

Study on the Relationship between Aboveground Parts and Underground Corms of *Scirpus planiculmis**

Qiang Liu¹, Shurong Hui^{2#}, Hui Liu³, Bo Liu²

¹College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang

²College of Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang

³Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen

Email: liuqlh@sina.com, #hsrliuhui@yahoo.com.cn

Received: Jul. 16th, 2013; revised: Aug. 17th, 2013; accepted: Aug. 25th, 2013

Copyright © 2013 Qiang Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Qiang Liu et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Objective: The relationship between the growth of aboveground parts (APs) and underground corms (UCs) of *Scirpus planiculmis* was studied to provide a scientific basis for the wetland restoration and white crane protection work. **Method:** *Scirpus planiculmis* was randomly selected at the research plots during their mature stage with the height and density of the APs and the dry weight of the UCs measured. **Results:** The relationship between the growth of APs and UCs of *Scirpus planiculmis* was simulated. **Conclusion:** Results show that the growth of APs and UCs was fluctuated, which is due to the different flow direction of the nutrition in *Scirpus planiculmis* at different times. Moreover, the model can effectively describe the dynamic relation between the growth of APs and UCs and can provide reference for the growth regulation of *Scirpus planiculmis*.

Keywords: *Scirpus planiculmis*; Growth; Corms; Momoge Wetland

扁秆藨草地上部分与地下球茎生长的关系研究*

刘 强¹, 惠淑荣^{2#}, 刘 惠³, 刘 波²

¹沈阳农业大学信息与电气工程学院, 沈阳

²沈阳农业大学理学院, 沈阳

³北京大学深圳研究生院, 深圳

Email: liuqlh@sina.com, #hsrliuhui@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013年7月16日; 修回日期: 2013年8月17日; 录用日期: 2013年8月25日

摘 要: 目的: 通过对扁秆藨草地上部分与地下球茎生长的关系研究, 为湿地恢复和白鹤保护工作提供科学依据。 **方法:** 在扁秆藨草生长的成熟期, 在研究样地内随机选取扁秆藨草, 测其地上部分高度, 密度及地下球茎干重等。 **结果:** 模拟出扁秆藨草地上部分与地下球茎生长的关系。 **结论:** 模拟结果和图像显示, 扁秆藨草地上部分和地下球茎的增长会出现起伏, 这是由于扁秆藨草在不同时期自身的营养流向不同所造成的; 模型能够有效的描绘扁秆藨草地上部分与地下球茎生长的动态关系, 对扁秆藨草生长的调节提供科学的依据。

关键词: 扁秆藨草; 生长; 球茎; 莫莫格湿地

*基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(20102201)。

#通讯作者。

1. 引言

松嫩平原上的向海、莫莫格、扎龙、科尔沁等自然保护区是白鹤(*Grus leucogeranus*)春秋季节南北往返迁徙路线上的必经中转地,其中在莫莫格国家级湿地自然保护区停留时间最长,达30~40 d;数量最多,种群数量稳定在1000只左右,约占世界白鹤种群的20%,居世界各迁徙地之首,成为全球环境基金会(GEF)在我国选定的5个“白鹤全球保护项目”实施地之一^[1-3]。通过实地考察和对白鹤排泄物等的分析,发现白鹤主要以扁秆藨草(*Scirpus planiculmis*)等植物的地下球茎为食,而作为其主要食源植物的扁秆藨草的生境在近年也随之遭到了破坏,并使得白鹤在该地区的停歇地和食物有逐年递减的趋势,威胁到白鹤在此地的生存。因此,对扁秆藨草地上部分与地下球茎生长的动态关系研究,在湿地恢复和白鹤保护工作中有重要的意义。

2. 材料与方法

2.1. 研究地区概况

莫莫格湿地位于吉林省白城市镇赉县东部,面积14.4万 hm^2 ,占镇赉县幅员面积的26%。其地理坐标为北纬 $45^{\circ}45' \sim 46^{\circ}10'$,东经 $122^{\circ}27' \sim 124^{\circ}4'$;年均温 4.4°C ,年均降水量412 mm,无霜期135 d,相对湿度59%,年蒸发量1553 mm,属温带大陆性气候^[3]。

2.2. 试验方法与设计

在扁秆藨草生长的成熟期,在研究样地内,随机选取扁秆藨草生长茂盛的 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方5个,地上部分分别进行齐地切割,现场记录扁秆藨草的高度,密度及生长状况等,再将地下15 cm以内的球茎全部挖出;在实验室洗净、烘干后,分别计算出其干重,再求其平均值。

3. 建模依据

通过调查,得到扁秆藨草地上部分与地下球茎的生长情况。

3.1. 扁秆藨草地上部分的生长情况

从图1可以看出:扁秆藨草的原生、次生、新生球茎所发育形成的地上部分都是在不断增长的,且增

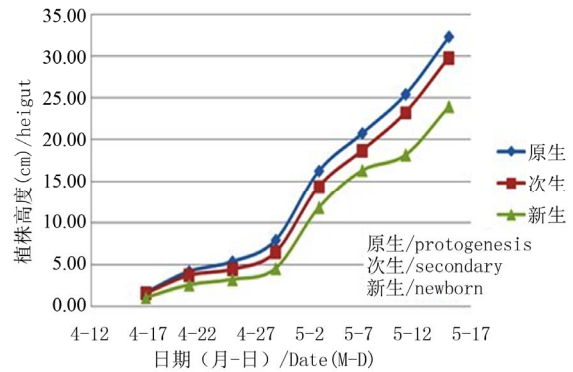


Figure 1. The growth curve of *Scirpus planiculmis* reproduced by different corms

图1. 各类型球茎培育扁秆藨草生长曲线

长速度的变化趋势较为一致,成“S”型曲线生长。从图2观察到:对于不同时期,扁秆藨草地上部分的平均生长量有所差异,曲线明显呈现出了“两峰两谷”的特点;从此处可以推断:在不同时期,植株内部的生长趋向也是不同的。已有研究指出扁秆藨草自身的营养流向在不同时期有所差异,如盛花期后,营养大量供给种子灌浆,所以营养繁殖数量大幅度下降。现在看来,这种协调关系不仅存在与生殖期,而是在萌发后不久就有所表现,并有可能在扁秆藨草的生命周期中存在很长时间。

3.2. 扁秆藨草地下球茎的生长情况

从图3可以发现:扁秆藨草地下球茎的整体生长趋势成“S”型生长,但是生长初期其生物量有一定量的减少;这一现象可能是由于扁秆藨草生长初期地下球茎对地上部分的营养供给造成的。

4. 模型的建立与分析

根据扁秆藨草生长周期中地上部分和地下球茎的这种在营养物质上相互供应的关系,建立其相应的数学模型。

4.1. 动态模型

根据植物生长原理可知,扁秆藨草的地上生长曲线应按着logistic方程^[4]规律生长,而地下球茎需要为地上部分提供一定的营养物质来协助其生长发育。所以,地上部分的生物量演变规律为:

$$X_{\text{地上}}(t) = r_{\text{地上}} X_{\text{地上}} \left(1 - \frac{X_{\text{地上}}}{N_{\text{地上}}} + a_1 \frac{X_{\text{地下}}}{N_{\text{地下}}} \right) \quad (1)$$

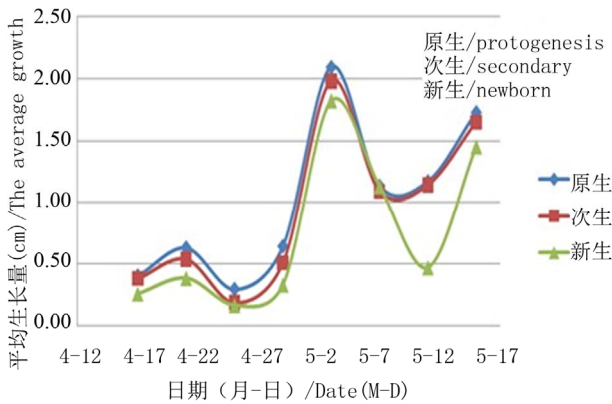


Figure 2. Average growth curve of *Scirpus planiculmis* reproduced by different corms
图 2. 各类型球茎培育蔗草平均生长量变化曲线

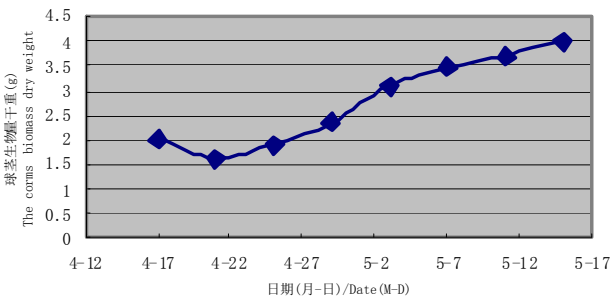


Figure 3. The growth curve about underground corms of *Scirpus planiculmis*
图 3. 扁秆蔗草地下球茎生长曲线

$X_{地上}(t)$ 表示扁秆蔗草地上部分在时刻 t 时的生物量, $r_{地上}$ 表示地上部分的固有增长率, $N_{地上}$ 表示单位面积内环境资源允许的最大生物量; a_1 表示单位数量的地下球茎提供的供养地上部分的营养为单位数量地上部分消耗的供养地上部分营养的 a_1 倍。

扁秆蔗草地下球茎的生长一方面依赖土壤养分的供给, 另一方面依靠地上部分的营养反馈; 如果扁秆蔗草受到外界的干扰, 使其地上部分无法为地下球茎提供养分, 地下球茎生长所需的养分仅依靠土壤来供应, 其扰动损失率为 $r_{地下}$, 那么:

$$X_{地下}(t) = -r_{地下}x_{地下} \quad (2)$$

由于地上部分是地下球茎的主要供养源, 于是(2)式的右端就应该加上地上部分对地下球茎的营养供给, 有

$$X_{地下}(t) = r_{地下}x_{地下} \left(-1 + a_2 \frac{x_{地上}}{N_{地上}} \right) \quad (3)$$

a_2 表示扁秆蔗草的地上部分要为地下球茎提供

充足的营养来维持其生长, 显然只有当 $a_2 \frac{x_{地上}}{N_{地上}} > 1$

时, 地下球茎才会生长, 而与此同时, 地下球茎的生长也会受到自身的阻滞作用, 所以, (3)式右端还要添加 logistic 项, 方程变为:

$$X_{地下}(t) = r_{地下}x_{地下} \left(-1 + a_2 \frac{x_{地上}}{N_{地上}} - \frac{x_{地下}}{N_{地下}} \right) \quad (4)$$

这样, 方程(1)、(4)就构成了扁秆蔗草地上部分和地下球茎生长的动态模型。

4.2. 模型的平衡点和稳定性分析

$t \rightarrow \infty$ 时, $X_{地上}(t)$ 、 $X_{地下}(t)$ 的趋向, 需对其平衡点进行稳定性分析^[5](表 1)。

根据方程(1)、(4)解方程组

$$\begin{cases} f(x_{地上}, x_{地下}) = r_{地上}x_{地上} \left(1 - \frac{x_{地上}}{N_{地上}} + a_1 \frac{x_{地下}}{N_{地下}} \right) = 0 \\ g(x_{地上}, x_{地下}) = r_{地下}x_{地下} \left(-1 - \frac{x_{地下}}{N_{地下}} + a_2 \frac{x_{地上}}{N_{地上}} \right) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

得到 3 个平衡点:

$$P_1(N_{地上}, 0)$$

$$P_2 \left(N_{地上} \frac{(1-a_1)}{(1-a_1a_2)}, N_{地下} \frac{(a_2-1)}{(1-a_1a_2)} \right)$$

$$P_3(0, 0)$$

因为只有当平衡点位于平面坐标系的第一象限时 ($x_{地上}, x_{地下} \geq 0$) 才有实际意义, 显然, P_2 的稳定才能表明地上部分和地下球茎相互依存生长, 而对于 P_2 而言, 要求其必须满足下面两条件之一:

$$A_1: a_1 < 1, a_2 > 1, a_1a_2 < 1, \quad A_2: a_1 > 1, a_2 < 1, a_1a_2 > 1$$

前面分析了 P_2 的稳定条件, 由表 1 中的 p 、 q 可知, 只有在 A_1 条件下 P_2 才是稳定的。由于 A_1 的关键部分是 $a_2 > 1$, 而 $a_1a_2 < 1$ 则是在 $a_2 > 1$ 的条件下为使 P_2 位于平面第一象限所需的条件, 这就要求 a_1 比较小 ($a_1 < 1$ 是必要条件), 所以 A_1 可以解释为: 植株生长所需的能量主要是地上部分进行光合作用将光能转化为植物内在的化学能实现的, 转化的能供给植物地上部分和地下球茎的生长需要, 另一方面多出的能量还可以被扁秆蔗草的地下球茎储存起来, 而研究样地土

Table 1. The balance point and stability of the model
表 1. 模型的平衡点和稳定性

平衡点 Equilibrium point	p	q	稳定条件 Stability condition
$P_1(N_{\text{地上}}, 0)$	$r_{\text{地上}} - r_{\text{地下}}(a_2 - 1)$	$-r_{\text{地上}}r_{\text{地下}}(a_2 - 1)$	$a_2 < 1, a_1 a_2 < 1$
$P_2\left(N_{\text{地上}} \frac{(1-a_1)}{(1-a_1 a_2)}, N_{\text{地下}} \frac{(a_2-1)}{(1-a_1 a_2)}\right)$	$\frac{[r_{\text{地上}}(1-a_1) + r_{\text{地下}}(a_2-1)]}{(1-a_1 a_2)}$	$r_{\text{地上}}r_{\text{地下}} \frac{(1-a_1)(a_2-1)}{(1-a_1 a_2)}$	$a_1 < 1, a_2 > 1, a_1 a_2 < 1$
$P_3(0, 0)$	$-r_{\text{地上}} + r_{\text{地下}}$	$-r_{\text{地上}}r_{\text{地下}}$	不稳定 instability

壤盐碱化比较严重，所含营养成分不足，主要以供给植株生长所需的水分为主，所以，地下球茎从土壤中吸取的营养很少，相对于地上部分的供给就比较少，只有在生理的特殊阶段或者特殊的环境条件下才需要地下球茎的大量供给。

4.3. 参数的确定

1) 对于 $N_{\text{地上}}$ 和 $N_{\text{地下}}$ 的确定

在扁秆蔗生长的成熟期，在研究样地内，随机选取扁秆蔗生长茂盛的 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方 5 个，地上部分分别进行齐地切割，再将地下 15 cm 以内的球茎全部挖出；在实验室洗净、烘干后，分别计算出其干重，再求其平均值，即 $N_{\text{地下}} = 85\text{ g/m}^2$ ， $N_{\text{地上}} = 90\text{ g/m}^2$ 。

2) 对于 $r_{\text{地上}}$ 和 $r_{\text{地下}}$ 的确定

由于 $r_{\text{地上}}$ 和 $r_{\text{地下}}$ 均为植被的内在属性，所以可以用 logistic 曲线来确定，即： $\frac{dX}{dt} = rX\left(1 - \frac{X}{N}\right)$ 。

由该方程推出 $\ln\left[\frac{X}{N-X}\right] = rt + c$ ；从而分别对

$\ln\left[\frac{X_{\text{地上}}}{N_{\text{地上}} - X_{\text{地上}}}\right]$ 和 t 及 $\ln\left[\frac{X_{\text{地下}}}{N_{\text{地下}} - X_{\text{地下}}}\right]$ 和 t 做回归分析，算出 $r_{\text{地下}} = 0.3$ ， $r_{\text{地上}} = 0.5$ 。

3) 对于 a_1 和 a_2 的确定

由于地上部分与地下球茎的营养流动是一个十分复杂的生理过程，需要长期的实验跟踪观测，在这里我们只对 a_1 和 a_2 进行估测， $a_1 = 0.3$ ， $a_2 = 1.8$ 。

4.4. 计算机动态模拟图像

从模拟图 4 中我们可以看到，在生长初期，扁秆蔗地下球茎的生物量迅速下降，而地上部分生长较快，这是由于在这一时期，地下球茎需要为地上部分的生长提供大量的营养物质，但其本身并没有从土壤中吸收养分；当地下球茎的生物量降低到最低点后，开始较快生长，而地上部分的生长又相对缓慢下来，

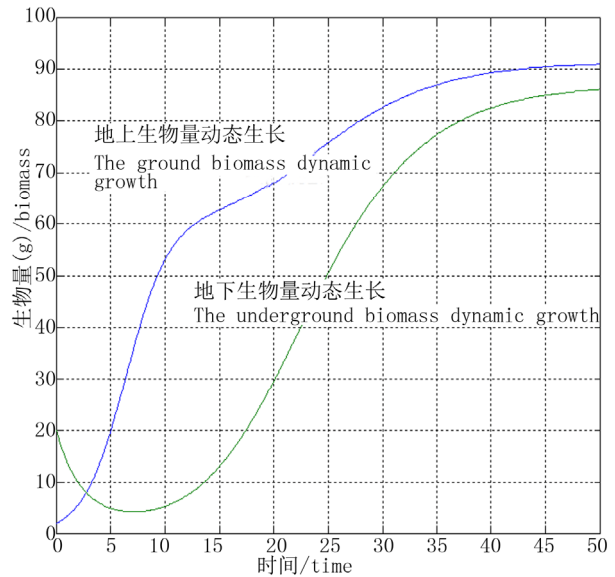


Figure 4. The dynamic model of the growth on aboveground parts and underground corms of *Scirpus planiculmis*
图 4. 扁秆蔗草地上部分与地下球茎生长的动态模型

达到一个较为平稳的生长阶段；此后地上部分和地下球茎有一段同时较快生长的时期(这一时期的两者营养分配需进一步研究)，最后两者生长达到成熟(注：由于 a_1 和 a_2 的取值不同可能会有不同的模拟结果)。

5. 结论与讨论

1) 新建模型的地上部分和地下球茎的生长情况与其实际生长曲线的趋势几乎是一样的，所以，可以确定新建模型的可靠性。并且从新建模型的动态模拟图 4 中我们可以看到：生长初期，地上部分的营养供给主要依靠地下球茎中储存的营养物质，此时地下球茎并没有从土壤中吸取养分(吻合了图 2 中扁秆蔗发育初期的生长波动和图 3 中的地下球茎生物量有所下降的情况)；地下球茎营养供给。

到一定阶段，地上部分开始缓慢生长，地上部分的营养开始流向到地下球茎，而地下球茎也会从土壤中获取一部分营养，使其迅速生长；继续生长营养又

会反馈到地上一部分,造成地上和地下同时较快的生长(地下球茎的生长相对快一些);最后,当到达成熟阶段的时期,两者达到了平稳生长阶段。由于这种营养流动方式,就可以用人工诱导的方法,调配地上和地下部分的生物量,抑制或促进某部分的生长。这不仅可用于扁秆蔗草的人工繁殖,也可为农田间的杂草防除工作提供新的思考方向。

2) 新建的模型还是不能够完全表现出扁秆蔗草地上与地下营养流动的全过程,比如说前面实验所监测出的地上部分表现出的“两峰两谷”的特点,在这个图像中就表现的不是很明显,这可能是由于 a_1 、 a_2 取值或者其他原因造成的,这就需要我们以后对扁秆

蔗草的营养流动阶段和时期做进一步研究,并且对于模型作进一步的改善。

参考文献 (References)

- [1] 张艳红, 邓伟, 刘兆礼, 等 (2003) 向海自然保护区鹤类生境优化的水量调控. *东北林业大学学报*, **2**, 28-30.
- [2] 赵红艳 (2004) 近 10 年来松嫩平原湿地研究的回顾与展望. *湿地科学*, **3**, 233-240.
- [3] 王 宝, 姜维军 (2004) 莫莫格湿地面临的困境及其解决途径探讨. *吉林林业科技*, **33**, 29-31.
- [4] 龚军辉 (2008) Logistic 方程的推导及其生物学意义. *高等函授学报(自然科学版)*, **1**, 48-51.
- [5] 曲颖, 李自珍, 李文龙, 等 (2004) 湿地植物生长模型的改进及其动态的计算机模拟分析. *西北植物学报*, **3**, 418-423.