

引言

生态系统是复杂的动态平衡系统。一方面，植物个体一直处在生长变化中，具有各自的形态及生长经历，个体间差异巨大，且邻近个体间具有复杂的相互作用（主要表现为资源竞争）；另一方面，由大量个体组成的植物群落一般具有稳定的结构特征（如年龄分布、林冠高度分布、分层结构等）。因此，如何准确刻画生态系统不同尺度的结构特征及其演变一直是生态学研究的核心问题之一，也是生态理论模型乃至地球系统模式建模的难点。

科学问题：如何模拟生态系统从个体到群体的动态平衡过程，并给出资源竞争过程中群体结构的统计特征？

模型试验设计与数据分析

模型简介

模型中主要考虑光合作用、呼吸作用、个体生长（生物量分配、形态发育）、个体死亡等过程，并基本采用植被动力学模式（如IAP-DGVM）中相应的生态学方案或其简化方案。

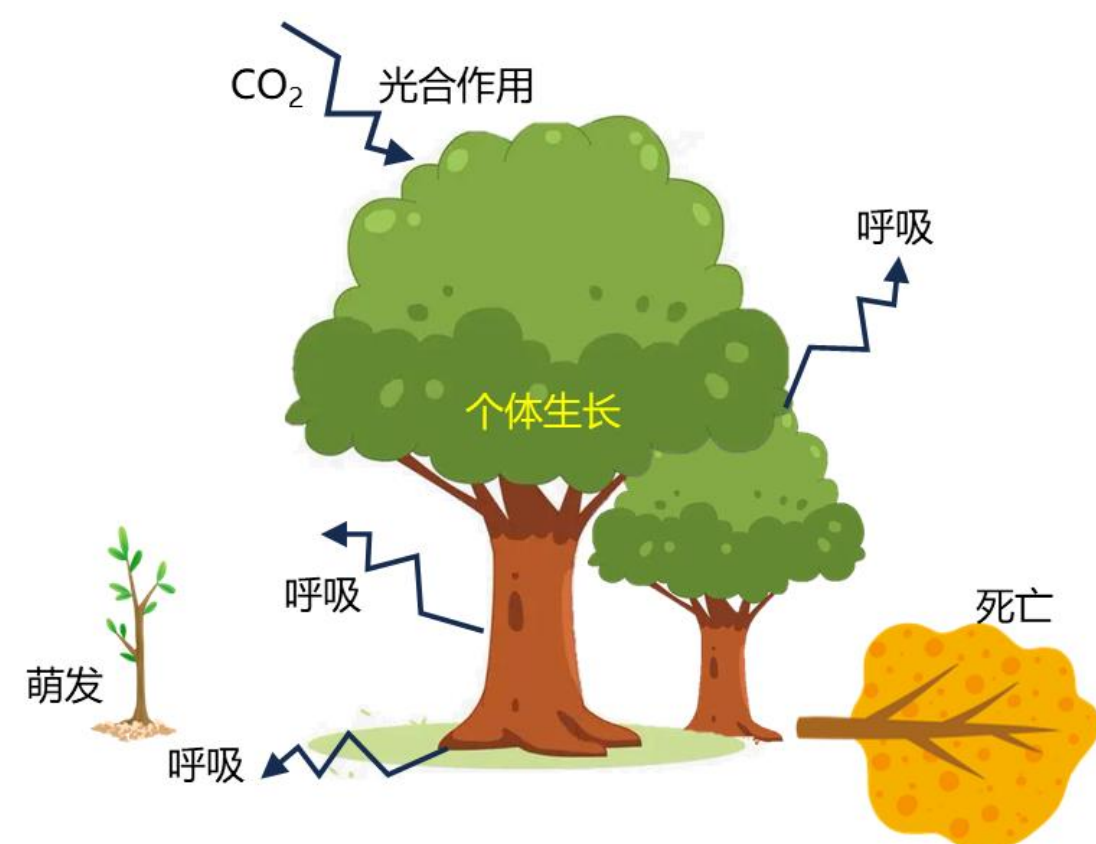


图1. 模型示意图

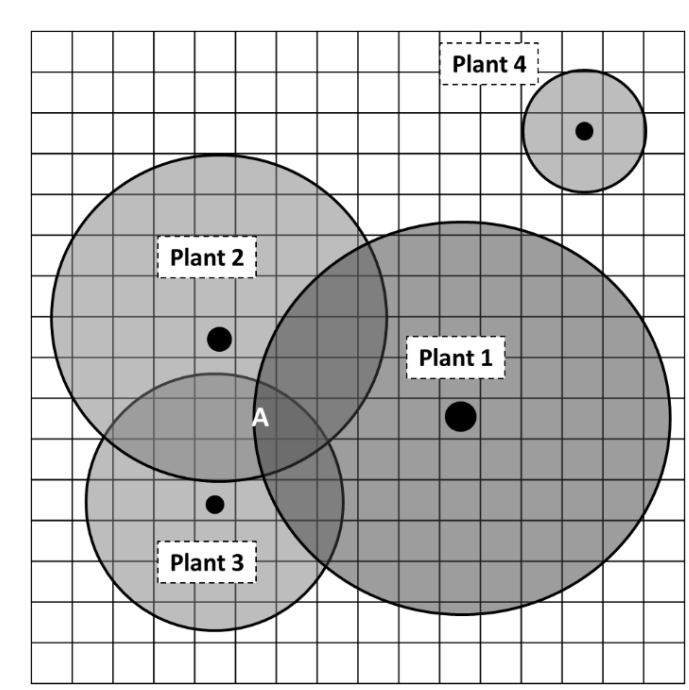


图2. 模型网格及个体设置示意图

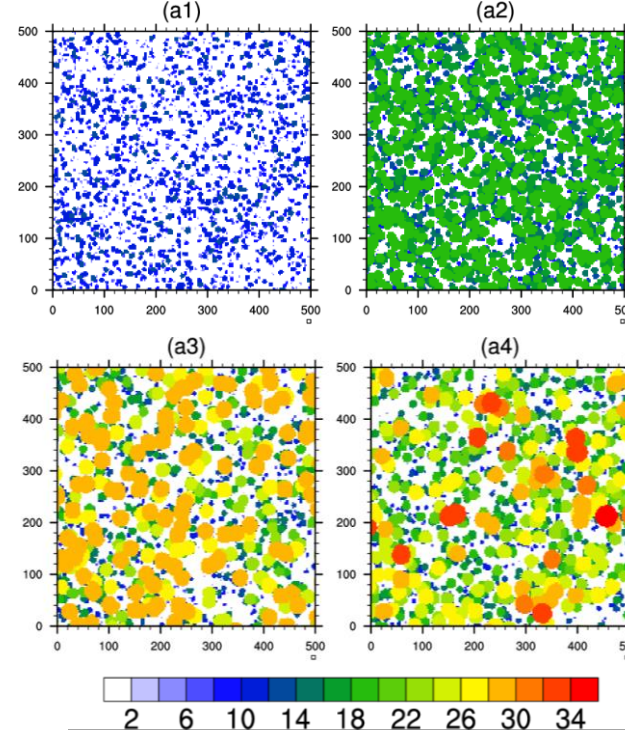


图3. 不同时刻顶层冠层高度的空间分布，不同颜色表示不同高度（单位：m）

试验设计

➢ 无竞争组（Control）：不考虑个体相互作用（所有个体均获得最大可利用资源）

➢ 完全非对称性竞争组（DIR）：竞争中最强个体获得全部待分配资源

$$\sigma_{ji} = \begin{cases} 1, & j \text{ 为最强竞争者,} \\ 0, & \text{其他情况.} \end{cases}$$

➢ 完全对称性竞争组（DIF）：

$$\sigma_{ji} = \frac{1}{n_i}$$

其中， σ_{ji} 表示个体*i*和个体*j*完全重叠时后者对前者资源获取的影响， n_i 表示个体*i*的近邻个体数。

本研究中DIR和DIF两组试验均包括7个模拟，分别取相对萌发率（控制树木个体数密度）为0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1.0, 3.0, 10.0（其中基准值为1.0），从而考虑不同情形下，群落的竞争强度及其导致的群落结构特征差异。（极低萌发率试验中个体数越少，个体间竞争弱，两种竞争方案试验都趋近于无竞争试验）

数据分析变量

特征量	定义	特征量	定义
顶层冠层	个体冠层中在垂直方向未被其它冠层遮挡的部分	冠层高度标准差	冠层高度按其面积加权的标准差
顶层冠层面积指数	所有顶层冠层面积之和与模拟区域面积的比值	顶层冠层高度标准差	顶层冠层高度按其面积加权的标准差
下层冠层	个体冠层中在垂直方向被其它冠层遮挡的部分	群体竞争度	1-顶层冠层面积与全冠层面积的比值
冠层平均高度	冠层高度的面积加权平均值	冠层高度标准差	冠层高度按其面积加权的标准差
顶层冠层平均高度	顶层冠层高度的面积加权平均值		

不同萌发率下群体特征比较

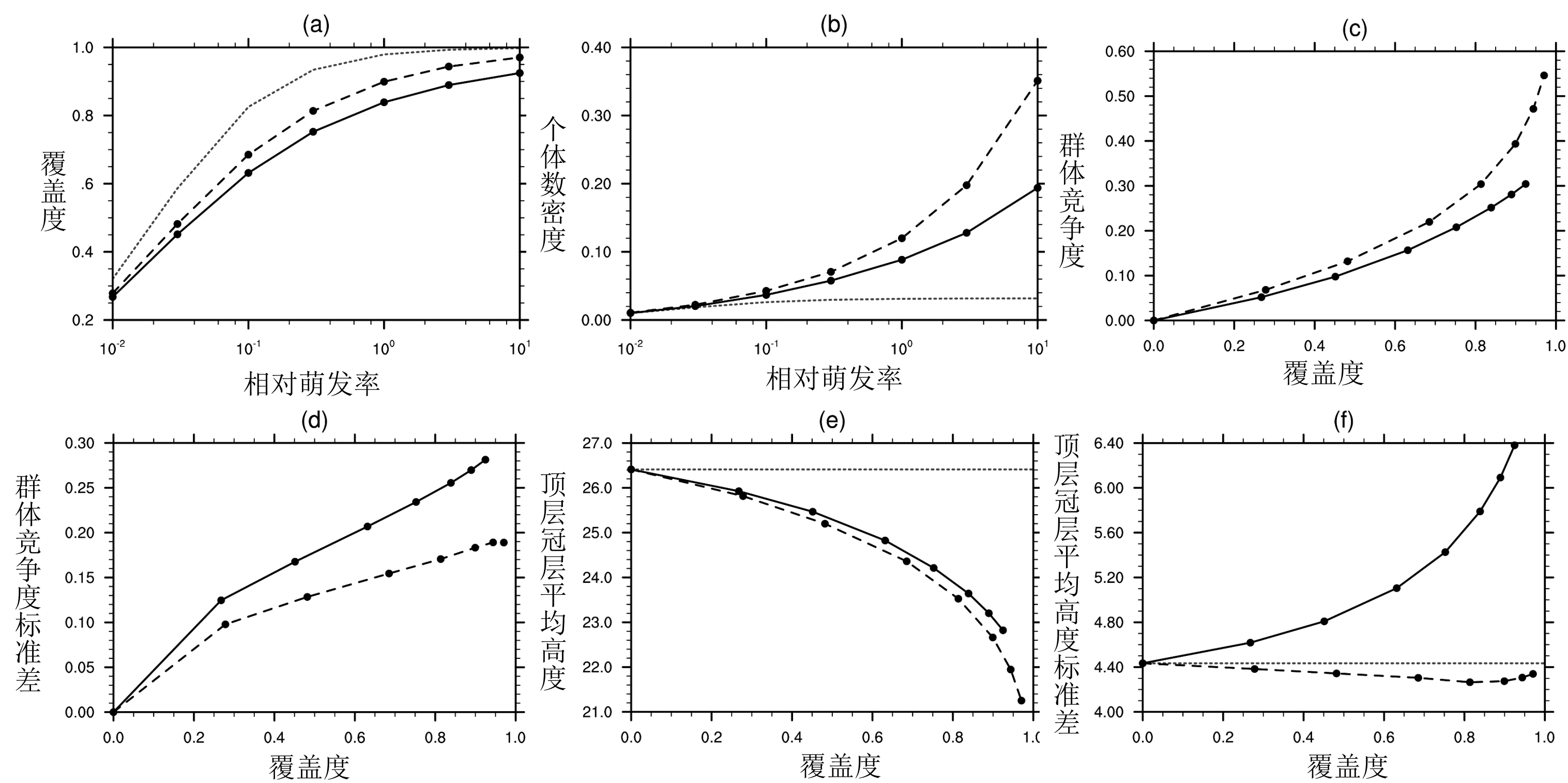


图4 群体特征统计分析。黑色实线和虚线分别为非完全对称竞争（DIR）和完全对称竞争（DIF）试验组，灰色虚线为无竞争组

- 相同萌发率下，无竞争情形下的覆盖度最大，直射光组最小（图4(a)）
- DIR组和DIF组的个体数密度随萌发率增加而迅速增加，且后者大于前者，但无竞争组的个体数密度一直较小（图4(b)）
- 群体竞争度随植被覆盖度的增加呈非线性增长，且在相同覆盖度下，DIF组的竞争度大于DIR组（图4(c)），且7组试验的竞争度标准差随植被覆盖度近似呈线性关系（图4(d)）
- 无竞争组顶层冠层的平均高度不随覆盖度变化，但DIR和DIF组植被覆盖区的顶层冠层平均高度随覆盖度的增加而降低（图4(e)）
- DIR组的顶层冠层高度标准差随植被覆盖度增加而增加，而DIF组则低于无竞争组（图4(f)）

群体冠层分布随高度的变化

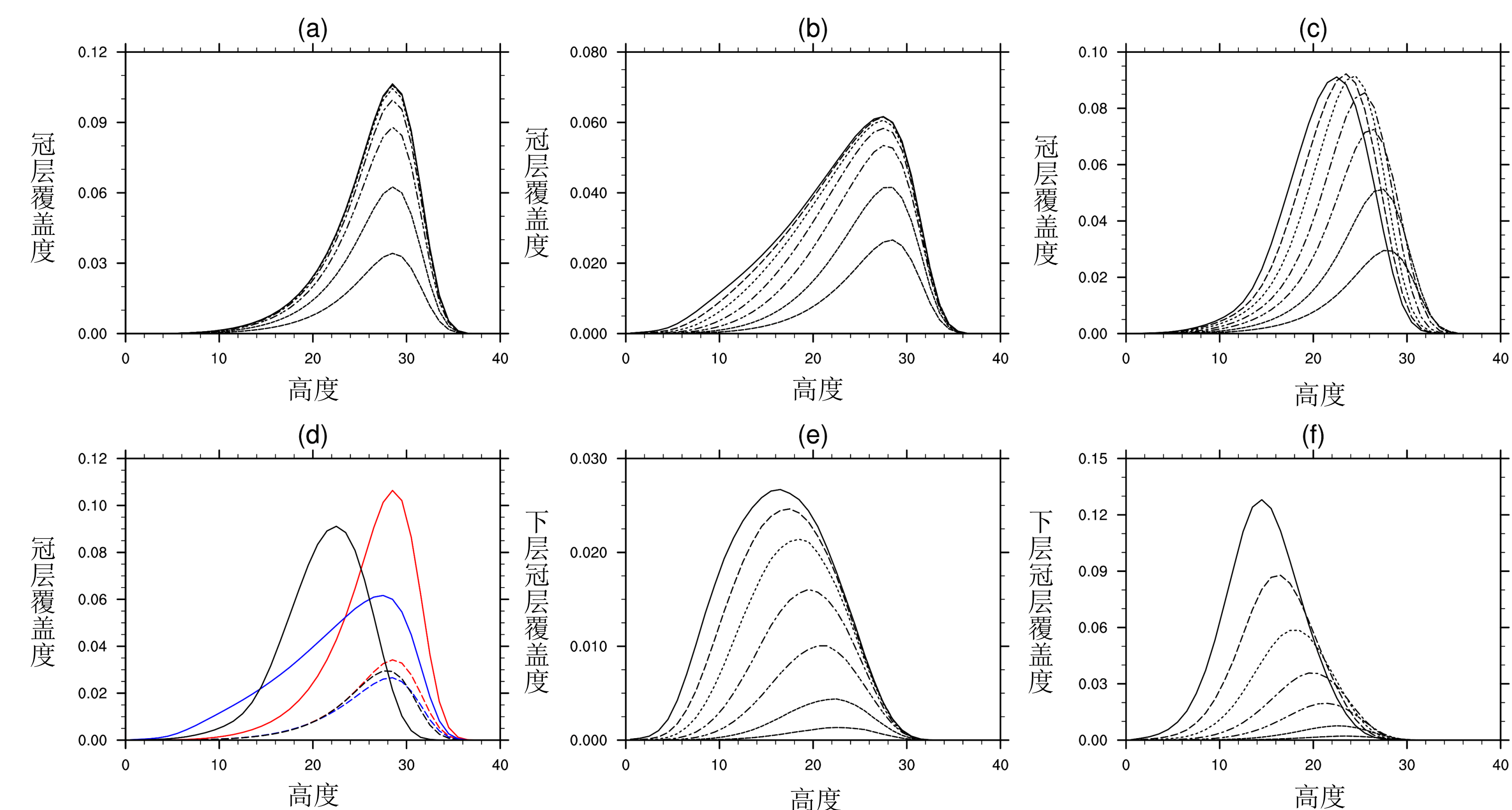


图5 模拟区域内冠层覆盖度随高度的变化。(a-c)分别为无竞争组、DIR组和DIF组顶层冠层分布，不同曲线分别对应不同萌发率；(d)不同试验组最低(虚线)及最高萌发率(实线)结果的对比，其中红色、蓝色、黑色分别对应无竞争组、DIR组和DIF组；DIR(e)和DIF组(f)下层冠层分布

- 在无竞争组中，不同萌发率的冠层结果仅相差一个比例系数（图5(a)）
- 对于DIR组而言，随着萌发率增加，所有高度的冠层覆盖度基本都增加，但高大冠层的覆盖度分布逐渐趋于稳定，植被总覆盖度（各曲线的面积）的增加主要来自低矮冠层的增加（图5(b)）
- 对DIF组而言，随着萌发率的增加，曲线逐渐增高并向低高度方向偏移，即高大冠层减少，低矮冠层增加，同时峰值对应高度也逐渐降低（图5(c)）
- 在极低萌发率条件下，3组试验得到的冠层结构近似相同(虚线)，但在高萌发率条件下，三者有显著差异(实线)，其中无竞争组(红线)曲线峰值对应的高度最高，覆盖度也最大；DIR组(蓝线)的峰值对应高度略低于无竞争组，但峰值对应的覆盖度低得多；DIF组(黑线)峰值对应的高度远低于另外两组试验（图5(d)）
- 对于DIR组而言，下层冠层覆盖度随高度的分布与顶层冠层覆盖度的分布类似（图5(e) vs 图5(b)），但对于DIF组而言（图5(f)），下层冠层覆盖度分布特征与顶层冠层分布明显不同，反而与图5(e)相似