

荷叶形态各异之缘由

(北京大学 朱星 摘译自 Peter Weiss. *Physics*, January 24, 2020)

一种新的理论可以准确地预言许多叶片形状,并且解释了浮于水面的荷叶与伸出水面的荷叶形状的差异。

在亚洲许多池塘里,可以看到一些荷叶平坦地浮在水面上,边缘上有褶皱。而旁边生长在水面以上相同物种的荷叶呈杯状,边缘则是宽松的波浪形。最近,关于叶状薄膜的理论和实验结果表明,同属一种基因的叶片可能长成明显不同的形状,原因是由于力学效应,比如水对漂浮于水面叶片的支撑作用。研究人员将他们研究薄弹性膜的生长理论用于以前没有从力学角度理解的荷叶等植物的形状。结果表明,力学效应与基因和生物化学作用共同决定了叶片的形状。

对研究人员来说,模拟植物或者动物构型是个重要的挑战,这是因为它们的结构形变很难用数学模型来描述。25年以前,有人提出一个数学框架,用来描述软组织生长。新细胞的增生是与现有组织的拉伸和移位密切相连的。2008年,法国物理学家采用了弹性膜理论,解释了某些藻类和蘑菇的生长形状。

2018年上海复旦大学的力学工程学家徐凡观察到校园池塘内几种不同的荷叶形状,启发他思考这些叶片生长的机理。他的课题组将2008年的模型改进,以能完整地描述这种组织生长,以及准确地预言叶片复杂形状的范围。课题组运用独特的数值方法,使得他们能够解出前人没有解出的更加复杂的方程。

这个理论引入了两个

新的内容:(1)在漂浮叶片下面支撑的水的作用;(2)叶片的不同层面生长速度不同,因而造成叶片的弯曲。第2个内容对于精确描述叶片如何生长很重要。比如,阳光导致的荷叶生长,使得叶片在背光侧生长得较快,因而导致叶片面向阳光方向弯曲。光线导致的运动也发生在其他植物中,徐凡说:“这种弯曲效应使得向日葵总是朝向太阳。”

复旦大学团队进行实验来支持他们的理论计算,他们将模型叶片切开,选择性将材料放在真实叶片生长中相应的位置浸湿,或者让这些假叶片漂浮一段时间,用来模拟自然界中受到下面水限制时的生长。这种类生长过程的伸长导致叶片形状与模拟结果相符,并且与真实叶片的观察结果相同。

使用这种模型的模拟证实了自然界中浮游荷叶的观察结果,即具有短周期和短褶皱。与此相对应,被茎秆支撑荷叶形状与长周期和长褶皱相符。

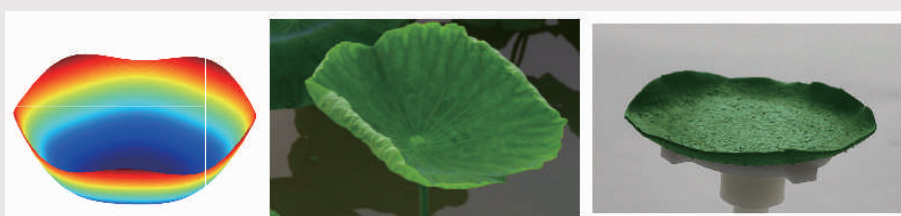
在每种情况下,边缘都呈现波浪状,这是因为叶片生长产生的表面积

大于理想平面的表面积。这个模型的目标是获得能量最低的构型。受到水面限制的叶片的短周期、低振幅波形将使漂浮在水面的能量降到最低,使得叶片与下面的水附着最佳,而伸出水面的荷叶可以自由地产生更长的振荡以减小振荡能量。并且生长在更加坚硬的茎秆和叶脉上的叶片所具有的周期短于脆弱茎秆叶片,这是由于刚度也同样提供能量,以支撑振幅大的叶片构型。

对于悬空的叶片,不同层面不同的生长速率导致了弯曲力,这同样会影响叶片形状。在某些条件下,这种弯曲力将平坦的叶片转换成深的、陡变的碗状。

复旦大学团队的发现显示了近年来对于力学研究的复兴,与基因和生物化学相对应,用来确定生物结构的形状。比如,在研究大脑组织的弯曲时,斯坦福大学的力学与生物工程科学家 Ellen Kuhl 说:“人们一般仅仅关注细胞,但是现在他们开始认识到力学作用力的重要性了。”

更多内容详见: *Phys. Rev. Lett.*, 2020, 124: 038003。



新的模拟方法允许不同叶片层面以不同速率生长,由此产生了荷花叶片所需要的弯曲力。(左)预测模型;(中)自然界中的叶片;(右)仿叶橡胶