

DOI: 10.5846/stxb201711082003

孟竹剑, 夏少霞, 于秀波, 饶滴滴, 金斌松. 鄱阳湖越冬雁类食源植被适宜取食时间窗口研究. 生态学报, 2018, 38(21): - .

Meng Z J, Xia S X, Yu X B, Rao D D, Jin B S. A study on the suitable time window of feeding vegetation fit for overwintering geese in Poyang Lake. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(21): - .

鄱阳湖越冬雁类食源植被适宜取食时间窗口研究

孟竹剑^{1,4}, 夏少霞², 于秀波^{2,6,*}, 饶滴滴³, 金斌松^{1,4,5}

1 南昌大学生命科学研究院流域生态研究所和生命科学学院, 南昌 330031

2 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101

3 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022

4 南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330031

5 江西鄱阳湖湿地生态系统国家定位观测研究站, 南昌 330038

6. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 雁类是长江中下游越冬水鸟的优势种群, 以苔草 (*Carex* spp) 等湿生植被为主要食物来源。作为长江中下游仅存的通江湖泊之一, 鄱阳湖显著受到水文波动的影响, 湿地植被的生长发育与洲滩淹没和出露时间密切相关。雁类对食物资源具有高度的选择性, 建立雁类取食植被的特征和苔草生长过程之间的关系, 是刻画适宜栖息地时空分布范围, 开展雁类及其食物资源保育的关键。本研究选择鄱阳湖典型子湖泊常湖池作为研究区, 对苔草春季生长期开展了原位观测试验, 对 4 个高程梯度的苔草株高和生物量等关键生长因子进行了 12 次野外监测和采样。同时, 结合遥感影像、气温数据及实地观测记录, 确定了 4 个高程梯度洲滩的出露时间和苔草有效生长时间。在此基础上, 建立了基于 Logistic 方程的苔草株高和生物量的生长过程曲线。并根据实地观测的雁类觅食苔草的特征, 反推得到雁类适宜取食苔草的时间窗口。结果表明: 苔草株高与地上生物量显著正相关, 水文条件和气温是影响苔草生长的关键因素, 而退水时间的推迟, 会导致生长期缩短和低温限制下的有效生长时间减少, 影响雁类食物资源的分布。苔草在秋季生长期出露达到 12—28 d, 而在春季生长期出露达到 83—182 d 时适宜雁类取食。本研究提出了确定越冬雁类苔草适宜取食时间窗口的方法, 证实洲滩退水时间推迟超过 20 d, 苔草生长节律将难以匹配雁类数量峰值期觅食的需要。本研究对鄱阳湖湿地水文调控和湿地资源管理具有重要意义。

关键词: 越冬雁类; 食源植被; 生长过程曲线; 取食时间窗口; 鄱阳湖

A study on the suitable time window of feeding vegetation fit for overwintering geese in Poyang Lake

MENG Zhujian^{1,4}, XIA Shaoxia², YU Xiubo^{2,*}, RAO Didi³, JIN Binsong^{1,4,5}

1 Center for Watershed Ecology, Institute of Life Science and School of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031, China

2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 School of Geographic and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

4 Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330031, China

5 National Ecosystem Research Station of Jiangxi Poyang Lake Wetland, Nanchang 330038, China

6 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Geese are the dominant species among waterbirds overwintering along the middle and lower Yangtze River who prefer *Carex* spp as their main food source. As the largest freshwater lakes connected to the Yangtze River, the consequent

基金项目: 国家自然科学基金(41701212;41471088)

收稿日期: 2017-11-08; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuxb@ignrr.ac.cn

growth of the wetland vegetation at Poyang Lake is greatly affected by hydrological factors which may determine the exposure time of the meadow and as well as the effective growth time of wetland vegetation. However, geese are of highly selectivity of food, *Carex* spp is just suitable during a specific growing period and plant height is one of the important selection factors. Clarifying the relationship between feeding characteristics of geese and the growth process of *Carex* spp is therefore significant to determine the spatial-temporal pattern of suitable habitats for geese conservation. Taking Changhuchi Lake, a typical sub-lake of Poyang Lake National Nature Reserve, as the study area, this study undertook in-situ experiments as well as lab analysis of *Carex* spp during the spring growth season (from early March to early May), including 12 field surveys of plant height and 7 field surveys of aboveground biomass along four elevation gradients. Data extracted from remote sensing interpretation, meteorological data and field survey data were combined to identify the flood recession dates as well as the effective growth time of different elevation gradients. By incorporating Logistic equation and the feeding characteristics of geese, the time window fit for geese's feeding on vegetation was reversely deduced from growth curve model. The results showed that there was a significant positive correlation between plant height and aboveground biomass and both of them fit the Logistic growth model; hydrological regime and temperature jointly affected the growing process of *Carex* spp. Delayed flood recession will influence the vegetation pattern for geese to feed on due to the low temperature limit. When the exposure time of *Carex* spp reached 12—28 days in autumn and 83—182 days in spring, they provided an appropriate time window for geese to feed. Our study proposed a method to determine the time window of *Carex* spp fit for overwintering geese and analyzed the influencing mechanism for hydrological factors on wintering geese's food availability. It was evidenced that a 20-day delay of flood recession would cause a great mismatching between the growth patterns of *Carex* spp and the foraging requirements of wintering geese in their peak period through our field monitoring. This study is of great contribution to the hydrological regulation and management of Poyang Lake wetland.

Key Words: overwintering geese; feeding vegetation; growth curve; time window; Poyang Lake

长江中下游湿地是世界自然基金会确定的生物多样性保护的热点区域之一^[1],也是东亚-澳大利西亚迁徙路线上重要的越冬地,每年吸引约数十万只候鸟来此越冬^[2]。其中,雁鸭类是越冬水鸟中的优势类群^[3],主要以白额雁(*Anser albifrons*),小白额雁(*A. erythropus*),豆雁(*A. fabalis*)和灰雁(*A. anser*)为主^[4-5]。雁类到达越冬地时,一方面,由于经过长距离的迁徙消耗了大量能量,处于能量匮乏期,另一方面需要为春季迁徙储存充足的能量。因此,越冬期的能量和营养补充对雁类完成迁徙的种群保育至关重要^[6]。

由于能量平衡和营养的需求,植食性水鸟对取食植被具有高度的选择性,植被高度以及营养成分含量会影响水鸟对食物资源的选择^[7]。在洪泛平原湿地,受季节性水文波动的影响,植被发育与洲滩淹没和出露时间密切相关^[8]。莎草科植被苔草(*Carex* spp)是长江中下游越冬雁类的主要食物资源^[9],每年有春季和秋季两个生长期^[10]。然而并不是所有生长阶段的苔草植被均能被雁类取食。研究表明,苔草的高度、纤维素和蛋白质的含量^[11]以及“鲜绿”程度会影响雁类对取食斑块的选择^[12]。然而,这些特定的取食特征与洲滩出露时间的关系尚缺乏可考证资料。

本研究拟建立雁类取食植被的特征和苔草生长过程及退水时间的关系,从而为雁类栖息地的划分和保护提供定量的评估指标。由于株高和生物量便于观测,且与水文变化的关系更为直观^[13],同时,营养元素的含量往往与也与植被的生长阶段相关^[14],因此,本研究主要选取了株高和生物量这两个生长因子作为取食植被的特征。

本研究选取位于长江中下游的鄱阳湖国家级自然保护区的常湖池作为研究区,通过原位观测试验,辅以遥感影像、数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、气温等数据资源,结合野外观测和室内分析,揭示了苔草“春草”的生长过程,同时结合已发表文献数据,补充了对“秋草”生长过程的估算,量化洲滩出露时间与苔草株高之间的关系,确定了适宜雁类取食植被的时间窗口。本研究对评估栖息地质量,预测栖息地负载量

和制定相关保护策略具有重要意义。

1 研究区概况

鄱阳湖位于江西省北部,是我国第一大淡水湖。湖区属于亚热带湿润季风型气候,气候温暖湿润,雨量充沛,年平均降水量为 1350—2150 mm,年平均气温 16.5—17.8℃。鄱阳湖国家级自然保护区,以保护珍稀候鸟和湿地生态环境为目标,1992 年 7 月被国际重要湿地公约秘书处列为国际重要湿地。保护区辖有 9 个湖泊,面积 22400 hm²,占全湖面积的 5%,但却承载了全湖越冬候鸟总数量的 70%^[15-16]。

研究区设在鄱阳湖国家级自然保护区的常湖池(图 1),常湖池面积约 700 hm²,是季节性的浅碟形湖泊之一^[17]。常湖池面积适中,湖水较浅,从岸边到湖心方向,水位梯度较为明显,植被以莎草类群落为主,呈明显的不规则环带状分布。周边泥滩和草洲面积相对较大,是雁类在鄱阳湖的主要分布区之一^[16]。

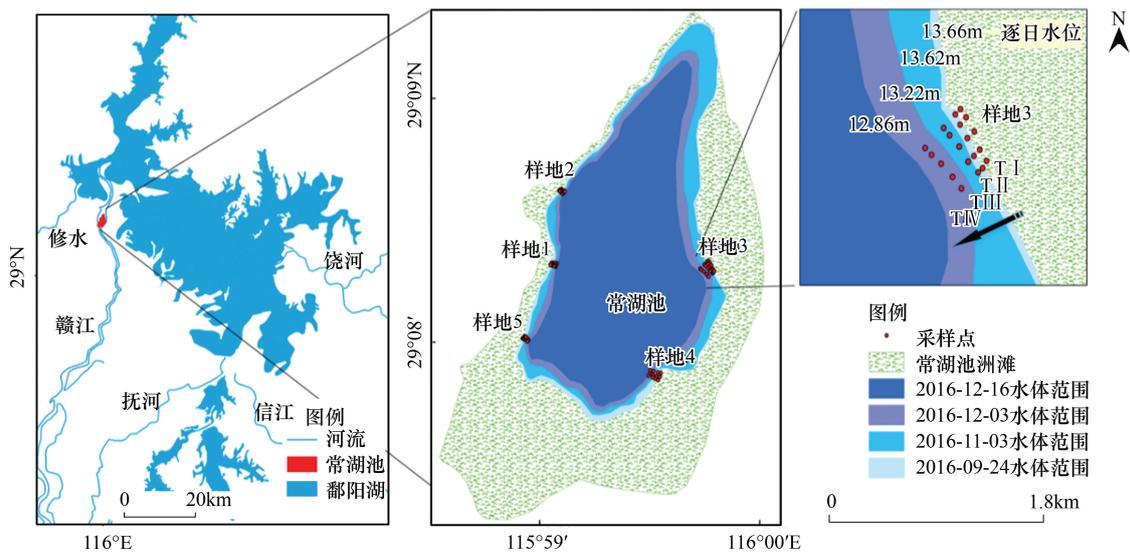


图 1 研究区示意图

Fig.1 Location of study area

图中水体范围为遥感影像解译的结果,水位为遥感影像获取时间对应的常湖池观测水位,数据来自江西省水文局

2 数据与研究方法

2.1 样品采集与处理

根据前期的实地调查,选择越冬期雁类数量较多的区域,于“春草”生长期开始前(2017 年 1 月 18 日),环湖布设 5 个原位监测样地,结合常湖池退水过程和数字高程模型,在各监测样地从岸边到湖心沿等水位线设立 4 个梯度(T I—T IV,高梯度—低梯度),每个梯度均设有 17 个平行样方,共 68 个(图 1),其中样地 1、2、4、5 每个梯度均为 3 个平行样方,样地 3 由于越冬期雁类数量较多,分布较为集中,每个梯度设置 5 个平行样方,样方规格均为 1 m×1 m。为避免雁类取食和动物践踏等外部因素干扰,样方外围设置了网罩,网目规格为 60 mm。

2017 年 3 月 8 日—2017 年 5 月 2 日,对苔草的“春季生长期”开展监测,监测时间共计 52 d。采样频度及具体监测指标见表 1。采样过程中,在每个实验样方内随机选择 10 株苔草植株,采用现场测量法测定株高。测量完成后,再在实验样方周围选择株高和盖度一致的植株,采用收割法,采集植物地上部分,取样规格为 0.25 m×0.25 m,装入信封编号后称湿重,带回实验室。将采集的样品置于烘箱,60℃烘至恒重,测定并记录植株干重、含水量。

表 1 采样时间及监测指标

Table 1 Sampling time and monitoring index

| 采样时间 Sampling date | 株高 Height | 地上生物量 Aboveground biomass | 采样时间 Sampling date | 株高 Height | 地上生物量 Aboveground biomass |
|-----------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------|
| 2017-3-8 | √ | √ | 2017-4-6 | √ | √ |
| 2017-3-11 | √ | | 2017-4-13 | √ | √ |
| 2017-3-20 | √ | √ | 2017-4-16 | √ | |
| 2017-3-26 | √ | | 2017-4-20 | √ | √ |
| 2017-3-30 | √ | √ | 2017-4-24 | √ | |
| 2017-4-3 | √ | | 2017-5-1 | √ | √ |

2.2 洲滩出露时间确定

本研究采用欧空局发布的 Sentinel-2 遥感数据 (http://www.gdal.org/frmt_sentinel2.html) 监测判定洲滩出露时间。该卫星能够提供高空间分辨率(10、20 m 和 60 m)的多光谱数据(13 个波段),其中,红外区域设置 3 个波段能更好的反映植被变化情况。与 Landsat 数据相比, Sentinel-2 遥感数据空间分辨率高、重访周期短,能满足在水体、植被信息提取及退水时间监测方面的需求^[18]。本研究选取了研究区范围内云量较少、质量较好的 8 景影像,时间从 2016 年 9 月 25 日—2017 年 4 月 22 日,根据鄱阳湖水文节律,退水期为 9 月—11 月,影像覆盖了退水期至春草生长结束期。在 eCognition 8.7 中分别对 8 景进行水边界提取,将监测样点与数字高程模型和提取的水体边界进行叠加,如样点被水体覆盖则未出露,反之,则出露。由此,得到常湖池监测样点的出露时间从高梯度到低梯度分别为 2016 年 9 月 24 日,2016 年 11 月 3 日,2016 年 12 月 3 日和 2016 年 12 月 16 日。

2.3 苔草有效生长时间确定

研究发现,苔草生长对气温比较敏感,日平均温度低于 10℃ 时,处于停滞萌发和生长状态^[19]。因此,使用该区域的逐日气温数据(数据来源于江西师范大学地理与环境学院),判别自洲滩出露后气温大于 10℃ 的天数作为苔草的有效生长时间。整个越冬期,自 11 月 20 日开始(图 2),温度降至 10℃ 以下,低温状态从 2016 年 11 月底断断续续地持续到 3 月初,持续时间为 100 d。此外,研究表明,苔草种子在(20±5)℃ 条件下,萌发(以芽尖伸出土面为发芽标准)时间需要 5 d 左右^[20],因此,在有效生长时间中,应将低温持续天数和萌发时间扣除。



图 2 逐日平均温度变化

Fig.2 The changing of daily average temperature

2.4 雁类取食植被生长特征的确定

2017 年越冬期,多次在鄱阳湖大湖池、常湖池、白沙湖等子湖泊开展雁类栖息地及取食食物资源特征调查。根据实地观测、雁类脚印、新鲜粪便等确定雁类觅食地,根据取食苔草叶片的痕迹判定是否为新鲜取食,并对该觅食地取食、未取食的植株株高进行现场测量,并记录。共计获得取食、未取食株高数据 540 个,选择被取食苔草的最高值和最低值作为雁类取食范围,即 7.5—18.7 cm(图 3)。

2.5 植被生长过程模拟及时间窗口确定

植被生长过程中,其植株的高度、生物量及营养含量(如蛋白质)等的变化曲线都近似于“S”形,即符合 Logistic 方程,因此该生态学模型被广泛用于模拟植物生物量及生长过程^[21]。本研究采用 Logistic 方程分别对苔草的株高和地上生物量的季节动态进行拟合。

$$y = \frac{k}{1 + e^{a-bx}} \quad (1)$$

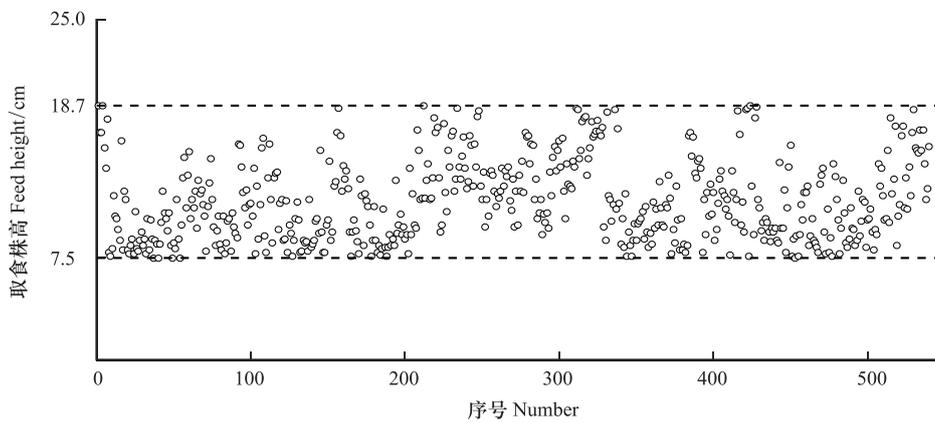


图3 基于调查数据的雁类取食苔草株高分布图

Fig.3 Height of *Carex* spp distribution after geese feed based on survey data

式中, y 是植株的株高或地上生物量; t 是有效生长天数; k 为环境容纳量最终可达的最大值; a, b 为待定系数, e 为自然对数底。

在模型参数的求算中, K 值的确定是最为重要的。目前常见的方法有目测法、三点法、四点法、均值法等^[21]。研究表明, 三点法、四点法、均值法均能达到较高的拟合精度, 其中以四点法最优^[22]。四点法即用实测序列中的 4 个数据点来估计 K 值。四点法估计 K 值的公式为:

$$K = \frac{N1 \times N4(N2 + N3) - N2 \times N3(N1 + N4)}{N1 \times N4 - N2 \times N3} \quad (2)$$

$t1+t4=t2+t3$ 。式中 $(t1, N1)$ 、 $(t4, N4)$ 分别为实测数据序列的始点、终点, $(t2, N2)$ 、 $(t3, N3)$ 则为中间两点。

由于本实验缺少了对“秋草”生长阶段的观测, 此阶段苔草生长过程采用已发表文献的数据^[18], 得到 0—61 d 的生长过程曲线(图 4), 该实验设计温度在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下, 淹水 2 cm, 实验条件符合苔草秋季生长期的实际状况。拟合方程为:

$$f(t) = 28.46 / (1 + \exp(1.779 - 0.1067 \times t)) \quad R^2 = 0.993$$

将苔草“春季生长期”株高和地上生物量指标在 Excel 2013 中进行数据预处理, 在 Matlab 中用双因素方差分析, 分析 4 个水分梯度对苔草生长过程影响的差异和不同样地间苔草生长过程的差异性, 然后在 Matlab 中分别对 4 个高程梯度的生长曲线进行拟合。

根据拟合方程, 结合雁类取食苔草的株高范围、洲滩出露时间和气温确定的有效生长天数, 对生长模型方程进行求解, 即可得到雁类取食的时间窗口。

$$\text{计算公式为: } T = [T_{\min}, T_{\max}] \quad (3)$$

$$\text{式中, } T_{\min} = t_{\min} - t_1 - t_2, T_{\max} = t_{\max} - t_1 - t_2 \quad (4)$$

$$t_{\min} = \frac{a - \ln\left(1 - \frac{k}{7.5}\right)}{b} \quad \text{和} \quad t_{\max} = \frac{a - \ln\left(1 - \frac{k}{18.7}\right)}{b} \quad (5)$$

式中, k 和 a, b 值同公式 1, 7.5 和 18.7 分别对应被取食苔草的最高值和最低值, t_1 为从出露开始, 温度低于 10°C 的天数(100 d), t_2 为萌发所需要的天数, 本研究取 5 d。

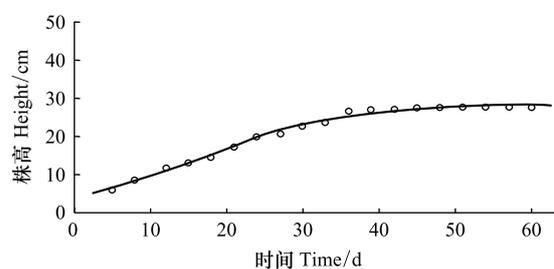


图4 秋季生长期苔草株高随时间的变化

Fig.4 Temporal variation of plant height of *Carex* spp in autumn

3 结果与分析

3.1 苔草株高和地上生物量动态变化

2017年3月份,T I、T II、T III、T IV苔草的初始测量值平均株高为((11.07±3.2) cm,(8.77±2.54) cm,(8.15±2.7) cm,(8.99±2.87) cm),地上生物量为((92.49±48.85) g/m²,(97.70±36.27) g/m²,(116.07±33.1) g/m²,(102.31±29.25) g/m²)。实验期间,苔草的平均株高和地上生物量逐渐增加。并于5月达到最大值,此时T I、T II、T III、T IV平均株高分别为((60.95±5.73) cm,(58.63±6.48) cm,(52.74±5.81) cm,(53.19±6.84) cm),地上生物量分别为((598.8±141.52) g/m²,(537.8±147.97) g/m²,(500.2±112.9) g/m²,(428.4±76.1) g/m²)。各梯度苔草平均株高($F=4.31,P<0.05$)和地上生物量($F=9.28,P<0.05$)差异性显著,样地之间苔草平均株高($F=6.4,P<0.05$)和地上生物量($F=10.62,P<0.05$)也呈现显著差异。当苔草生长达到最大值时,各梯度株高表现为T I>T II>T IV>T III,地上生物量表现为T I>T II>T III>T IV(图5)。苔草的株高和地上生物量符合 Logistic 增长模型,且拟合效果较好,相关系数值均在 0.92 以上(表 2)。

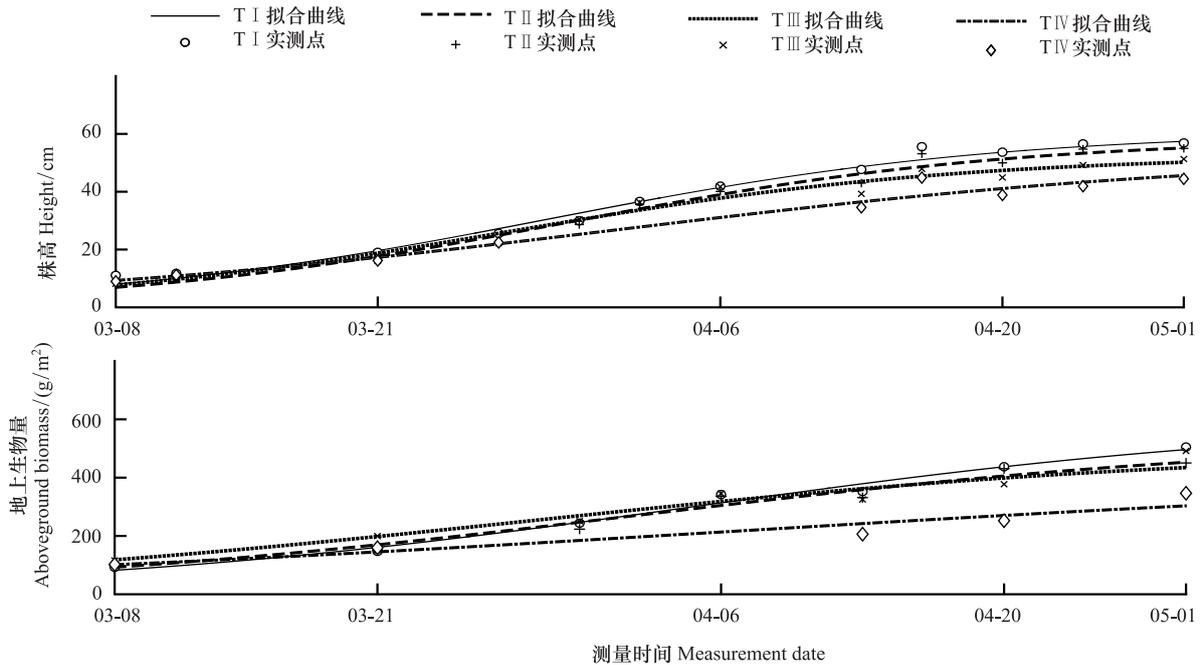


图 5 苔草株高和地上生物量春季生长过程曲线

Fig.5 The growth curve of height and aboveground biomass of *Carex* spp in spring

表 2 4 个梯度株高和地上生物量拟合方程

Table 2 Four gradient height and aboveground biomass fitting equations

| 梯度 Gradients | 指标 Index | 拟合曲线方程 Growth curve equation | 相关系数(R^2) Correlation coefficient (R^2) |
|-----------------|-------------|---|--|
| I | 株高 | $f(t) = 60.95 / (1 + \exp(1.982 - 0.08836 \times t))$ | 0.986 |
| II | 株高 | $f(t) = 58.63 / (1 + \exp(2.102 - 0.08993 \times t))$ | 0.984 |
| III | 株高 | $f(t) = 52.73 / (1 + \exp(1.845 - 0.08936 \times t))$ | 0.972 |
| IV | 株高 | $f(t) = 53.19 / (1 + \exp(1.613 - 0.06302 \times t))$ | 0.969 |
| I | 地上生物量 | $f(t) = 598.8 / (1 + \exp(1.76 - 0.06513 \times t))$ | 0.986 |
| II | 地上生物量 | $f(t) = 537.8 / (1 + \exp(1.629 - 0.0662 \times t))$ | 0.970 |
| III | 地上生物量 | $f(t) = 500.3 / (1 + \exp(1.231 - 0.06245 \times t))$ | 0.946 |
| IV | 地上生物量 | $f(t) = 428.5 / (1 + \exp(1.21 - 0.04077 \times t))$ | 0.921 |

3.2 株高与地上生物量之间的关系

对苔草的株高和地上生物量进行拟合分析(图 6),表明株高和地上生物量之间存在显著正相关($R^2 = 0.70, P < 0.01$)。

苔草株高生长与地上生物量关系及拟合方程为 $f(x) = 8.529 \times x - 14.48$

3.3 雁类取食时间窗口的确定

根据确定的各梯度的出露时间,减去该阶段停滞生长时间(100 d)和苔草从出露到萌发的时间(5 d),即为正常状态下苔草的有效生长天数。由此得到,秋季生长期,T I、T II 在出露天数达到 12 d 时适宜雁类取食,出露时间超过 28 d 后,不适宜雁类取食,T III、T IV 在秋季生长期出露后处于低温状态,无法萌发。在春季生长期,T I、T II、T III、T IV 在出露天数分别达到 169—182、131—144、99—112、83—102 d 时适宜雁类取食(图 7 和表 3)。

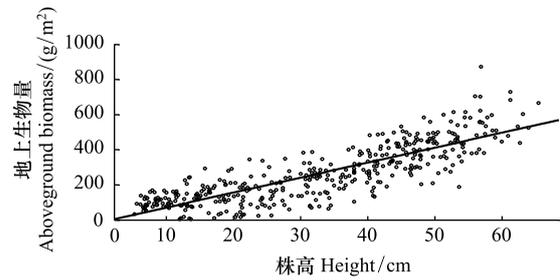


图 6 苔草的株高和地上生物量的关系

Fig.6 The fitting curve of *Carex* spp relationship between height growth and aboveground biomass

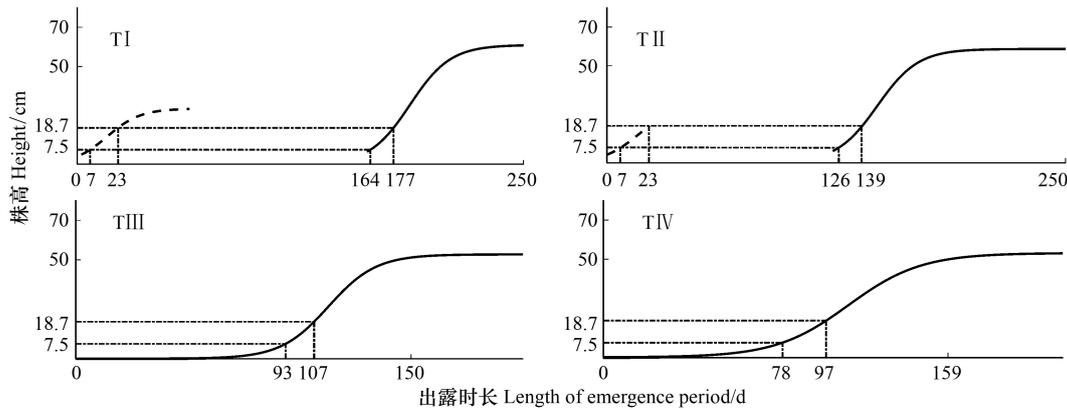


图 7 越冬雁类适宜取食草洲的时间窗口

Fig.7 The suitable time window for overwintering geese to feed on

表 3 各梯度植被生长曲线方程及有效生长天数

Table 3 The growth curve equation and effective growth time of every elevation gradient

| 梯度 Gradients | 生长曲线方程 Growth curve equation | 生长时间 Growth time/d | 停滞生长时间 Stagnant growth time/d | 萌发时间 Germination time/d | 有效生长时间 Effective growth time/d |
|-----------------|---|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| I | $f(t) = 28.46 / (1 + \exp(1.779 - 0.1067 \times t))$ $t < 61$ | 218 | 100 | 5 | 113 |
| | 低于有效温度,停滞生长 $61 \leq t \leq 161$ | | | | |
| II | $f(t) = 60.95 / (1 + \exp(16.47 - 0.08836 \times t))$ $t > 161$ | 175 | 100 | 5 | 78 |
| | 低于有效温度,停滞生长 $17 \leq t \leq 118$ | | | | |
| III | $f(t) = 58.63 / (1 + \exp(13.25 - 0.08993 \times t))$ $x > 118$ | 127 | 61 | 5 | 61 |
| IV | $f(t) = 53.19 / (1 + \exp(6.718 - 0.06302 \times t))$ | 121 | 55 | 5 | 61 |

4 讨论

4.1 洲滩出露时间对苔草生长过程的影响机制

对雁类而言,植株高度、纤维素和蛋白质的含量^[11]以及“鲜绿”程度是影响其取食的重要因素^[12]。其中,

植株高度是影响植食性鸟类的啄食速率^[23],限制其食物的可利用性的关键指标^[24]。此外,随着植被高度及生物量逐渐增加,纤维和木质素含量也随之增加,而可消化能量的含量反而降低^[25]。而植被的氮浓度^[26]、易消化有机物及磷素^[27]等与植被生物量等生长特征也密切相关。因此,株高和生物量指标不仅能直观反映植物生长状况,也能一定程度上反映植被营养状况,指示植食性生物的食物资源偏好特征。

研究发现苔草株高和地上生物量的生长均为 Logistic 增长模型,拟合效果较好,并且二者呈显著正相关,而利用 Logistic 方程拟合苔草株高的生长曲线优于地上生物量的拟合效果(图 5)。这可能与生长过程中一些器官枯死凋落、营养物质溶失及向地下根系转移,致使地上生物量逐渐下降有关^[28]。此外,野外原位实验中,自然环境因子难以控制,也会对植株生长过程造成一定影响。

影响湿地植被生长最主要的因子为温度和水分条件。温度影响植被的萌发和生长速率^[29]而温度低于植物生长所需有效积温时,植物停滞生长^[30-32]。而水位梯度也是导致植株生长曲线差异的原因。水深及淹水时长不仅影响植被生物量的形成^[33],还会影响地上和地下生物量的分配^[34-35]。而在放水过程中,不同高程梯度样地的地下水位从高梯度到低梯度的逐渐下降,这种变化导致土壤等生长环境及植物的生物量分配产生差异^[36]。不同高程洲滩由于出露时间的差异,导致水分梯度以及萌发和生长阶段的有效积温产生差异,从而对生长曲线产生影响。本研究在生长曲线的拟合中,考虑了温度和退水时间对生长的影响,能更准确刻画鄱阳湖湿生植被生长过程。此外,不同样地之间苔草株高和地上生物量之间的差异,可能是由于土壤基质等因素造成的。研究期间,赣江上游降雨量突增,导致水位升高,江水倒灌,使得 TⅢ、TⅣ被水淹没。退水后,部分淹水植株叶缘发黄受损,致使株高、地上生物量降低,对其生长过程曲线有一定影响。

4.2 退水时间的差异与雁类对食物资源的利用

本实验中,TⅠ样地最早出露,时间为 9 月下旬,按照生长曲线确定的窗口期,在雁类到达鄱阳湖(10 月上旬)时,该样地苔草处于适宜取食的阶段(图 7 和表 3)。而 TⅡ在 11 月 3 日出露萌发,并且在低温到来前,该梯度苔草仍处于适宜雁类取食区间范围内,由于该梯度面积较大,因此,在整个越冬期,TⅡ都作为雁类主要的潜在觅食地。调查发现,低温到来之后,该样地雁类的取食痕迹特别明显,几乎将整片草洲尽数啃食(图 8)。同时,根据本研究,若推迟退水时间达到 20 d,即本研究中的 TⅢ、TⅣ,尽管在 12 月相继出露,然而,此时受低温的限制,苔草种子无法萌发,仍埋在土壤中,无法满足雁类在越冬季(12 月至次年 2 月)的取食需求。本研究与鄱阳湖湿地植物的生长发育过程研究结果一致^[37-38],表明退水时间的差异对雁类可取食食物资源有影响。相关研究也认为,过早或推迟退水时间均会影响苔草生长,无法满足雁类的取食需求,导致食物资源短缺^[10]。而对雁类越冬行为的观测表明,其在秋季积累能量,冬季消耗能量^[39],当觅食地的食物供给无法满足其需求时,雁类会转向觅食低密度、低植株高度和低生物量的植被或其他食源植物^[40-41]。因此,合理调控子湖泊放水过程,确保植被生长区间与雁类迁徙节律的匹配性,将有利于保护雁类种群维持^[42]。本研究对雁类取食植被株高和地上生物量因子展开研究,食源植被的营养供给也是植食性雁类选择栖息地的重要因素,需要进一步对雁类栖息地进行更深入的研究,为雁类和其他水鸟的保护提高基础研究支撑。



图 8 雁类取食痕迹(拍摄于 2016 年 12 月 8 日)

Fig.8 The feeding trail for overwintering geese (Picture was taken in 8th December, 2016)

5 结论

苔草生长符合 Logistic 增长曲线,且株高因子的拟合效果更好。株高与地上生物量显著性相关,这表明采用株高可用于预测苔草地上生物量动态。不同梯度苔草生长曲线的差异由水位梯度和气温因素共同决定的,结合雁类取食的特征,秋季生长期苔草适宜雁类取食的时间窗口为 12—28 d;而春季生长期,时间窗口则为 83—182 d。这意味着在 9 月下旬出露的洲滩,将于 10 月中下旬达到雁类取食的时间窗口,这些洲滩苔草的生长节律与雁类到达的时间匹配。而推迟退水时间,将由于低温限制,导致苔草的有效生长积温减少,延长苔草到达适宜雁类取食窗口的时间。而从 11 月中旬开始,气温趋于 10℃ 以下,因此,推迟退水时间 20 d,将使苔草到达适宜雁类取食时间窗口的时间延长 3 个月以上,难以满足 12 月、1 月雁类到达觅食高峰期的需求。本研究对鄱阳湖湿地水文调控和湿地资源管理具有重要意义。

致谢:感谢江西师范大学提供数据方面的支持,感谢刘宇、张欢、张广帅、段后浪在论文修改完善过程中的建议。

参考文献 (References):

- [1] 赵淑清,方精云,雷光春. 全球 200:确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法. 生物多样性, 2000, 8(4): 435-440.
- [2] 马克·巴特,雷刚,曹垒. 长江中下游水鸟调查报告:2005 年 2 月. 济南:中国林业出版社, 2006.
- [3] Cao L, Barter M, Lei G. New Anatidae population estimates for eastern China; implications for current flyway estimates. *Biological Conservation*, 2008, 141(9): 2301-2309.
- [4] Cong P H, Wang X, Cao L, Fox A D. Within-winter shifts in lesser white-fronted goose *Anser erythropus* distribution at East Dongting Lake, China. *Ardea Wageningen*, 2012, 100(1): 5-11.
- [5] Zhao M J, Cong P H, Barter M, Fox A D, Cao L. The changing abundance and distribution of Greater White-fronted Geese *Anser albifrons* in the Yangtze River floodplain: impacts of recent hydrological changes. *Bird Conservation International*, 2012, 22(2): 135-143.
- [6] Stafford J D, Janke A K, Anteau M J, Pearse A T, Fox A D, Elmsberg J, Straub J N, Eichholtz M W, Arzel C. Spring migration of waterfowl in the northern hemisphere: a conservation perspective. *Wildfowl*, 2014, 4: 70-85.
- [7] Owen M. The selection of winter food by whiterfronted geese. *Journal of Applied Ecology*, 1976, 13(3): 715-729.
- [8] 胡振鹏,葛刚,刘成林,陈伏生,李述. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.
- [9] Fox A D, Cao L, Barter M, Rees E C, Hearn R D, Cong P H, Wang X, Zhang Y, Dou S T, Shao X F. The functional use of East Dongting Lake, China, by wintering geese. *Wildfowl*, 2008, 58: 3-19.
- [10] Guan L, Wen L, Feng D D, Zhang H, Lei G C. Delayed flood recession in central Yangtze floodplains can cause significant food shortages for wintering geese: results of inundation experiment. *Environmental Management*, 2014, 54(6): 1331-1341.
- [11] Wang X, Fox A D, Zhuang X L, Cao L, Meng F J, Cong P H. Shifting to an energy-poor diet for nitrogen? Not the case for wintering herbivorous Lesser White-fronted Geese in China. *Journal of Ornithology*, 2014, 155(3): 707-712.
- [12] Guan L, Lei J L, Zuo A J, Zhang H, Lei G C, Wen L. Optimizing the timing of water level recession for conservation of wintering geese in Dongting Lake, China. *Ecological Engineering*, 2016, 88: 90-98.
- [13] 鲁剑巍,邹娟,周世利,蒋细旺,丛红霞,徐艳丽. 施磷对越冬期高羊茅生长、养分吸收及抗寒性的影响. 草地学报, 2008, 16(5): 436-441.
- [14] 吴良,赵运林,张梅清,徐正刚,何锐,王双业,郭志萍. 洞庭湖短尖苔草不同部位营养成分含量分析. 现代农业科技, 2016(3): 305-307.
- [15] 吴英豪,纪伟涛. 江西鄱阳湖国家级自然保护区研究. 北京:中国林业出版社, 2002.
- [16] 李凤山,刘观华,吴建东. 鄱阳湖湿地和水鸟的生态研究. 北京:科学普及出版社, 2011
- [17] 胡振鹏,张祖芳,刘以珍,纪伟涛,葛刚. 碟形湖在鄱阳湖湿地生态系统的作用和意义. 江西水利科技, 2015, 41(5): 317-323.
- [18] 郑阳,吴炳方,张森. Sentinel-2 数据的冬小麦地上干生物量估算及评价. 遥感学报, 2017, 21(2): 318-328.
- [19] 吉文丽,李卫忠,王成吉,辛转霞,张文婷. 苔草属植物种子休眠与萌发研究现状. 草原与草坪, 2009 29(2): 98-102.
- [20] 杨阳,曹响,张素娟. 水分条件对灰化苔草根茎萌发及幼苗生长的影响. 生态与农村环境学报, 2015, 31(2): 180-187.
- [21] 张彩琴,杨持. 内蒙古典型草原生长季内不同植物生长动态的模拟. 生态学报, 2007, 27(9): 3618-3629.

- [22] 殷祚云. Logistic 曲线拟合方法研究. 数理统计与管理, 2002, 21(1): 41-46.
- [23] Durant D, Fritz H, Blais S, Duncan P. The functional response in three species of herbivorous Anatidae: effects of sward height, body mass and bill size. *Journal of Animal Ecology*, 2003, 72(2): 220-231.
- [24] DesRochers D W, McWilliams S R, Silbernagle M D, Reed J M. Macronutrient profiles of wetland plants consumed by the Hawaiian Moorhen (*Gallinula chloropus sandvicensis*). *Wetlands*, 2009, 29(3): 845-853.
- [25] Wilmshurst J F, Fryxell J M, Hudson R J. Forage quality and patch choice by wapiti (*Cervus elaphus*). *Behavioral Ecology*, 1995, 6(2): 209-217.
- [26] Doiron M, Legagneux P, Gauthier G, Lévesque E. Broad-scale satellite Normalized Difference Vegetation Index data predict plant biomass and peak date of nitrogen concentration in Arctic tundra vegetation. *Applied Vegetation Science*, 2013, 16(2): 343-351.
- [27] Showers S E, Tolleson D R, Stuth J W, Kroll J C, Koerth B H. Predicting diet quality of white-tailed deer via NIRS fecal profiling. *Rangeland Ecology & Management*, 2006, 59(3): 300-307.
- [28] 何池全. 三江平原毛果苔草湿地生物过程——I. 种群地上生物量的增长规律. *中国草地*, 2001, 23(4): 11-16.
- [29] 蒲继延, 李英年, 赵亮, 杨时海. 矮高草草甸生物量季节动态及其与气候因子的关系. *草地学报*, 2005, 13(3): 238-241.
- [30] 刘文宝. 积温对作物的影响. *吉林农业*, 2000(12): 11-11.
- [31] 罗弦, 潘远智, 杨学军, 武菊英, 滕文军, 范俊岗. 低温层积处理对 4 种苔草种子休眠与萌发的影响. *草业学报*, 2010, 19(3): 117-123.
- [32] 邢军会, 李小钉, 倪红伟. 温度对毛果苔草种子萌发的影响. *国土与自然资源研究*, 2011, (3): 91-91.
- [33] 王秋林, 陈静蕊, 程平生. 湿地植物灰化苔草对淹水的生态响应. *水生态学杂志*, 2017, 38(1): 24-29.
- [34] Miller R C, Zedler J B. Responses of native and invasive wetland plants to hydroperiod and water depth. *Plant Ecology*, 2003, 167(1): 57-69.
- [35] 曹昀, 郑祥, 杨阳, 陈冰祥, 国志昌, 吴海英. 淹水对灰化苔草幼苗生长及抗氧化酶活性的影响. *生态学杂志*, 2016, 35(12): 3273-3278.
- [36] 王丽, 胡金明, 宋长春, 杨涛. 水分梯度对三江平原典型湿地植物小叶章地上生物量的影响. *草业学报*, 2008, 17(4): 19-25.
- [37] 雷平. 鄱阳湖湿地不同功能群植物的生长发育过程及其对长期水淹的响应[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- [38] 于旭光, 鲁顺保, 江玉梅, 张志斌, 朱笃. 鄱阳湖南矶山湿地灰化苔草季节生长动态研究. *井冈山大学学报: 自然科学版*, 2010, 31(5): 129-132.
- [39] Wang X, Zhang Y, Zhao M J, Cao L, Fox A D. The benefits of being big: effects of body size on energy budgets of three wintering goose species grazing *Carex* beds in the Yangtze River floodplain, China. *Journal of ornithology*, 2013, 154(4): 1095-1103.
- [40] Owen M. Cutting and fertilizing grassland for winter goose management. *Journal of Wildlife Management*, 1975, 39(1): 163-167.
- [41] Vickery J, Gill J. Managing grassland for wild geese in Britain: a review. *Biological Conservation*, 1999, 89(1): 93-106.
- [42] Xia S X, Liu Y, Chen B, Jia Y F, Zhang H, Liu G H, Yu X B. Effect of water level fluctuations on wintering goose abundance in Poyang Lake wetlands of China. *Chinese Geographical Science*, 2017, 26(2): 248-258.