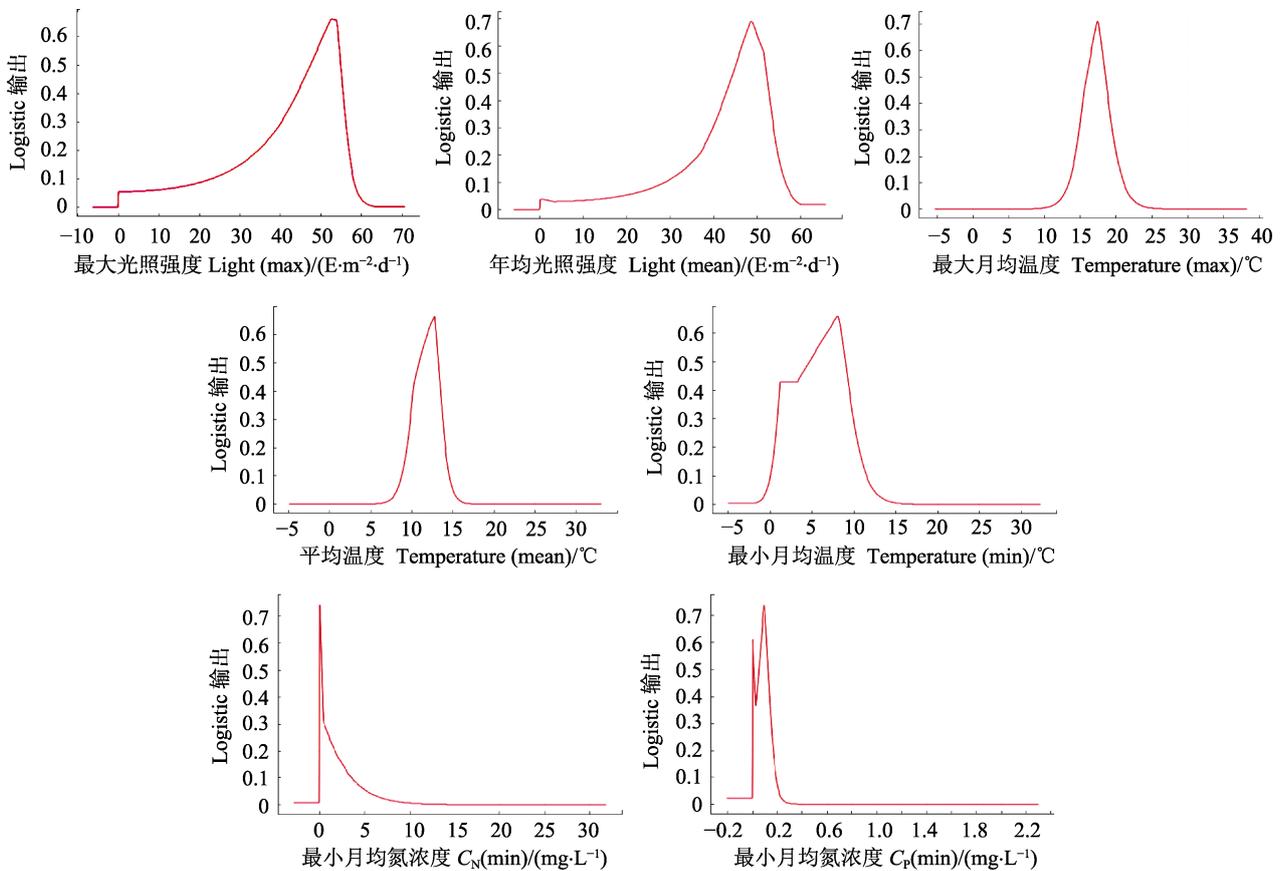


图4 单因子环境变量分析
Fig.4 Analysis of single environmental variable

度 $52 \text{ E}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ (Photosynt. Avail. Radiation)、平均强度 $48 \text{ E}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 时达到顶点。极北海带适生温度范围为 $7^\circ\text{C}\sim 18^\circ\text{C}$ 、在年均温度为 13°C 时达到最大适生概率。同时,极北海带的适生温度范围最小月均温度不低于 -2°C 、最大月均温度不超过 25°C 。氮、磷浓度的单因子适生概率分布图显示,极北海带在 $0\sim 10 \text{ mg/L}$ 氮浓度范围、 $0\sim 0.22 \text{ mg/L}$ 磷浓度范围内存在适生性。

3 讨论

本研究通过 MaxEnt 建立的极北海带适生性预测模型,训练集和测试集的 AUC 值均非常接近于 1,说明结果预测准确(Phillips *et al.*, 2006)。本研究通过刀切法筛选出对极北海带适生性贡献最大的 9 项环境因子也均符合极北海带的生长条件(Susan *et al.*,

2011)。MaxEnt 模型预测结果显示, 除朝鲜西岸与日本主岛东部沿岸以外, 在我国范围内仅辽东半岛东部大连长海县附近海域存在中适生区, 其余地区均为低适生区、边缘适生区和非适生区。

温度是影响极北海带适生性的重要因子。本研究结果显示, 极北海带适生温度年均值在 6~17℃ 范围内, 月均温度不超过 25℃, 最低不低于-2℃。大连长海县附近海域年均水温通常为-2~24℃, 平均温度和最低温度在极北海带适生温度范围之内, 但夏季月均最高温度接近于极北海带的最高耐受温度范围。因此, 在夏季, 温度有可能是在该海区内影响极北海带最重要的环境因子, 在构建海带场时应重点关注。

光照强度是另一项影响极北海带分部主要的环境因子之一。模型自身的刀切法检测将最小光照强度对极北海带适生性贡献排除。该结果与预测结果相符, 说明极北海带对低光照环境的适应性较好, 相比与其他环境因子, 自然的低光照环境对极北海带可能不构成影响。

氮、磷浓度对极北海带的适生范围也有一定的影响, 单因子适生性分析结果显示, 极北海带在氮、磷浓度极低的水平下均能达到较高的适生性, 表明极北海带适生范围受氮、磷浓度影响相对较小。此外, 最大及平均氮、磷浓度对该预测模型没有贡献值, 也说明自然水体能达到的最高氮、磷浓度不足以成为极北海带生长的限制因子。

海洋底质对极北海带分布的影响没有纳入考虑范围。尽管海洋底质对大型海藻的自然分布影响很大, 海带生长通常需要礁岩作为附着基。但藻场的建设通常包含人工投放礁石和海藻附着基, 人为为海带生长提供适宜的海洋底质环境, 或直接采用苗绳方法进行培养。因此, 将底质类型排除在模型所考虑的环境因子之外。

引入外来物种需要严格把控其适生范围, 防止其成为入侵物种。辽东半岛东部海域底质以沙质为主, 不利于极北海带的自然生长。因此, 在沙质底质建立引入的极北海带品种还可降低其成为入侵物种的风险, 通过控制海洋牧场附着基质的投放区域, 起到控制极北海带生长范围的作用。另一方面, 适生概率超过 0.5 的高适生区有较高的入侵风险(Phillips *et al.*, 2006), 而在我国近海范围内均无高适生区。因此, 极北海带在我国海域内成为入侵物种的风险较低。需要注意的是, 辽东湾西部和山东半岛北部海域底质以岩石为主, 极北海带在此有一定的适生概率。然而, MaxEnt 预测此海域属于低适生区, 成为入侵物种的

概率较低。其余低适生区例如渤海湾西岸, 其底质以淤泥为主, 不适合极北海带生长。

综上所述, 引进极北海带作为海洋牧场的主导藻种在我国辽东半岛东岸的长海县附近海域有较高的可行性。同时, 受到环境因子的限制, 极北海带成为入侵物种的风险较低, 但在辽东湾西部和山东半岛北部海域仍需要严格审查。

参 考 文 献

- Canran L, Pam MB, Terence PD, *et al.* Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 2005, 28(3): 385-393
- Holdt SL, Kraan S. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 2011, 23(3): 543-597
- Jiao L, Chang G, Yong C, *et al.* Progress on research and construction of marine ranching along the coast of Shandong Province of China. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 2014, 4: 338-347
- Joanna MK. The biology of *Laminaria hyperborea* X. the effect of depth on some populations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1997, 57(3): 587-607
- Ke MJ, Wang HB, Yang Z, *et al.* Prediction of the potential distribution areas of brown-banded cockroach in China based on MaxEnt model. *Port Health Control*, 2017, 22(2): 59-63 [柯明剑, 汪海波, 杨泽, 等. 用最大熵生态位模型预测入侵媒介生物褐带皮蠹在中国的潜在分布区. *口岸卫生控制*, 2017, 22(2): 59-63]
- Largo DB, Ohno M, Critchley AT. Seasonal changes in the growth and reproduction of *Sargassum polycystum* C. Ag. and *Sargassum siliquosum* J. Ag. (Sargassaceae, Fucales) from Liloan, Cebu, in Central Philippines. *Sorui*, 1994, 42(1): 53-61
- Luning K. Growth strategies of three *Laminaria* species (Phaeophyceae) inhabiting different depth zones in the sublittoral region of Helgoland (North Sea). *Marine Ecology*, 1979(1): 195-207
- Martín-García, L, Herrera R, Moro-Abad L, *et al.* Predicting the potential habitat of the harmful cyanobacteria: Ecological niche model of invasive seaweeds. *Harmful Algae*, 2014, 34: 76-86
- Peter S, Kenneth DB, Michele SS, *et al.* The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. *Journal of Applied Phycology*, 2015, 27(1):

- 363–373
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3–4): 231–259
- Phillips SJ, Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 2008, 31(2): 161–175
- Qi GJ, Gao Y, Huang DC, *et al.* Historical invasion, expansion process and the potential geographic distributions for the rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* in China based on MaxEnt. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2012, 39(2): 129–136 [齐国君, 高燕, 黄德超, 等. 基于 MaxEnt 的稻水象甲在中国的入侵扩散动态及适生性分析. *植物保护学报*, 2012, 39(2): 129–136]
- Seaman W. Artificial habitats and the restoration of degraded marine ecosystems and fisheries. *Hydrobiologia*, 2007, 580(1): 143–155
- Steneck RS, Graham BJ, Bourque D, *et al.* Kelp forest ecosystems: Biodiversity, stability, resilience and future. *Environment Conservation*, 2002, 29: 436–459
- Tu Z, Zhang XM, Zhang PD, *et al.* Artificial fish reef near Lidao Island in Rongcheng—Early assessment on resource and environment in sea area for artificial fish reef. *Modern Fisheries Information*, 2007, 22(12): 3–8 [涂忠, 张秀梅, 张沛东, 等. 荣成俚岛人工鱼礁建设项目——人工鱼礁投放海域资源环境状况前期评价. *现代渔业信息*, 2007, 22(12): 3–8]
- Tu Z, Zhang XM, Zhang PD, Huang GQ, *et al.* Artificial reef project in Lidao, Rongcheng II. Assessment on the effect of biological resource enhancement by the artificial reef. *Modern Fisheries Information*, 2009, 24(11): 16–20 [涂忠, 张秀梅, 张沛东, 等. 荣成俚岛人工鱼礁建设项目 II. 人工鱼礁养护生物资源效果的评价. *现代渔业信息*, 2009, 24(11): 16–20]
- Wang YS, Xie BY, Wan FH, *et al.* Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models. *Biodiversity Science*, 2007, 15(4): 365–372 [王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. *生物多样性杂志*, 2007, 15(4): 365–372]
- Xu Q, Liu SB, Xu M, *et al.* Preliminary study on sites selection of marine ranching—taking Zhoushan as an example. *Fishery Modernization*, 2011, 38(2): 27–31 [许强, 刘舜斌, 许敏, 等. 海洋牧场建设选址的初步研究: 以舟山为例. *渔业现代化*, 2011, 38(2): 27–31]
- Yuan XN, Liang ZL, Lü ZB, *et al.* The effects of ecological restoration of the artificial reef in Weihai offshore. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 39(10): 54–64 [袁小楠, 梁振林, 吕振波, 等. 威海近岸人工鱼礁布设对生物资源恢复效果. *海洋学报*, 2017, 39(10): 54–64]
- Zeng CK, Pan ZZ, Zhou BC. Comparative photosynthetic studies on benthic seaweeds II. The effect of light intensity on photosynthesis of intertidal brown algae. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1981, 12(3): 254–257 [曾呈奎, 潘忠正, 周百成. 底栖海藻比较光合作用研究 II. 潮间带褐藻的光合作用与光强的关系. *海洋与湖沼*, 1981, 12(3): 254–257]
- Zeng H, Huang GS, Lin W, *et al.* Prediction of potential geographic distribution of *Microcylus ulei* in the world using MaxEnt. *Plant Protection*, 2008, 34(3): 88–92 [曾辉, 黄冠胜, 林伟, 等. 利用 MaxEnt 预测橡胶南美叶疫病菌在全球的潜在地理分布. *植物保护*, 2008, 34(3): 88–92]
- Zhang F, Chen SQ, Wang LL, *et al.* Study on ecological suitability regionalization of *Corni fructus* based on MaxEnt and ArcGIS model. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, 42(16): 3078–3083 [张飞, 陈随清, 王利丽, 等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的山茱萸生态适宜性区划研究. *中国中药杂志*, 2017, 42(16): 3078–3083]
- Zhang L, Zhang XM, Wu ZX, *et al.* Effect of environment on benthic macro-algal communities of artificial reefs in Lidao, Rongcheng. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(1): 116–125 [张磊, 张秀梅, 吴忠鑫, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区大型底栖藻类群落及其与环境因子的关系. *中国水产科学*, 2012, 19(1): 116–125]

(编辑 冯小花)

Potential Geographic Distribution of *Laminaria hyperborea* in the Bohai and Huanghai Seas of China Based on MaxEnt Model

SUN Xin, LIU Fuli^①, LIANG Zhourui, WANG Wenjun, SUN Xiutao

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract Ecological niche model MaxEnt was applied to estimate the suitability probability of *Laminaria hyperborea* in the Bohai and Huanghai Seas of China. In this study, the native occurrence data of *L. hyperborea* and 21 key environmental variables were selected to build the ecological niche model and then redefined into occurrence zones by suitability probabilities. The contribution of each environmental variable to the model was estimated using JackKnifing techniques. The results showed that the contributions from temperature and light intensity to the spreading of *L. hyperborea* dominated all considered environmental parameters. In the forecasted areas, suitable probabilities were significant when the temperatures range from 7~18°C and the light intensities were below 52 E/(m²·d). Although the concentrations of N and P contributed to the prediction model, they would barely reach the limitation value for *L. hyperborea* in natural sea water. Additionally, our results showed that 1.67% of the entire forecasted area had a medium distribution probability, which was mainly limited within Changhai Town of Dalian City. Of the total area, 5.12% was low occurrence probability zones, mainly spreading along the east to the Liaodong Peninsula, north to the Shandong Peninsula, and northwest of the Bohai Sea. Furthermore, unfitting and marginal suitable distribution areas represent 88.51% and 4.70% of Chinese coast, respectively. The results indicate that Changhai Town could be an ideal location for the construction of *L. hyperborea* beds.

Key words *Laminaria hyperborea*; MaxEnt; Artificial algae field; Suitable scope; Ecological Niche

① Corresponding author: LIU Fuli, Email: liufl@ysfri.ac.cn