

改变地球的真菌

摘要

真菌分解有机物在自然碳循环中起着至关重要的作用。我们有望确定 different 真菌之间的相互作用和环境波动的影响。本文以白腐真菌、褐腐真菌和黑曲霉为主要研究对象进行分析。建立了三个模型。

模型一:多真菌分解模型。首先,基于酶促反应动力学方程和米氏方程,建立了单菌分解模型。然后,通过引入竞争力指数,描述了多真菌之间的相互作用,建立了多真菌分解模型。研究发现,白腐真菌和黑曲霉(WR & 安)的组合会促进黑曲霉对纤维素的分解;白腐真菌和褐腐真菌的结合会抑制白腐真菌对木质素的分解。

模型二:多真菌相互作用模型。我们建立了 Logistic 生长迟缓模型和 Lotka-Volterra 种群竞争模型,分别考虑短期和长期相互作用对真菌生长的影响。在短期内(7 天),由于资源充足,三种真菌的生长呈线性;从长期来看(500 天),白腐真菌和黑曲霉的组合,以及褐腐真菌和黑曲霉的组合(BR & AN)可以共存,显示出促进 effect. 然而,白腐真菌和褐腐真菌的组合已经从种群中消除,不能共存。

模型三:多真菌-相互作用-环境模型。首先,我们建立了生长速率与环境的关系模型,并确定了两个环境变量对真菌分解速率的影响。然后,通过对快速环境波动的敏感性分析,得出温度和湿度变化下的分解速率趋势。发现当温度变化时,适合相应温度的真菌及其组合具有优势;在湿度相对较低的情况下,耐湿性高的真菌及其组合具有优势。

此外,我们通过计算在 different 温度和湿度条件下的分解速率,预测了物种和物种组合的相对优势和劣势。我们发现,在温带寒冷季节和干旱环境中,所有物种都处于劣势;在温带和半干旱环境的暖季,BR 和 BR & AN 组合有优势,WR 和 WR & AN 组合有劣势;在热带雨林环境中,情况正好相反。

最后,我们描述了真菌物种多样性对生态系统的影响,并总结了生物多样性的重要性:生物多样性的增加可以提高环境的恢复能力。

关键词:米氏方程;洛特卡-沃尔泰拉方程;真菌;生物多样性

内容

1	Introduction	4
1.1	Problem Background.....	4
1.2	Restatement of the Problem.....	4
1.3	Our Work.....	4
2	Assumptions and Justifications	6
3	Notations	6
4	Model I: Multi-Fungi Decomposition Model	7
4.1	Fungi Decomposition Model.....	7
4.2	The Estimation of Kd: Competitiveness Index.....	8
4.3	Results.....	9
5	Model II: Multi-Fungi Interactions Model	10
5.1	Fungal Interaction Model.....	10
5.2	Dynamic Trend of Interaction.....	11
6	Model III: Multi-Fungi-Interaction-Environment Model	12
6.1	The Impact of Rapid Environmental Fluctuations.....	12
6.1.1	Sensitivity Analysis of Temperature Fluctuations.....	12
6.1.2	Sensitivity Analysis of Humidity Fluctuations.....	16
6.2	The Influence of Atmospheric.....	17
6.2.1	The Influence of Global Atmospheric Trends on Fungal Interactions	17
6.2.2	Prediction of relative advantages and disadvantages of species in different environments.....	18
7	Further Discussions: The Impact of Biodiversity	20
7.1	The Effect of Fungal Diversity on Ground Litter.....	20
7.2	The Importance of Biodiversity When Environment Changes.....	20

Team #	Page 2 of
8 Model Evaluation	21
8.1 Strengths21	
8.2 Weaknesses and Possible Improvements21	
9 An Article	21
References	24

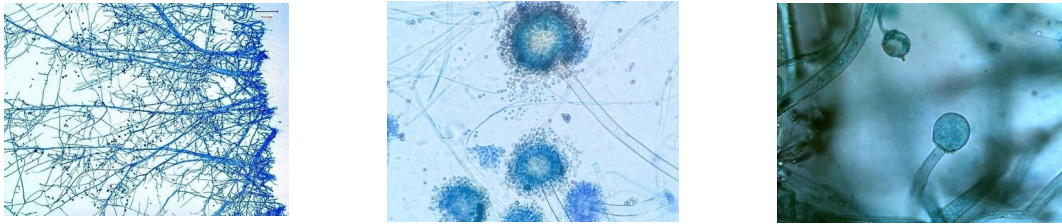
校苑数模
公众号

1 介绍

1.1 问题背景

碳循环是指碳元素在生物圈、岩石圈、土壤圈、水圈和大气中的交换，包括一些化合物的分解，主要是木质纤维和地面垃圾的分解[1]。在这个过程中，碳被转化成其他形式，再次被地球利用。

真菌是木质纤维素纤维分解的重要因素，木质纤维素纤维具有许多典型特征。其中，生长率和耐湿性在木质纤维素纤维和死植物材料的分解中起着至关重要的作用。



(a) 白腐真菌[2] 褐腐真菌[3] 黑曲霉[4]

图1: 真菌

1.2 问题重述

基于背景信息，本文的主要任务如下：

- 基于多种真菌，建立数学模型，通过真菌活性来描述地面凋落物和木质纤维的分解。在该模型中，需要包括 different 类型真菌之间的相互作用(具有 different 生长率和耐湿性)。
- 分析 different 类型真菌之间的相互作用(包括短期和长期趋势)。对快速环境波动进行敏感性分析，并确定大气趋势变化的总体影响，以评估当地天气模式变化的影响。
- 预测每个物种和可能继续存在的物种组合的相对优势和劣势，并在干旱、半干旱、温带、树栖和热带雨林中进行预测。
- 分析系统中真菌群落的多样性如何影响分解地面垃圾的总体效率。当当地环境有不同程度的变化时，分析生物多样性的重要性和作用。

1.3 我们的工作

- 首先，通过求解酶促反应动力学方程和米氏方程，建立了单菌分解模型。然后，竞争力指数

描述了多种真菌的相互作用，建立了多种真菌的分解模型。最后，测定了不同真菌相互作用时有机物分解速率的变化；

- 我们建立了 Logistic 生长模型和 Lotka-Volterra 竞争模型，考虑了短期和长期交互作用对真菌生长的影响，确定了竞争系数与真菌生长速率的具体关系，包括种群淘汰和共存。
- 在分析 different 环境的影响时，我们确定了两个环境变量：温度和湿度。然后，通过对快速环境波动和真菌相互作用与生长关系的分析，得到了 different 温湿度条件下分解速率的变化。最后，我们分析了大气趋势引起的局地环境变化时相互作用的影响。
- 我们根据 different 特征划分了环境，并确定了温度或湿度的典型值。然后，通过 different 温湿度条件下的去组分率，预测单个种和种组合间的相对优势种和劣势种。最后，我们描述了真菌物种多样性对系统的影响，并总结了其重要性和生物多样性的作用。

总的来说，整个建模过程可以如下所示：

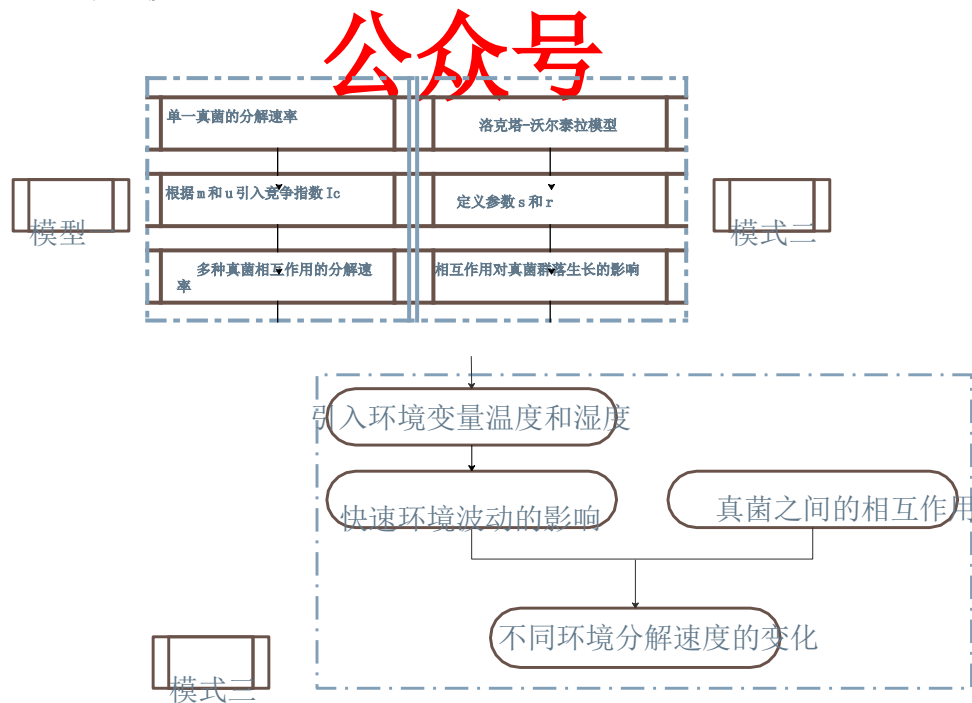


图 2: 我们模型的流程图

2 假设和理由

为了简化我们的模型，我们在本文中做了以下假设。一旦在我们的模型中使用，所有假设都将被重申。

1. 将木质纤维和磨碎的垃圾简化为纤维素、半纤维素和木质素。

木质纤维和地面垃圾的主要成分是木质纤维素，由纤维素、半纤维素和木质素组成 lignin[5].

2. 假设各个腐烂阶段与中间腐烂阶段一致，每个真菌的竞争力指数是固定的。

由于衰减过程分为 different 阶段，且每个阶段的连续过程不会发生很大变化，竞争力指数可以在固定阶段大致保持不变。

3. 假设真菌对有机物的分解是一个酶催化的反应，各有机物的分解不相互作用，独立反应。

多底物酶催化反应的速率主要取决于酶的活性，分解这三种物质的酶没有很强的协同或抑制作用 effect[6]. 另外，分解过程中的产物大部分是二氧化碳、水等无机物，不会产生连锁反应，所以可以忽略不计。

4. 假设每种真菌只分解一种物质。白腐真菌和褐腐真菌分解木质素，黑曲霉分解纤维素。

木质素比纤维素更难分解。通过查阅资料，我们发现白腐真菌和褐腐真菌在分解木质素方面具有更大的优势，它们是木质素分解的主要真菌，因此我们假设它们分解纤维素的能力可以忽略[7]。黑曲霉只能分解纤维素。

3 记号

表 1 列出了本文中使用的符号。

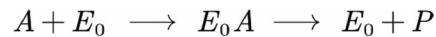
表 1: 符号符号定义

种类 (性质) (<i>kind</i> 的简写)	酶失活速率系数
公里	米氏常数, 酶的特征常数
耐湿性指数	
菌丝延伸率	
r	生长速度 (菌丝体干重/天)
温度 ($^{\circ}\text{C}$) 湿度 (%)	
s	竞争系数

4 模型一:多真菌分解模型

4.1 真菌分解模型

真菌分解有机物的化学机理可以表示为酶催化反应，一般用下面的转化关系来描述。



其中 A 代表真菌分解的有机物(本文中为木质素、纤维素、半纤维素); E0 代表胞外酶(在细胞外工作并在反应中起催化作用的酶); E0A 为酶复合物(酶与底物结合形成的过渡态中间体); p 代表生物分解的产物。这种反应的速度直接取决于胞外酶的浓度，而真菌的生物量并不直接影响分解的速度[8]。

根据米氏方程，胞外酶分解目标有机物的速率 r_c 为:

$$r_c = \frac{V_{EEC}}{K_m + c} \quad (1)$$

其中 V_e 是反应的初始速度; K_m 是酶的特征常数(在一定条件下, different 酶的 K_m 值是常数); e 为胞外活性酶的浓度; c 是有机物的浓度。

胞外酶的活性随着分解过程逐渐降低。假设胞外酶的失活过程是一级反应:

$$-dE/dt = k_d E \quad (2)$$

其中 K_d 是酶失活速率系数。

假设 $t_0 = 0$ 时真菌的浓度为 P_0 , 胞外酶 E_0 的浓度为 $E_0 = aP_0$, 这个公式作为胞外酶的初始浓度。根据上述分析, 可以得到以下 differential 方程:

$$\frac{dc}{dt} = KDe \quad (3)$$

$$\frac{de}{dt} = -K_d e \quad (4)$$

其中, dE 描述酶的失活速率, dC 描述分解速率
等式右侧的项分别在等式(2)和等式(1)中定义。

根据初始条件: 当 $t = 0$, $CE_0 = aP_0$, $C = C_0$ 时, 可以求解,

$$e = AP_0 \exp(k_d t) \quad (5)$$

$$t = \frac{1}{k_d} \ln \left[\frac{K_m}{VEP_0 a} \ln \left(\frac{C}{C_0} \right) + (C - C_0) \right] + 1 \quad (6)$$

4.2 Kd:竞争力指数的估计

在酶失活过程的上述描述中，引入了酶失活系数 K_d 。大量实验数据表明，在多种真菌共存的环境中，它们的相互作用对酶的失活速率有显著影响。因此，我们将酶失活系数重新定义为真菌的竞争力指数。

由于人口的竞争主要与增长率有关，我们首先假设竞争力指数 $I_c = f(u)$ 。然而，耐湿性也是区别 different 真菌的一个重要特征。因此，我们引入耐湿性指数来修正单个影响因素的 I_c ：

$$I_c = f(u, m) \quad (7)$$

其中 $f()$ 是一个待定关系方程。接下来我们将确定它的具体表现形式。

通过 OLS 法分析耐湿性与分解率的关系，得到耐湿性指数。

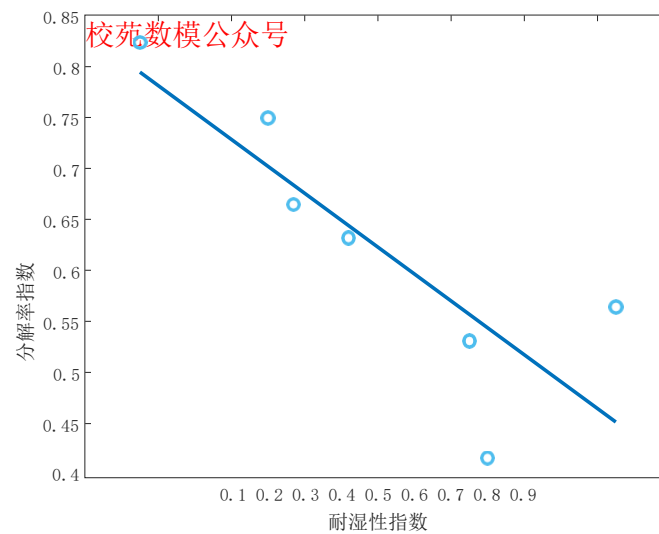


图 3:耐湿性指数的线性拟合

- 耐湿性指数:描述真菌的耐湿性程度。指数越接近 1.0，越不耐湿，越接近 0，越耐湿。

我们验证了耐湿性越好，菌株的分解速率越低。因为生长速率低的真菌菌株通常能够在湿度变化的条件下存活并生长得更好。我们还可以将生长率和耐湿性指数拟合成线性关系，并假设 $m = g(u)$ 。结合以上问题，我们得到竞争力方程，

$$I_c = 0.00176u \quad (8)$$

通过查找 different 真菌的生长速度，我们在表 2 中获得了以下竞争力指数：

表 2: different 真菌竞争力指数			
	白腐真菌	褐腐真菌	黑曲霉
集成电路	0.015	0.009	0.021

4.3 结果

木质纤维素主要由木质素和纤维素组成。我们分别考虑了单一真菌和真菌组合对木质素和纤维素分解速率的影响。通过方程 5 和方程 6，我们确定真菌的分解速率会先随时间增加，然后趋于稳定。由于真菌的竞争力指数是 different，它们在分解单个真菌中的表现和它们对分解真菌组合的贡献也是 different。

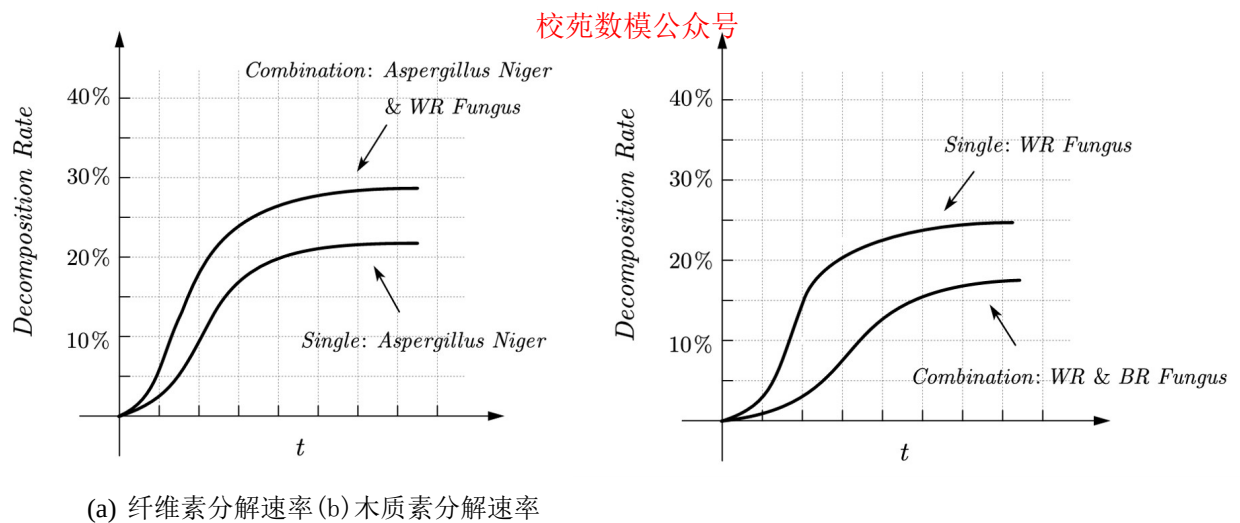


图 4: 当真菌单独或联合作用时，纤维素和木质素的分解速率随时间变化

• 黑曲霉与白腐真菌的结合

首先，我们假设黑曲霉只分解纤维素，白腐真菌只分解木质素。自然界中，枯枝落叶中的木质素和纤维素经常相互纠缠，增加了真菌分解的难度。因此，真菌的混合物会促进它们的分解。物种组合具有协同性，分解率高于单一真菌。

- 白腐真菌和褐腐真菌的组合

我们假设白腐真菌和褐腐真菌都分解木质素。由于它们之间的竞争关系，组合分解速率将低于单独的白腐真菌。

5 模型二：多真菌相互作用模型

表 3: 三种真菌的参数

内容			
	真菌白腐真菌	褐腐真菌	黑曲霉
初始干重(克)	0.15	0.15	0.15
最大干重(克)	0.5	0.5	0.5
增长率(最佳条件)	0.05	0.025	0.075
最佳温度(°C)	30-35	25-30	20-25
最佳湿度(%)	95	85	75

5.1 真菌相互作用模型

当 different 种真菌生活在同一环境中时，它们的生长不是独立的而是被另一个种群 affected 化了。由于 different 真菌有相似的生物需求，它们会相互抑制，争夺空间和资源。Lotka 和 Volterra 提出的种间竞争方程可以很好地描述这一过程[9]。

当一个特定的生物独立生存时，其数量的演变遵循逻辑方程：

$$\frac{dx}{dt} = rx(1 - \frac{x}{n}) \quad (9)$$

其中 x 是人口数量； r 是增长率， n 是最大容量。当两个群体处于同一环境时，基于竞争关系考察资源消耗对增长率的影响，可以通过增加竞争系数来修正上述方程：

$$\frac{dx}{dt} = r_1 x \left(1 - \frac{x}{n_1} - s_1 \frac{y}{n_2} \right) \quad (10)$$

$$\frac{dy}{dt} = r_2 y \left(1 - \frac{y}{n_2} - s_2 \frac{x}{n_1} \right) \quad (11)$$

$s_1(s_2)$: 对于支撑人口 1(2) 的资源，单元数人口 2(1) 的消耗是单元数人口 1(2) 的 $s_1(s_2)$ 倍。如果存在种群淘汰现象，我们设置 $s_1 = s_2 = 2$ 。如果两组共存，我们设置 $s_1 = s_2 = 0.5$ 。

通过确定相关参数，可以计算出两组相互作用的演化。

5.2 互动的动态趋势

• 短期趋势(7天)逻辑模型 →

由于环境中资源丰富，短期内我们假设 different 真菌之间不存在资源竞争，各类群独立生长，因此 Logistic 模型适用。

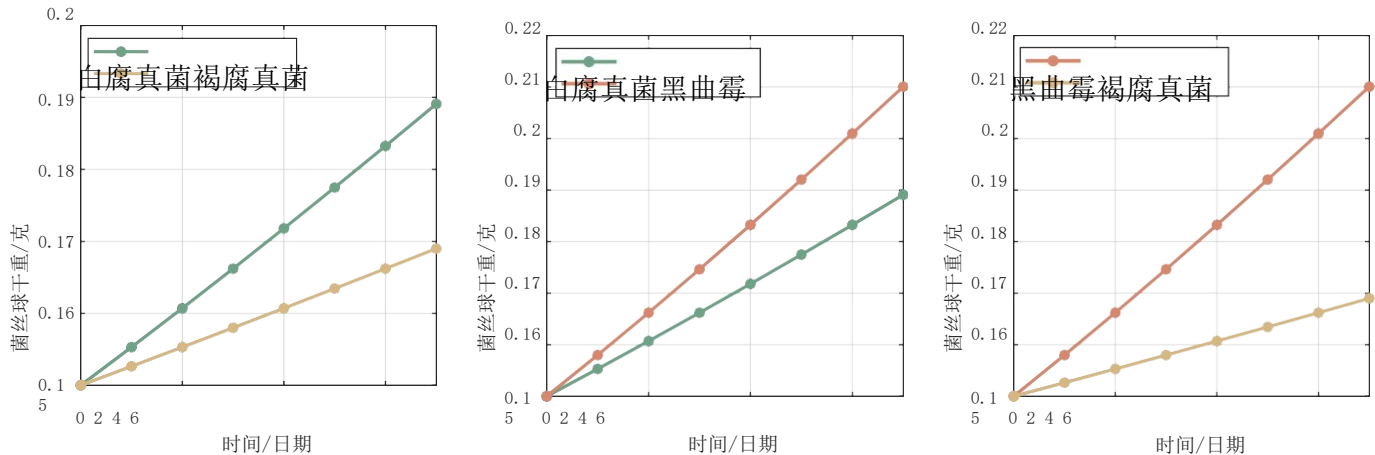


图 5: 短期互动趋势

分析: 在短期条件下, 考虑到资源的无限性, 真菌种群的增长可以近似线性, 主要由 *affected* 的增长率决定。我们模拟了真菌群落在中等环境中的生长, 发现在短期考虑下, 三种真菌的组合对它们的生长没有 *effect* 效应, 这也符合我们的模型, 即没有考虑种群之间的竞争系数 s 。

• 长期趋势(500天)→洛特卡-沃尔泰拉模型

从长期来看, 种群之间存在资源竞争, 需要引入竞争量, 因此适用于 Lotka-Volterra 模型。

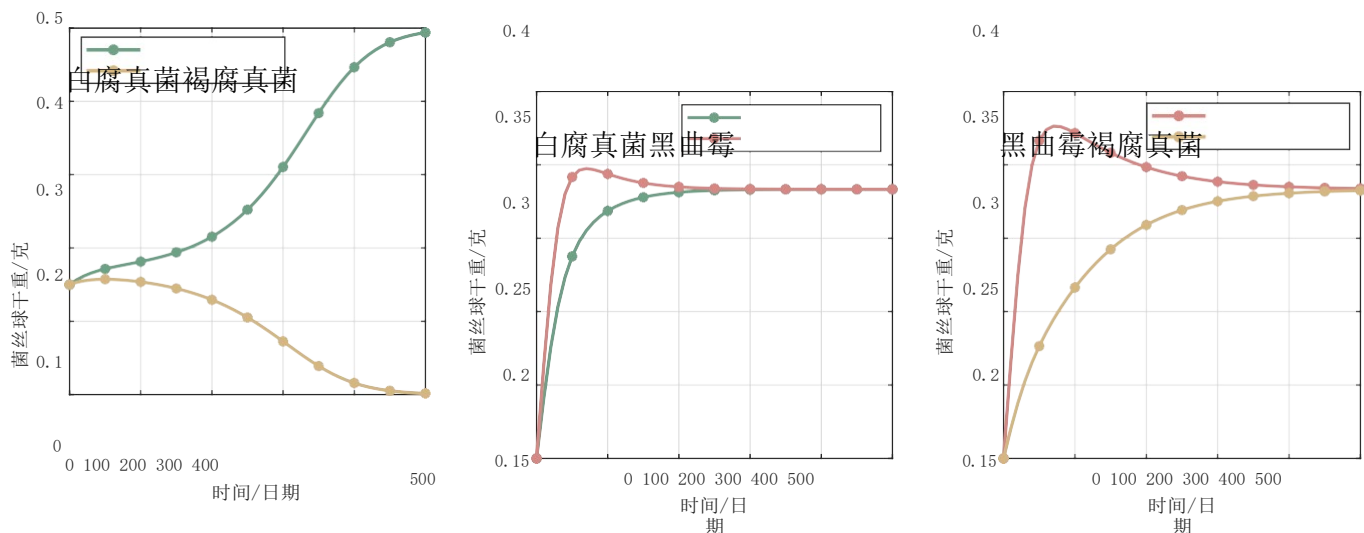


图 6: 互动的长期趋势

分析:

- 白腐菌和褐腐菌的结合:白腐菌和褐腐菌都分解木质素, 共享同一资源, 所以主要是竞争。白腐真菌比褐腐真菌具有更强的分解木质素的能力。同时, 它们的增长率也很高。因此, 在同样适宜的环境下, 白腐真菌最终会消灭褐腐真菌。
- 白腐真菌和黑曲霉的结合:首先, 白腐真菌主要分解木质素, 而黑曲霉主要分解纤维素, 这两种真菌都有 *different* 资源需求。其次, 自然界枯枝败叶中的木质素和纤维素经常相互纠缠, 增加了真菌分解的难度, 所以真菌的混合会促进它们的分解。综上所述, 两者之间没有淘汰, 可以共存。
- 褐腐真菌和黑曲霉的组合:相互作用情况与白腐真菌和黑曲霉组合相似。

6 模型三:多真菌-相互作用-环境模型

6.1 快速环境波动的影响

由于环境中的温度和湿度对真菌有最显著的影响, 并且生长速度明显受温度和湿度的 *affected* 影响, 我们假设快速的环境波动(包括温度和湿度)只有 *affect* 真菌的生长速度。然而, 耐湿性是生长速度变化的表象。

6.1.1 温度波动的灵敏度分析

• 生长速度随温度变化

我们发现, 对于真菌来说, 温度对细胞稳定性和酶活性有重要影响。它的生长速度在特定范围内会随着温度的升高而增加, 但超过最高温度后会迅速下降。基于这一经验, 我们假设真菌生长速度在达到最高温度前与温度呈线性关系, 超过最高温度后真菌会直接死亡。因此, 确定了真菌生长速率随温度的变化。

基于这三种真菌的 *different* 最佳温度, 我们计算了它们各自的生长率随温度的变化, 如图 7 所示。

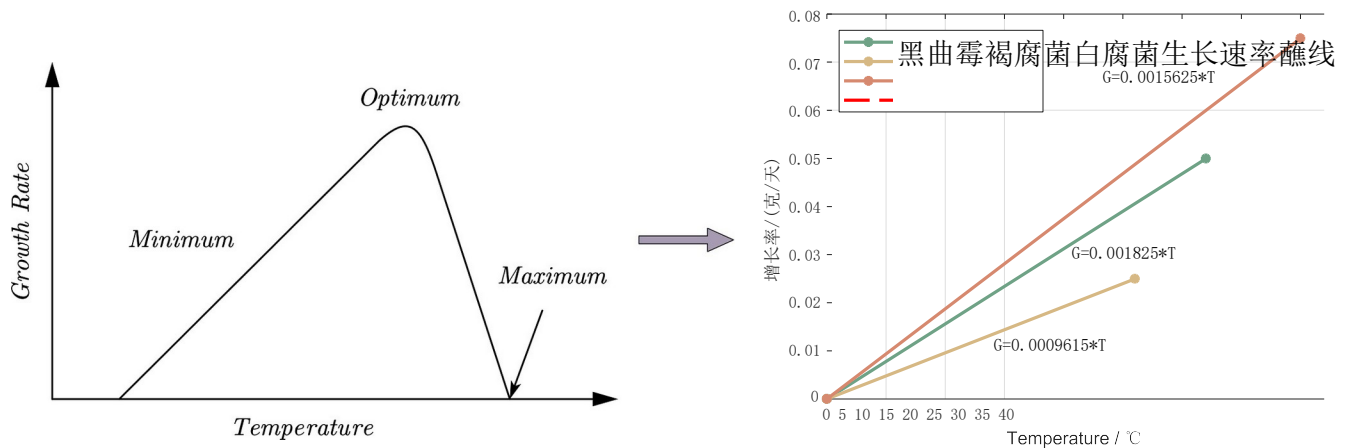


图 7: 当量: 生长速度与温度的关系

• 温度波动的灵敏度分析

在本节中，我们主要对 different 温度进行了敏感性分析。通过分析生长速率和温度之间的函数关系，我们可以确定 different 真菌在 different 温度下的生长速率，然后将它们带回 Lotka-Volterra 用于计算的群体相互作用模型。

分析:

校 数模

• 白腐趣味的结合公胃肠和乙肝众罗恩-R 号真菌

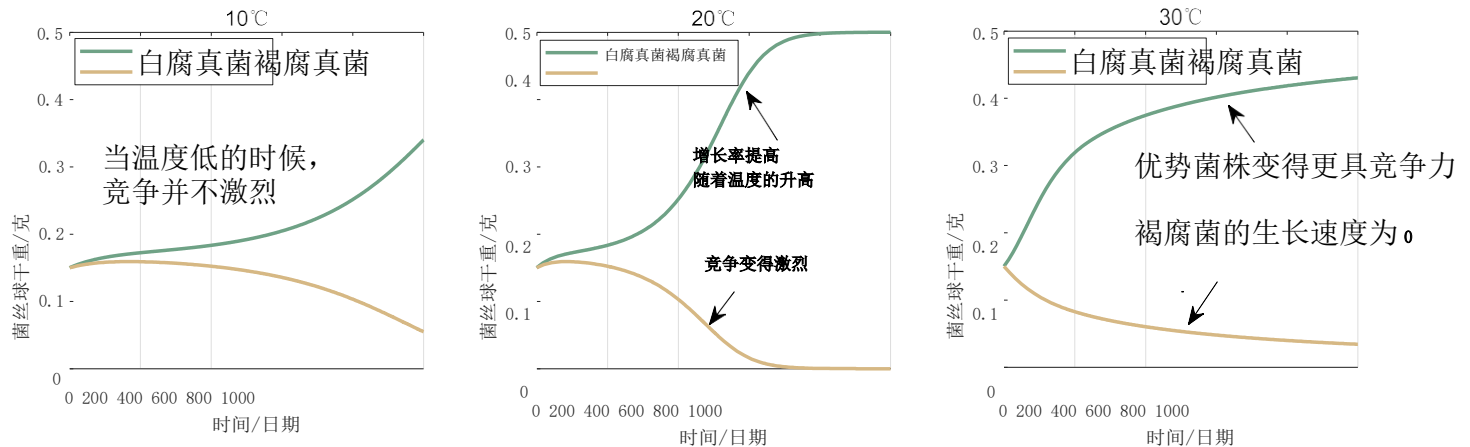


图 8: different 温度下白腐真菌和褐腐真菌之间的相互作用

10°C → 20°C: 温度升高导致两种真菌的生长速度增加，使得竞争加剧。因此，具有种群优势的白腐真菌数量将更快达到峰值，其他(褐腐真菌)将被淘汰。

20℃ → 30℃: 褐腐真菌最适温度为 26℃。如果超过最适温度, 褐腐真菌的生长速度将急剧下降到 0。因此, 褐腐真菌的生长速度在 30℃ 时会开始下降。白腐真菌的生长会随着高温进一步增加, 竞争力会进一步增强。作为优势真菌, 它们会更快达到更高的峰值。

• 褐腐真菌和黑曲霉的组合:

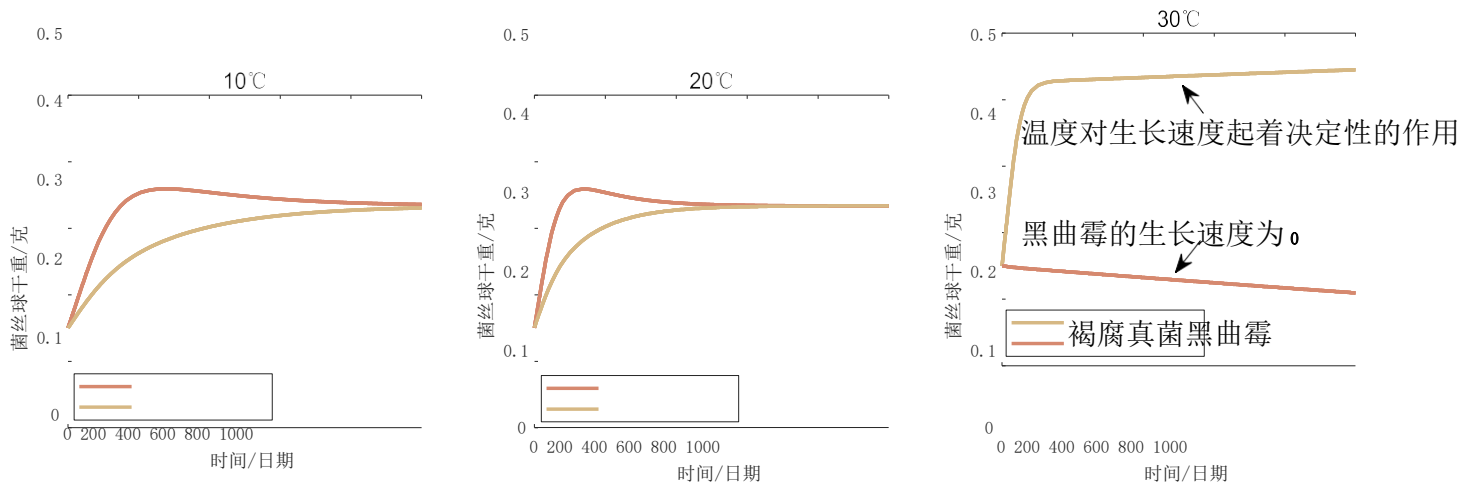


图 9: different 温度下黑曲霉和褐腐真菌之间的相互作用

10℃ → 20℃: 褐腐真菌与黑曲霉的协同 effect 效应在温度变化中不明显。这两种真菌变化的主要原因是温度升高引起的生长速度增加。黑曲霉的最适温度高于褐腐真菌。因此, 温度变化引起的黑曲霉的生长速度会大于褐腐真菌, 黑曲霉的数量会增加更多。

20℃ → 30℃: 30℃ 时褐腐菌的生长速度已降至 0, 而黑曲霉的生长速度则在快速增加。虽然两种真菌具有协同 effect, 但温度在协同中仍起决定性作用, 即黑曲霉在适宜温度下的生长速度高于黑曲霉与褐腐真菌组合在较低温度下的生长速度。

• 分解速率随温度变化

在这一部分中, 我们主要考虑了单一真菌和真菌组合对 different 温度下木质素分解速率的影响。在模型一中, 我们分析了 different 真菌的分解速率, 定义了竞争力指数, 发现其与生长速率的函数关系, 并引入耐湿性指数对其进行修正, 从而分析了 different 真菌和真菌组合的分解速率。在这个模型中, 我们只考虑木质素的分解。

对于单一真菌, 假设白腐真菌和褐腐真菌可以分解木质素。褐腐真菌的最适温度低于白腐真菌。因此, 当温度在 26℃ 左右时, 褐腐真菌的分解速率略高

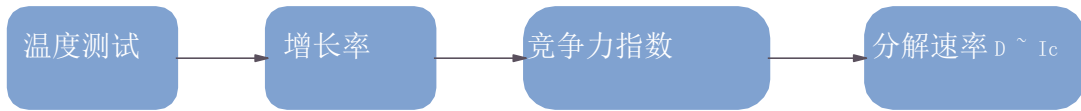


图 10: 分解速率随温度变化的过程

温度在 32℃ 左右时，白腐真菌的分解速率最高。此外，最高分解率高于褐腐真菌。

对于真菌组合，由于前面对 different 组合共存的分析，我们发现白腐真菌和褐腐真菌不能连续共存，所以我们不考虑这种组合。由于黑曲霉只分解纤维素，而黑曲霉对纤维素的分解有利于白腐真菌和褐腐真菌对木质素的分解，因此黑曲霉和这两种真菌的组合会产生协同 effect，即白腐真菌和黑曲霉组合，褐腐真菌和黑曲霉组合对木质素的分解率高于单一白腐真菌和褐腐真菌。由于黑曲霉对高温 (40℃) 的适应性更强，组合真菌的最适温度将整体向高温转变。

公众号

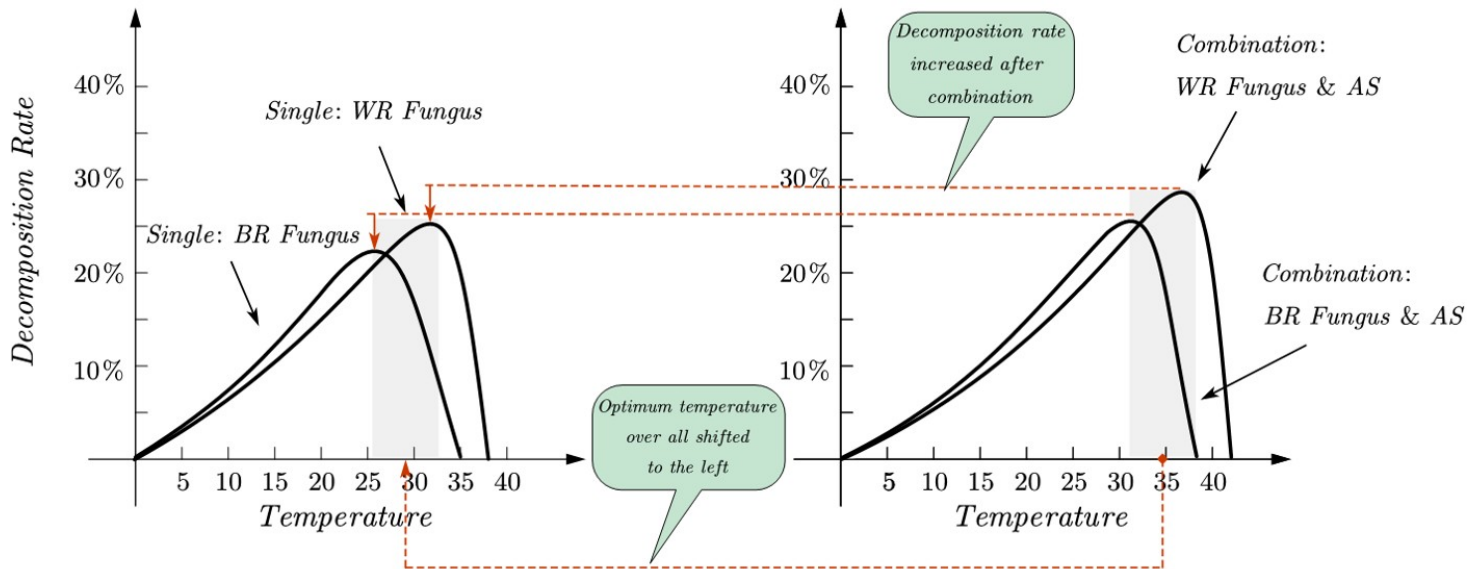


图 11: 温度变化: 单一和组合分解速率的比较

6.1.2 湿度波动的灵敏度分析

在研究快速湿度波动的影响时，我们主要考虑湿度变化对分解速率的影响。计算思路类似于温度：



图 12: 分解率随湿度变化的过程

通过拟合，我们发现当湿度较低时，褐腐真菌的耐湿性较高，能较好地适应环境湿度的波动，其分解速率略大于白腐真菌。当湿度较高时，白腐真菌的耐湿性较低，在适宜的环境中生长速度较快，分解速度会大于褐腐真菌。对于物种组合，考虑添加黑曲霉。首先，由于 effect 的协同作用，白腐真菌和褐腐真菌对木质素的分解速率将总体增加。此外，由于黑曲霉的耐湿性较高(最低湿度为 75%)，组合真菌的最低耐湿性总体上会略微向较低的湿度偏移。

校苑数模

公众号

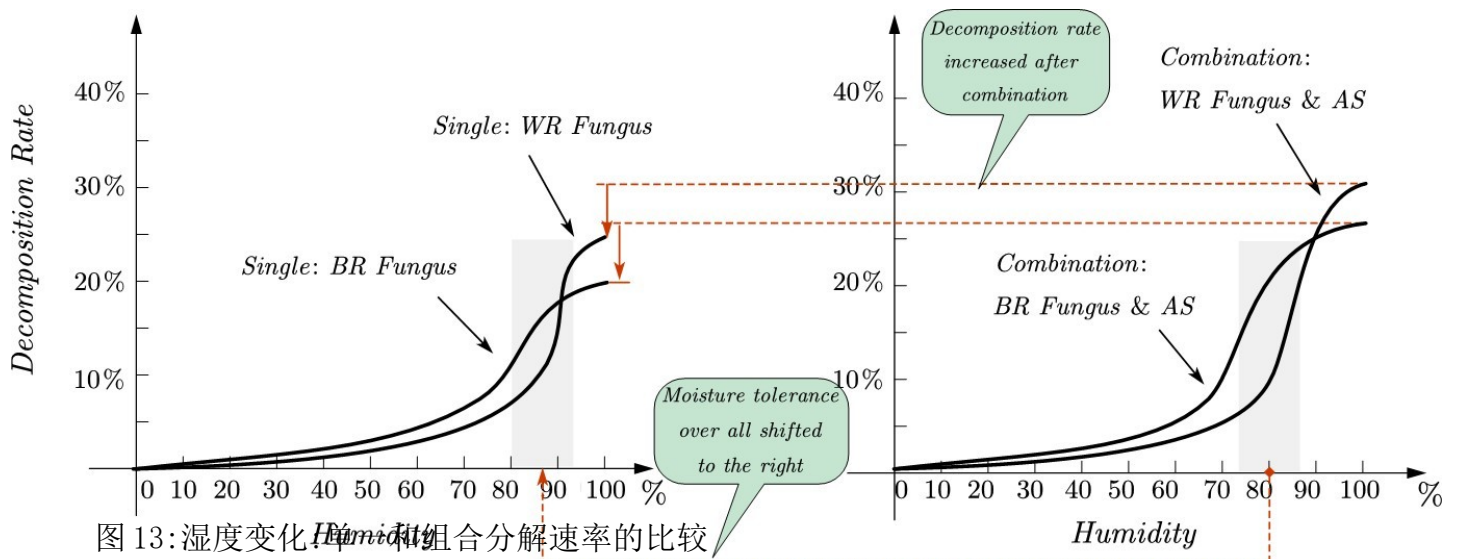


图 13: 湿度变化对单种和组合分解速率的比较

6.2 大气的影响

6.2.1 全球大气趋势对真菌相互作用的影响

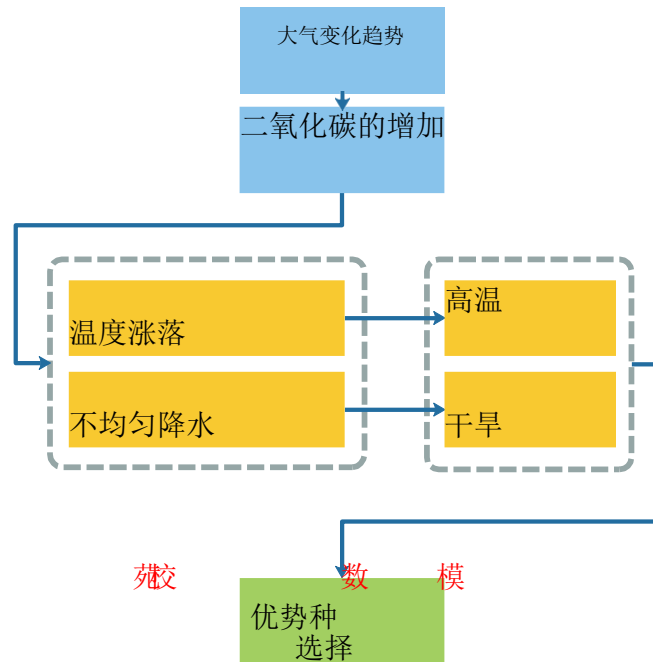


图 14: 影响全球大气趋势和当地环境

21 世纪以来，由全球大气变化引起的气候变化产生了对生态系统的重大影响。两个最重要的特征是[10]：

- 温度剧烈波动，表面温度上升。
- 全球降水不均，“城市热岛” effect 加剧。

Different 真菌对快速的环境波动具有 different 适应性。因此，它们生长环境的变化会加快优势种的选择。具体来说，对温度和湿度适应性更强的真菌将在种群竞争中获得优势。

6.2.2 不同环境中物种相对优劣的预测

在介绍 different 环境中相对有利或不利的物种和物种组合时，我们划分了每个地区的环境类型。

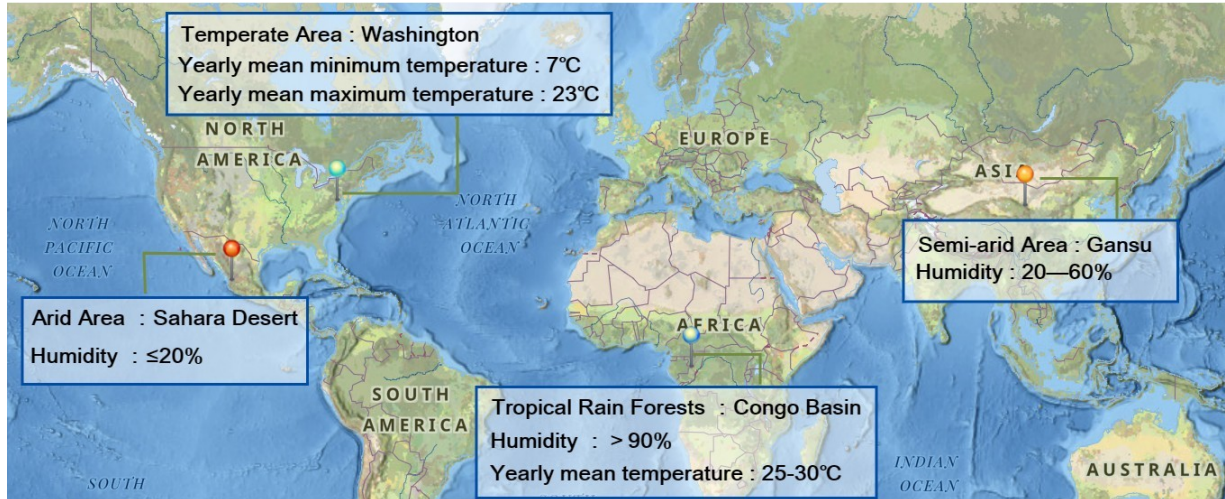


图 15: Different 地区及其典型的温度和湿度值

• 温度

虽然热带和温带之间的年降雨量有很大的 difference，但同一地区的湿度变化不大。因此，在热带和温带地区，我们只考虑温度对物种相对优劣的影响。当我们考虑物种组合时，我们没有考虑处于竞争状态的物种组合。为了简化话题，我们只考虑了长期条件下的物种组合。在长期条件下，相互竞争的组合将被淘汰，最终进化为单一物种。

↔ 温带:

在温带，我们主要考虑温带海洋性气候的地区。这类区域的温度一般有两个代表性温度。天气寒冷时，典型温度约为 7°C [11]。对比我们已经研究过的温度对分解速率的 effect，可以知道当时的优势种是褐腐真菌(当考虑单一一种时)、褐腐真菌和黑曲霉的种组合(当考虑组合种时)。天气炎热时，典型气温在 23°C 左右，结果与寒冷天气一致。

↔ 热带雨林:

对于热带雨林气候，我们很容易知道，热带雨林气候的年气温一般维持在 25–30°C [12]。此时优势菌种为白腐真菌(考虑单一菌种)，白腐真菌和黑曲霉(考虑菌种组合)。

分析:

造成这种情况的原因是褐腐真菌的最适温度低于白腐真菌，所以温度越低，它们生长越快。然而，当温度逐渐升高时，高温抑制了褐腐菌。显然，这种趋势在物种组合中也是令人满意的。因此，如果我们扩展考虑，在低温下，温度最适宜的物种和促进 effect 的物种组合将成为相对优势物种；而在高温下，温度最适宜的物种和物种组合将成为优势物种。这两种情况适用于任何物种和组合。

Different environments 校苑数模		Decomposition rate of fungus and fungus combination				Prediction of relative advantages and disadvantages	
图 16: 温度: 组合关系	Temperature (°C)	White-Rot Fungus	Brown-Rot Fungus	WR & AN	BR & AN	Advantaged species	Disadvantaged species
Temperate (cold)	7	≈ 5%	≈ 5%	≈ 5%	≈ 5%	-	All
Temperate (warm)	23	15%	21%	18%	26%	Single: BR Combination: BR & AN	Single: WR Combination: WR & AN
Tropical rain forests	30	25%	15%	29%	24%	Single: WR Combination: WR & AN	Single: BR Combination: BR & AN

• 湿度

对于干旱、半干旱和热带雨林环境，最典型的 difference 是湿度。
和温度一样，我们不考虑竞争的物种组合。

↔ 干旱:

在干旱环境中，典型的湿度低于 20%[13]. 根据我们的拟合，可以知道此时所有的真菌都不会正常生长，也就是没有相对优劣的物种和物种组合。

↔ 半干旱:

对于半干旱环境，典型的湿度为 20-60%[14]. 在我们的报告中，此时相对的致病种是褐腐真菌(单一种)、褐腐真菌和黑曲霉(种组合)。

↔ 热带雨林:

对于热带雨林环境，典型的湿度一般在 90%以上。此时优势种为白腐真菌(考虑单一种)、白腐真菌和黑曲霉(考虑种组合)。

分析:

造成这种情况的原因是褐腐真菌比白腐真菌具有更高的防潮性。因此，当湿度较低时，褐腐真菌已经开始生长。但是，当湿度逐渐升高时，白腐真菌的生长会超过褐腐真菌，因为耐湿性低的物种生长速度更快。显然，这种趋势在物种组合中也是令人满意的。因此，如果我们扩展考虑，我们会发现由湿度引起的物种相对优势和劣势与温度相似。当湿度较低时，高抗湿种和促进 effect 的种组合将成为相对优势种；而当湿度较高时，耐湿性较低的物种和物种组合将成为优势物种，因为环境中耐受性较低的物种在合适的环境中生长较快。显然，这两种情况适用于任何物种及其组合。

Different environments 校苑数模公众号		Decomposition rate of fungus and fungus combination				Prediction of relative advantages and disadvantages	
	Humidity (%)	White-Rot Fungus	Brown-Rot Fungus	WR & AN	BR & AN	Advantaged species	Disadvantaged species
Arid	< 20%	≈ 0%	≈ 0%	≈ 0%	≈ 0%	-	All
Semi-arid	60%	3%	8%	5%	12%	Single: BR Combination: BR & AN	Single: WR Combination: WR & AN
Tropical rain forests	> 90%	24%	21%	32%	26%	Single: WR Combination: WR & AN	Single: BR Combination: BR & AN

图 17:湿度: different 地区相对优势和劣势的组合

7 进一步讨论:生物多样性的影响

7.1 真菌多样性对地面凋落物的影响

真菌群落的多样性越好，系统中地面垃圾的分解越快、越彻底。同时，因为在 different 环境中，会有 different 优势种及其组合。这种 different 优势种也构成了系统中真菌群落的多样性。

7.2 环境变化时生物多样性的的重要性

- 在 different 环境中，真菌物种的多样性是 different，而 differences 随着环境的变化而显著。这是因为环境对真菌有重大影响 (different 环境有 different 的优势和劣势)
- 环境恶劣的地方真菌多样性会少一些；显然，多样性

在环境适宜的地方真菌的数量会更高。原因是 different 真菌具有 different 特征，能够适应恶劣环境的真菌生长比较缓慢，所以在环境适宜时，其竞争力不如环境适应性差的真菌。

- 当当地环境发生变化时。生物多样性的的重要性和作用:当环境发生变化时，如果当地生物多样性较好，即生态系统具有较好的通用性，就能更快地调整当地环境，使其环境恢复力发生变化。大一点，环境可以恢复得更好更快。

8 模型评估

8.1 强项

- 当多种真菌同时存在时，我们将竞争力指数视为它们的相互作用。在相同的环境下，该模型科学合理，结果可以接受。
- 我们根据 Lotka-Volterra 方程建立了真菌之间相互作用引起的真菌生长速率的变化，然后对短期和长期的变化进行了检验，使得这个模型更有说服力；
- 在考虑温度敏感性分析时，选择了可能的温度范围，证明了物种组合在环境影响下的相互作用变化，证明了模型的稳定性；
- 在分析环境变化后，我们将 different 地区的参数代入测试结果，得到了很好的结果，表明我们的模型结构严谨，适合多地区的物种组合。

8.2 弱点和可能的改进

- 由于假设木质素、纤维素和半纤维素是木质素、纤维素和半纤维素，因此缺少分解速率的考虑；
- 在考虑耐湿指数与生长速率的关系时，由于缺乏可用数据，拟合的 effect 可能不理想；
- 当考虑真菌的组合时，只有成对组合是典型的。当真菌种类较多时，结果可能会有误差。

9 一篇文章

生态系统中的真菌

o 团队编号 2110178

生物圈的碳循环是维持生态系统平衡不可或缺的一部分。在碳循环中，有一个群体起着至关重要的作用：真菌。真菌作为生态系统的分解者，参与生态系统中几乎所有生物的分解，并将大部分分解产物返回生态系统，以供应系统重复使用。这是碳循环的重要组成部分。

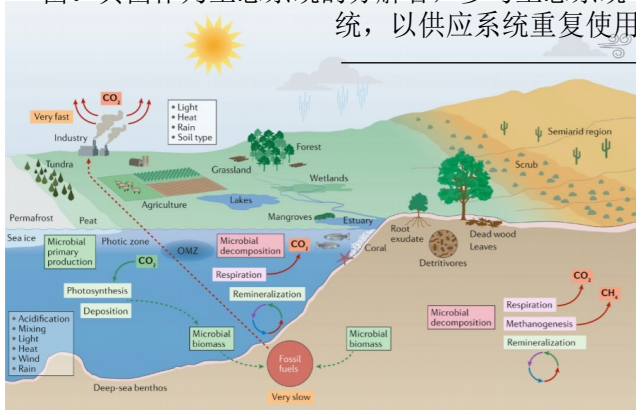


图1。来源:<https://www.babs.unsw.edu.au>

1 真菌的特殊作用

真菌将固定在动物和植物尸体中的复杂有机物分解成简单的化合物，生产者可以重复使用并释放能量。它的效果与制作人相反。真菌在生态系统中的作用非常重要。没有真菌，死去的动植物会堆积起来，造成灾难。碳源将被锁定在有机物中，不再参与循环。生态系统的物质循环功能将终止，这导致

生态系统的崩溃。

真菌的2个重要特征

通过对大量真菌和不同环境因素的分析，可以知道生长速度和耐湿性是真菌最重要的两个特性。增长率的不同导致了

真菌的生长，这导致分解速度的进一步变化。真菌的耐湿性反映了真菌对不同环境的适应性。但真菌的耐湿性越高，即对环境的耐受性越高，生长越慢，对环境耐受性低的真菌在适宜的环境中生长更快。

3 真菌之间会有相互作用

通过我们的研究，我们发现在相同的环境下，真菌的结合也会影响它们的分解速度。取白腐真菌、褐腐真菌和黑曲霉

例如，白腐真菌和褐腐真菌的组合会相互抑制；然而，白腐真菌和黑曲霉的结合将会促进。显然，在固定的环境下，真菌的多样性也会导致它们之间的相互作用更加复杂，它们对分解速率的影响也会更加复杂。

4 环境对其相互作用的影响

从上面我们可以知道，温度和耐湿性是真菌最本质的两个特征。因此，这里我们主要分析温度和湿度变化对它们的相互作用和分解速率的影响。

以上面分析的三种真菌为例。

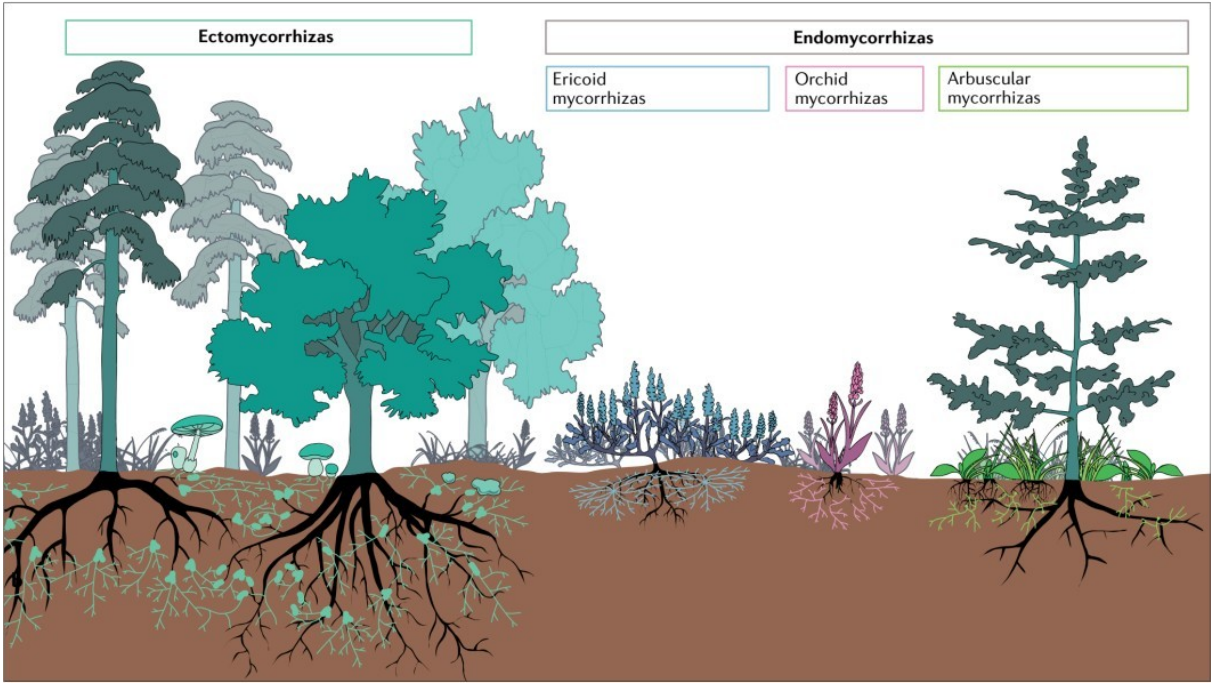


图2。来源:<https://doi.org/10.1038/s41579-020-0402-3>

在短期条件下，因为环境资源丰富，我们认为不同的真菌没有相互作用，生长速度是线性的。但从长远来看，环境变化对互动的影 响是巨大的。当温带温度较低时，我们认为优势种为褐腐真菌和黑曲霉；当温带温度高时，我们给出的优势种与低温一致，这是由于温度变化的相互作用。影响没那么大，所以优势种没变。然而，在热带雨林气候中，我们认为白腐真菌和黑曲霉的组合是优势种，因为与温带相比，热带环境更有利于我们举例说明的真菌的生长。

造成这种情况的原因是，对环境耐受性较高的真菌(褐腐真菌)会生长得更慢。相比之下，对环境耐受性较低的真菌(白腐真菌)会生长得更快。

5 生物多样性

森林是陆地上最复杂的生态系统，也是最繁荣的生态系统

种类和一些真菌。甚至大多数唱片真菌起源于森林。因此，真菌的多样性对维持森林的生物多样性起着至关重要的作用。真菌多样性构成森林生态系统中的碎屑食物链，是森林生态系统物质循环的主要组成部分。它在整个生态系统的发展过程中，如恢复、延续和维护中，占据着至关重要的地位。

现在越来越多的植物学家，特别是植物生态学家和森林生态学家意识到真菌的多样性在生态系统中起着至关重要的作用，它们与生态系统的同一进化的结果有关。

真菌在生态系统中的作用是通过对疾病现象的理解来实现的。腐烂和相互共生的现象得到了更好的理解。在所有生态系统中，真菌和所有其他生物之间的相互作用可以是直接的，也可以是间接的。有了真菌、生态系统和有机体的直接和间接作用，甚至整个系统都可以维持和延续。所有这些影响的根源在于真菌在生态系统的物质转化和能量流动过程中发挥的关键作用。

参考

- [1] 杰伊·列侬(2015)。驱动陆地生态系统动态的真菌特征。79(2), 243-262.
- [2] 资料来源:<https://microscope talk . WordPress . com/tag/moni linia-果蒂科拉/>
- [3] 资料来源:<https://中庭. lib.uoguelph.ca>
- [4] 来源:<https://www. chaetomiumqueen. com/aspergillus-nig 呃/>
- [5] 段传仁、朱丽萍、姚月良。(2009). 三种白腐真菌及其组合木质素降解酶的比较研究。菌丝体学报(04), 577-583。
- [6] 吴。(1998). 葡萄白腐病及其防治。农村科学实验(07), 20。
- [7] 艾伯特·斯佩克特(2002)。微生物生理学。
- [8] 梁治和张凯。(2009). 白腐真菌菌丝生长的理化条件研究。信阳师范学院学报(自然科学版)(01), 66-70。
- [9] 陈、曾光明、、黄丹莲。(2007). 黄孢原毛平革菌协同降解稻草的混合菌筛选。中国环境科学(02), 189-193。
- [10] 黄丹莲。(2011). 堆肥微生物群落演替和木质素降解功能微生物强化堆肥机制(博士论文, 湖南大学)。
- [11] 傅、傅、邱、、华建军。(2014). 木质素生物降解研究进展。浙江农业杂志(04), 1139-1144。
- [12] 贺、卢永森。(1998). 白腐真菌生化降解酸性染料废水的研究。污染控制技术(04), 197-198。
- [13] D. S. Maynard 等人, 在广泛的空间尺度上真菌性状表达的一致 trade-offs。纳特。微生物。4, 846853 (2019)。
- [14] 臧荣春。(2004). 微生物动力学模型。化学工业出版社。