

# 浙江大学

ZHEJIANG UNIVERSITY



## 生态学基础及实验 实验报告

实验名称 \_\_\_\_\_ 植物根系态分析 \_\_\_\_\_

实验地点 \_\_\_\_\_

姓 名 \_\_\_\_\_

学 号 \_\_\_\_\_

实验日期 \_\_\_\_\_ October 19, 2024 \_\_\_\_\_

指导老师 \_\_\_\_\_ 胡亮亮、何磊 \_\_\_\_\_

# 浙江大学实验报告

专业:  
姓名:  
学号:  
日期:  
地点:

课程名称: 生态学基础及实验 指导老师: 胡亮亮、何磊 实验类型: 观测  
实验名称: 植物根系态分析 成 绩:  签 名:

## 一、实验目的

1. 了解植物根的基本性状
2. 了解影响植物根形状的主要因素
3. 掌握获取及分析根形状的方法

## 二、背景知识及实验原理

### 1. 植物根的基本性状 (Root Trait)

#### (1) 根的分类

- a 依据个体发育: 有主根、侧根、不定根
- b 依据根的直径: 将直径在某个区间内的根归为一类
- c 依据根的顺序: 可以依据根的发育顺序、节点级别、拓扑结构对根进行编号, 从而分类

### 2. 常见的根性状指标

#### (1) 几何信息 (Geometrical information)

深度 depth、宽度 width、凸包区域 convex hull area 等

#### (2) 形态信息 (Morphological information)

直径 diameter、根长度 length、取向 orientation (见 Fig. 1)

#### (3) 拓扑信息 (Topological information)

侧根数量 lateral number、侧根间距离 inter-lateral distance、分叉角度 insertion angle、末端无分支区域长度 length of unbranched apical zone(LAUZ) 等。其中比较重要的几个拓扑指标 (见 Fig. 2) 是:

- 高程 Altitude ( $a$ ) = 从该部位到最顶端的最长路径段数
- 重要级别 Magnitude ( $\mu$ ) = 该部分以下所有末端的数量
- 拓扑指数  $TI = \frac{\log a}{\log \mu}$

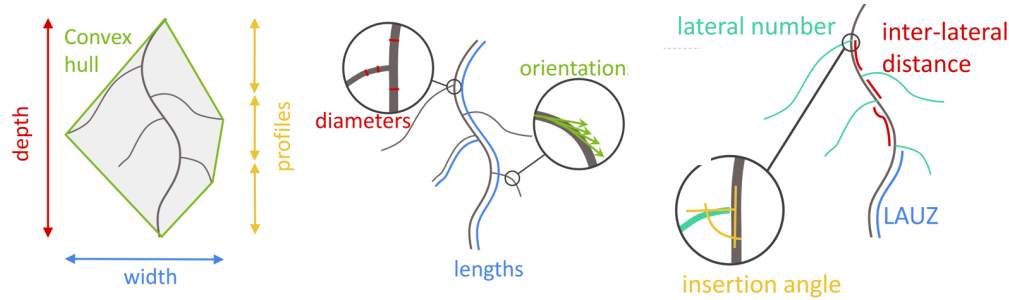


Fig. 1: 常见根形状指标（从左至右分别为几何、形态、拓扑）

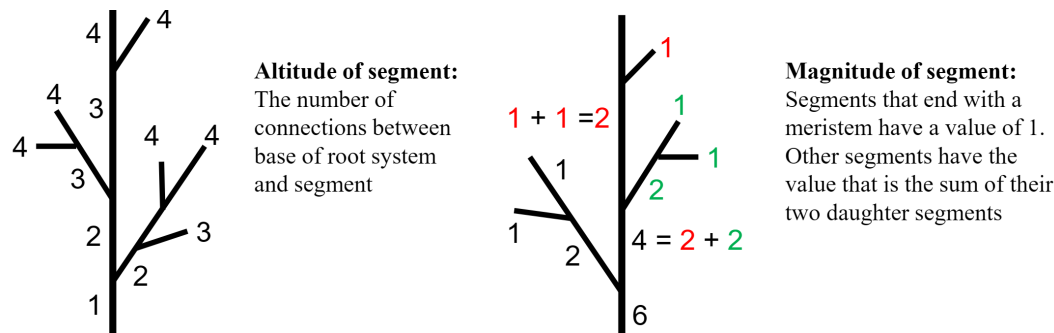


Fig. 2: 两种重要的拓扑指标

### 3. 影响根形状的环境因素

- 土壤养分 Soil nutrients: 更多的根适合吸收不可移动的养分，更少的根适合吸收可移动的养分
- 水资源分布 Water distribution: 沙漠中的植物普遍有发达的大面积根系来吸收水分
- 邻体相互作用 Interaction with neighbors: 植物的根系会尽量不与周围的植物根系重叠交错
- 病害和毒害 Disease and toxicity: 远离有毒物质
- 共生微生物 Symbiotic microorganisms: 例如豆科植物的共生根瘤菌

## 三、 实验设备和材料

### 1. 工具 and 材料

- 铲子
- 扫描仪
- 塑封袋
- 根盘
- Rhizo Vision Explorer 软件

实验名称：植物根系态分析

四、 实验步骤

1. 植物样品采集

- 在同一生境中，小组内每位同学各自选取一种植物，最好有四种不同的科，每个科采集 4 个个体，将其根部完整挖出，注意细根的完整性。每棵植株单独放入一个样本袋，包括地上和地下部分。

2. 根系处理

- 将植物根样用自来水冲洗，直至将其表面杂质完全去除。向根盘中加入适量蒸馏水，将植物根系放入其中，仔细摆放。
- 注意：摆盘时要尽量减少根系之间交叉；托盘内没有土壤颗粒等杂志；根与托盘四周之间留出至少 1cm 空隙。

3. 扫描分析

- 根盘外部和底部擦干后，放入扫描仪进行扫描，获取 600dpi 的图像。
- 利用 Rhizi Vision Explorer 软件对根系图像进行分析，获取各项指标。

4. 样本保存与处理

- 实验结束后，根样放在信封内，60℃ 烘 48h 至完全干燥。

五、 实验结果及数据分析

1. 植物生长状况

Tab. 1: 植物生长状况

植物名称	构树	酢浆草	西伯利亚鸢尾花	积雪草
目	蔷薇目	酢浆草目	百合目	伞形目
科	桑科	酢浆草科	鸢尾花科	伞形科
属	构属	酢浆草属	鸢尾花属	积雪草属
拉丁名	Broussonetia papyrifera (L.) L'Hér. ex Vent.	Oxalis corniculata	Iris sibirica	Centella asiatica (L.) Urban
生活型	乔木	多年生草本	多年生草本	多年生草本
主要特征	小树之叶常有明显分裂，表面粗糙，背面密被绒毛	全株被柔毛，根茎稍肥厚，直立或匍匐，匍匐茎节上生根	根状茎粗壮，斜伸；须根黄白色，绳索状，有皱缩的横纹，叶灰绿色，条形	茎匍匐，细长，弯曲，节上长着生须状根或明显根残痕，叶片膜质至草质，圆形、肾形或马蹄形
生境	实验中心附近树林	实验中心附近林下	实验中心附近林下花圃	实验中心附近林下

样本采集地点照片（见 Fig. 3）:



Fig. 3: 植物生境

2. 各项根性状数据

Tab. 2: 各项根形状数据

植物名称	构树	酢浆草	西伯利亚鸢尾花	积雪草
平均根尖数量	256	163	68	104
平均总根长（mm）	1784.4	1116.36	389.66	704.78
平均最大根深（mm）	209.46	78.56	37.12	68.53
平均最大宽度（mm）	142.69	98.25	41.91	87.21
W/D	0.68	1.82	1.31	1.39
平均直径（mm）	1.57	0.77	0.47	1.02
平均最大直径（mm）	7.21	4.54	1.78	5.84
平均体积（mm <sup>3</sup> ）	6264.22	970.01	101.93	1000.94
平均根取向（degree）	47.1	42.22	40.56	44.21

**数据处理说明：**为直观地体现植物根系的真实情况，上表数据均采用 mm 为单位，与图片分析软件默认的像素 px 不同。已知拍摄获得的图像分辨率为 600dpi，即 600 个点每英寸，计算可得相当于每毫米 23.62px。使用软件自带的像素与实际长度转换即可得到上表数据。

本次样本采集中，我们采集了一种木本植物，三种草本植物。其中木本植物构树的根系特征明显区别于三种草本植物，平均总根长、平均最大根深、平均最大宽度、平均直径这几项指标都要明显高于三种草本植物。需要指出的是，由于构树的根系过于发达，无法全部挖出分析，故我们取得的样品是幼年树苗，且部分根在挖掘时折断，可以想到的是，如果取样完整，构树根系的这几项数据与另外三种草本植物的差异会更加明显。在根形态方面，具有粗壮的、较长的木质主根，侧根相对较少，根系的发展主要是向下延伸，符合木本植物地上部分高大，需要更粗更深的根系支撑的特点。构树的平均根取向可以认为是无效数据，因为获得的根系较长，为了能够完整扫描，我们将其认为弯曲，自然状况下构树的根系其实弯曲程度不大。

在三种草本植物中比较平均总根长、平均最大根深、平均最大宽度、平均直径这四个指标可以发现，酢浆草的根系每项均为最高，积雪草次之，西伯利亚鸢尾花最低。这几项数据基本上可以反映根系的发达程度，酢浆草茎节多分岔，且在匍匐茎上也会生根，地上部分茂密，需要发达的根系来支撑植株、供给养分。虽然地上部分也较大，但是其根系存在明显的粗大主根而侧根较少，使得其根系的直径和平均体积要大于另外两种草本植物。西伯利亚鸢尾花较为特殊，本实验中采集到的根系样本来自于它粗大球茎上的须根，数量少、直径小，W/D 值明显高于其他样本，表明这些须根主要横向发展而非纵向。

各植物根系样本的扫描彩色处理结果见 Fig. 4，该图可以较好地反应各种植物的根系生长特点，颜色代表了根的直径，绿色最粗，蓝色次之，红色最细。

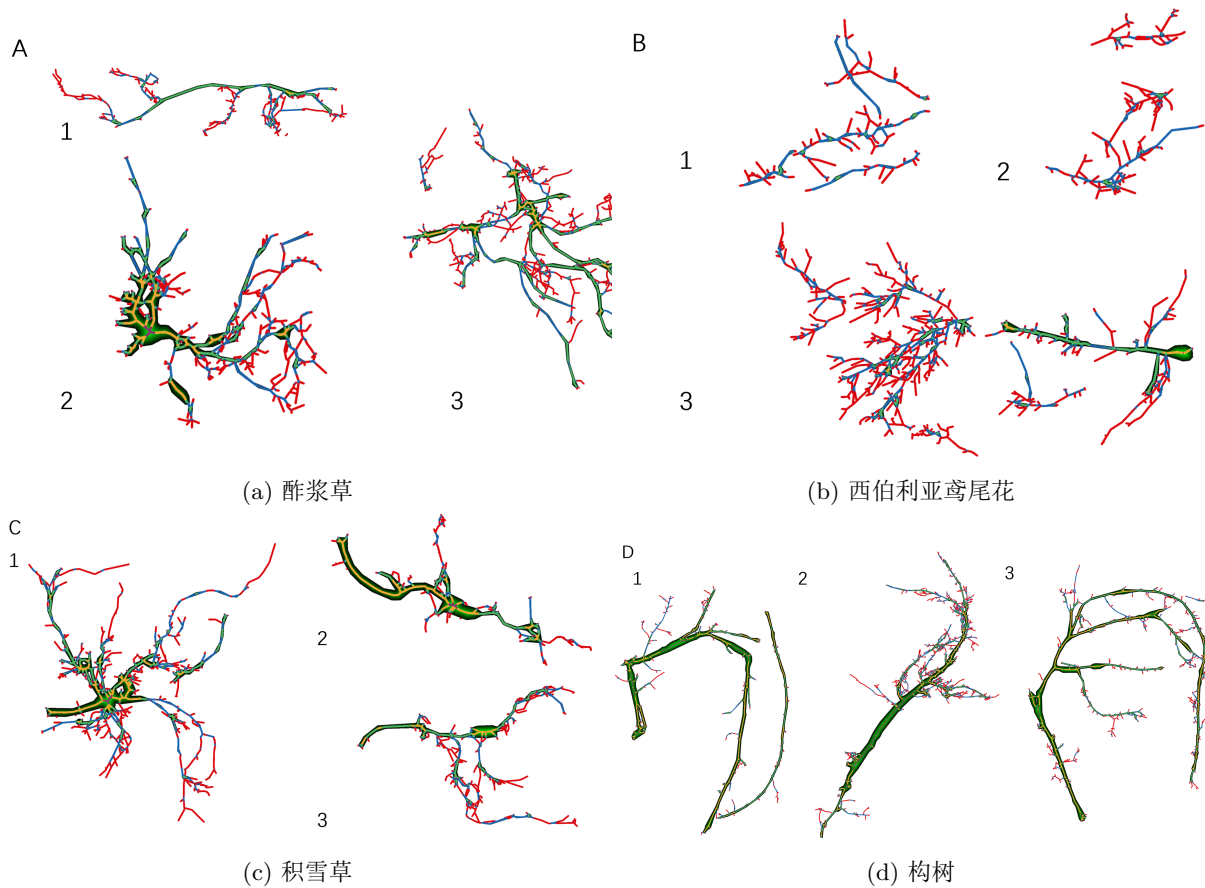


Fig. 4: 软件分析根形态图

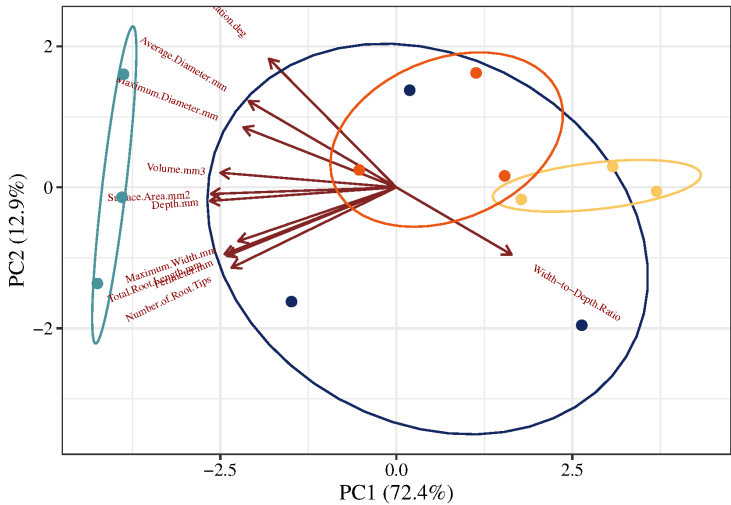


Fig. 5: PCA 聚类

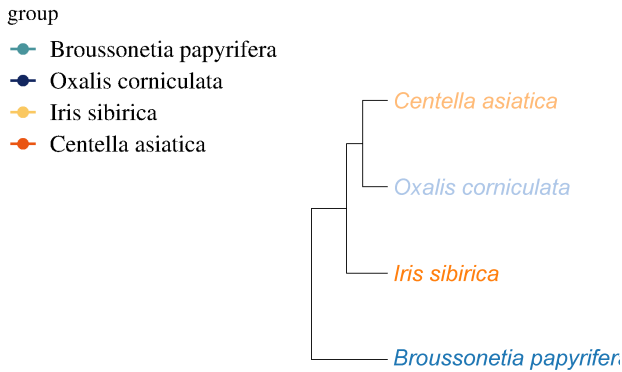


Fig. 6: 树状聚类

3. 数据分析

由于实验测得的数据较多，分析较困难，故首先进行包含所有变量的 **PCA 聚类分析**（见 Fig. 5）。第一主成分 PC1 的解释度为 72.4%,PC2 的解释度为 12.9%，二维 PCA 分析的总解释度为 85.3%, 已经能够较好地解释数据分布了。观察各个因素向量在 PCA 坐标轴上的投影，PC1 分量绝对值最大且 PC2 分量绝对值最小的三个因素分别为根深度、根表面积、根体积，故这三个因素主要影响在 PC1 上的聚类；而平均直径、最大直径、总根长、根尖数这几个因素在 PC1 和 PC2 上的分量均比较大，说明对两个因素均有影响。

观察各样本在 PCA 图中的分布，可以发现构树、西伯利亚鸢尾花、积雪草能够明显地区分开，样本聚集程度高；但酢浆草的聚集程度低，68% 置信度椭圆级基本包含了另外两种草本植物所在的区域，可见这三种植物的特征较为相似。推测酢浆草样本点分散主要是采样不均一导致的。在采集酢浆草样本时，三种植株选取了不同生长阶段的，有幼嫩个体也有较老的个体，有匍匐状个体，有直立生长个体，所以个体与个体之间根的相似性较差。而另外三种植物样本，从根形态扫描图中就可以看出，个体之间还是具有比较明显的相似性。另一可能原因是样本数量不够多，某个种类的特征还未能充分体现。若增加采样数量，PCA 聚类效果或许会更好。

再通过**树状聚类**来分析各个样本之间的相似度，绘制树状聚类图（见 Fig. 6），两个样本之间的距离越近，表示相似度越高。从图中可以看出，积雪草和酢浆草的相似度最高，这两者又与西伯利亚鸢尾花较相似，与这三者相似度最低的是构树。该分类结果也符合实际，积雪草与酢浆草根系细而多且长度相仿，西伯利亚鸢尾花根系较短且分岔多，构树根系具有明显的乔木特征，与三种草本植物相似度低。

上述分析只是根据统计数据对样本的特征进行归纳，但未分析特征与特征之间的内在规律。现对数据进行**相关性分析**，得到二维的相关性热图（见 Fig. 7）。部分变量之间的强相关性显而易见，如总根长与体积之间存在强正相关，在直径不变的情况下长度越长体积便越大；再如根尖数与总根长呈强正相关，对同一种植物而言越长的根必然存在越多的分岔，这些都是自然的。比较有趣的几组相关性是：

- a W/D 值与深度呈强负相关：即 W/D 值越大，深度越小，这表明了植物根系的生长在会在向下延伸或向四周延伸之间作出取舍，二者不可兼得。
- b 深度与最大直径呈强正相关：根系的**最大直径**主要出现在基部，向下延伸的根主要是**最粗的主根**，且主根上端生长时间长，直径大，下端新生部分较细。深度越大说明基部的生长时间越长，最大直径便越大。
- c W/D 值与平均根取向呈强负相关：即 W/D 值越大，平均根取向越小，这说明主要向四周延伸的根系倾向于更加直线的根，而主要向下延伸的根系倾向于弯曲的根。猜测是向四周延伸的根密度足够大，不需要弯曲也能有足够大的覆盖面积；而向下延伸的密度小但每条都很长，需要通过更多的弯曲来获得更多的覆盖面积。

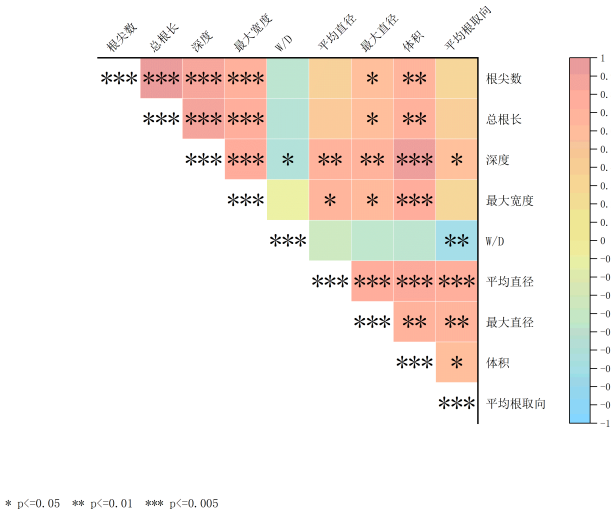


Fig. 7: 相关性分析



4. 思考题

采集样本形成不同根系的原因是什么？

最根本的原因是这些植物的祖先在地球上不同的自然环境中进化，上亿年的自然选择让其具有了最能适应当地环境的基因组。比如构树有能促进木质部形成的基因，但其他几种植物没有；积雪草原产于寒冷干燥的高山草原环境，相较于其他两种植物，其根系更发达，能够更高效地吸收地下水分和营养物质；酢浆草具有喜阳的特点，叶片较多且簇生，匍匐状的主根能够更好地支撑地上部分；西伯利亚鸢尾花具有粗大的地下球茎，起到了一部分根的作用，对于真正的根的功能需求就相对较弱，故其根系在直径、长度等方面都不如另外两种草本植物，而只要向四周延伸，起到固定植株的作用，而且西伯利亚鸢尾花的样本采自人工栽培的花坛，土壤营养条件、水分条件都要好于普通林下生长的另外两种植物，这也在一定程度上减弱了其根系的生长发育。

总的来说，植物根系的形成是一个复杂的过程，受到遗传、环境、生理和进化等多种因素的共同影响。不同植物的根系之所以不同，是因为它们在这些因素的作用下，形成了各自独特的适应性特征。

六、 附录

Rhizo Vision Explorer 软件输出的原始数据见下表

Tab. 3: 原始数据

File.Name	Number.of.Root.Tips	Total.Root.Length.mm	Depth.mm	Maximum.Width.mm
构树-3	270	1821.634	199.238	140.601
构树-2	328	2153.368	228.366	146.782
构树-1	169	1378.361	200.762	140.686
酢浆草-1	109	544.233	31.329	117.019
酢浆草- 2	252	1972.449	128.831	117.273
酢浆草-3	127	832.392	75.529	60.457
西伯利亚鸢尾花-1	23	130.716	20.449	37.172
西伯利亚鸢尾花-2	44	258.83	32.303	43.819
西伯利亚鸢尾花-3	137	779.431	58.594	44.75
积雪草-1	187	1191.648	100.931	89.585
积雪草-2	45	340.341	50.466	87.257
积雪草-3	81	582.353	54.191	84.801

Tab. 4: 原始数据（接上表）

File.Name	Width-to-Depth.Ratio	Average.Diameter.mm	Maximum.Diameter.mm	Perimeter.mm
构树-3	0.706	1.51	6.84	2958.158
构树-2	0.643	1.206	7.85	3176.702
构树-1	0.701	2.007	6.93	2219.036
酢浆草-1	3.735	0.62	2.785	921.008
酢浆草- 2	0.91	0.746	3.899	3274.344
酢浆草-3	0.8	0.946	6.944	1285.128
西伯利亚鸢尾花-1	1.818	0.467	1.378	237.558
西伯利亚鸢尾花-2	1.356	0.455	1.607	440.723
西伯利亚鸢尾花-3	0.764	0.494	2.348	1279.237
积雪草-1	0.888	0.853	6.293	1864.706
积雪草-2	1.729	1.406	6.182	519.51
积雪草-3	1.565	0.794	5.052	925.72



Tab. 5: 原始数据（接上表）

File.Name	Volume.mm <sup>3</sup>	Surface.Area.mm <sup>2</sup>	Average.Root.Orientation.deg
构树-3	5545.304	8605.756	47.409
构树-2	6301.782	8411.363	42.234
构树-1	6945.572	8669.737	51.652
酢浆草-1	250.623	1056.576	35.469
酢浆草- 2	1456.096	4610.8	43.392
酢浆草-3	1203.319	2478.54	47.809
西伯利亚鸢尾花-1	30.027	190.099	38.283
西伯利亚鸢尾花-2	56.191	366.141	41.535
西伯利亚鸢尾花-3	219.578	1205.322	41.868
积雪草-1	1447.361	3187.235	46.049
积雪草-2	999.72	1530.244	45.455
积雪草-3	555.733	1436.035	41.111