Plant Community Drought-escape Model

自然界中的植物主要通过光合作用和呼吸作用获取能量，积极影响因素如光照、湿度、温度，而消极影响因素有污染和过度干燥。这些环境因子都会对植物能量的获取产生影响。为了量化这些影响，本分模型将以植物以及其所处的环境视为一个系统，预测单一植物种群在一定时间内生长率和死亡率的变化情况，并为后续的植物群落分析提供基础。

环境对植物的影响

根据实际情况，生长率减去死亡率为每年新增加的生物质。由此，模型设置了生物质总量和时间之间的关系为：

$$

\begin{aligned}

& Q\_i=Q\_{i-1}+Q\_{i-1}(f\_i-h\_i)(1-\frac{Qi}{Q\_{max}})

\end{aligned}

$$

根据之前所作的假设：光合作用和呼吸作用为植物能量的主要来源，并且光合作用所获得的能量远大于呼吸作用。因此，模型以光合作用速率和呼吸作用速率来描述净生长率。除此之外，根据“Photosynthesis and photosynthetic efficiencies along the terrestrial plant’s phylogeny: lessons for improving crop photosynthesis”所提到的植物“光合进化”，它们能够根据不同的环境调整它们对光合水和氮元素的吸收，我们在模型中加入了植物的遗传分化因子（FST）G1来表现植物生长过程中对能量利用的非线性表达。所以最后净成长率的表达公式如下：

$$

\begin{aligned}

& f\_i=G\_1(v\_{pi}+v\_{bi})

\end{aligned}

$$

接下来我们讨论光合作用的定量表达，在“Dai Junjie, Zhang Xinping, Luo Zidong, et al. Response and simulation of transpiration of typical trees to environmental factors in Changsha area [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021.和Han Yang-Rui, Shan Wei, Xu Da-wei, et al. Photosynthetic characteristics of three typical shrubs and their responses to environmental factors in arid region [J]. Western Forestry Science, 2021, 50(1): 64-70.”中，将植物在降雨量小于200mm到降雨量800mm的区间视作干旱到正常的区间，并对于影响光合作用的主要因素进行了实验探究，可以得出结论，干旱期（Ryear<=200）的植物蒸腾作用微弱，导致其气孔通气性降低，光合作用效率对于土壤含水量和太阳辐射尤其敏感。而在正常发育（Ryear>200）状态下的植物，它们的蒸腾作用强烈，为光合作用带来了重要的光合水、无机盐以及其它营养物质。然后，我们根据Ye Z, Zhao Z. A modified rectangular hyperbola to describe the light-response curve of photosynthesis of Bidens pilosa L. grown under low and high light conditions[J]. Frontiers of Agriculture in China, 2010, 4(1): 50. 文中提出的关于光合作用的设计方案，设计了我们模型中光合作用的公式模型，采用了直角双曲线进行拟合，并设定了相关参数。模型中分为干旱与分干旱情况，干旱情况主要影响因子为土壤含水量和太阳辐射，而在正常发育阶段的主要影响因子为蒸腾作用的强烈程度和太阳辐射，其中林业主要以水汽压亏缺（APD）作为衡量蒸腾作用的主要因素，光合模型如下：

$$

\left\{\begin{array}{l}

v\_{p1}=\alpha\_1\frac{1-\beta\_1(VPD\cdot\phi)}{1+\gamma\_1(VPD\cdot\phi)} , R\_{year}\in(200,2500]\\v\_{p2}=\alpha\_2\frac{1-\beta\_2(SH\cdot\phi)}{1+\gamma\_2(SH\cdot\phi)} , R\_{year}\in(0,200)

\end{array}\right.

$$

$$ Changsha

\begin{aligned}

&V P D

=0.611 \exp \left(\frac{17.27 T}{T+237.3}\right)(1-R H / 100\%)

\end{aligned}

$$

Furthermore，我们在模型中对呼吸作用做了简化，将其视作和光合作用成正比。并用系数乘以光合作用速率表达呼吸作用速率。

$$

\begin{aligned}

& v\_b=kv\_p

\end{aligned}

$$

接下来我们考虑植物的死亡率，随着全球变暖和部分地区重工业的兴起。现代的植物种群不但需要面对天敌的侵害，同时还需要承受来自环境中污染因数。同时，当一个区域的植物生长超出密度上限，它们的死亡率也会随着生物量的增加而增加。最后加上植物的环境适应因子G2，单一植物种群死亡率的定义如下：

$$

\begin{aligned}

& h\_i=G\_2(P\_{wi}+P\_{ai})+Q\_{i-1}d

\end{aligned}

$$

根据维基百科中对污染进行的定义，污染被分为土壤污染、水污染、光污染、大气污染等等。在这里我们仅考虑水土污染和大气污染。前者我们使用土壤PH值对其进行量化处理，后者大气污染我们使用空气中对生物影响极大的二氧化硫和二氧化氮浓度作为衡量标准。我们的信息支持来自于“Zhang, L.F.,Hu, H.L.. Research progress on the effect of soil acidity and alkalinity on plant growth[J]. Guizhou Agricultural Science,2020,48(08):40-43.

Nie Lei, Deng Zhihua, Chen Qibo, Chang Yushan. Effect of Kunming urban forest on atmospheric $SO\_2$ and $NO\_X$ purification[J]. Western Forestry Science,2015,44(04):116-120.”两篇论文。文中给出了土壤酸度和空气中污染物与环境因子的关联式。我们模型中的污染因子也是基于PH值和空气中污染物浓度进行设置的。

$$

\begin{aligned}

& P\_w=K\_1|PH-7|^2

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

& P\_a=K\_2p

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

& PH\_i=PH\_{i-1}+b\_1(1-e^{-\frac{Q(7-PH)}{RH\cdot T}})

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

& p\_i=p\_{i-1}-b\_2(1-e^{-\frac{QP}{RH\cdot T}})

\end{aligned}

$$

（可以画表格二氧化硫）

植物对环境的反作用

除了被环境影响，植物对于环境也有着很好的保持水土、调节气温的反作用。根据“Sun JW, Wu JB, Guan DX, et al. Long-term comparative study of air temperature and humidity and soil temperature in forest and open space[J]. Journal of Ecology, 2011, 30(12): 2685-2691.”一文中关于植物对温度调节的描述，在不同的降水量，不同密度的植物种群可以对大气起到的降温的作用。具体公式如下：

$$

\varDelta T=

\begin{cases}

(-0.48\cdot\frac{400+R\_{year}}{400}-0.28)Q &R\_{year}\in(0,400]\\

(-0.62\cdot\frac{400+R\_{year}}{400})Q &R\_{year}\in(400,800]\\

(-0.86\cdot\frac{R\_{year}}{400})Q &R\_{year}\in(800,2500]

\end{cases}

$$

$$

\begin{aligned}

T=T\_o+\varDelta T

\end{aligned}

$$

除了影响大气温度，良好的植物分布还可以通过树冠顶部的反射强化太阳辐射，这是Wang Huanhuan. Surface temperature effect of planted forests in China and its attribution[D]. Northwest Agriculture and Forestry University, 2021.一文中所研究的课题。太阳辐射的强化有利于加强光合作用和呼吸作用的效率，换而言之，提升植物种群的生长率。太阳辐射和反照度的如下：

$$

\begin{aligned}

\alpha=0.1-e^{-\frac{\alpha }{\rho}}

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

\Phi=\Phi\_o(1-\alpha)

\end{aligned}

$$

调节水土、保持湿度也是植物所表现的重要作用，我们可以通过un JW, Wu JB, Guan DX, et al. Long-term comparative study of air temperature and humidity and soil temperature in forest and open space[J]. Journal of Ecology, 2011, 30(12): 2685-2691.一文中看出植物的这一功能。具体体现在区域的土壤含水量和空气相对湿度都得到了提高，关系公式如下：

$$

\begin{aligned}

SH=K\_{SH}\cdot SH\_o

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

RH=K\_{RH}\cdot RH\_o

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

K\_{SH}=\frac{k\_4}{1+e^{-Q}}

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

K\_m=\frac{k\_5}{1+e^{-\frac{TQ}{T+C}}}

\end{aligned}

$$

其中$k\_4$为土壤湿度转换系数，$k\_5$为大气湿度转换系数，C为待定系数，Q为生物质总量。

补充：遗传转化因子G1与G2的设定，根据维基百科，生物对于环境的适应阶段分为适应期、转变期和成熟期，同时植物最具有适应能力的阶段是成长期，而在成熟期之后遗传转化的效果会逐渐减弱。所以，我们采用了正态分布模型来描述G1与G2，其中G1先增加后减小，而G2先减小后增加，最终均达到动态稳定，具体公式如下：

$$

\begin{aligned}

G1 = 1+\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}

\end{aligned}

$$

$$

\begin{aligned}

G2 = 1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}

\end{aligned}

$$

其中，$\mu$ 是均值，$\sigma$ 是标准差，$t$ 表示时间的取值。