



离心机法测枝条脆弱性曲线的理论与模型

答辩人： 王玉杰

导师： 曹坤芳研究员

中国科学技术大学生命科学院
中国科学院西双版纳热带植物园

2013年11月

大纲

① 背景

枝条导水率的研究
脆弱性曲线的研究
离心机法

② 负压与导水率

负压下导水率的测定
气穴化程度和负压敏感性的关系

③ 模型的构建与预测

离心机内枝条的模型
模型的结果和预测

大纲

① 背景

- 枝条导水率的研究
- 脆弱性曲线的研究
- 离心机法

② 负压与导水率

- 负压下导水率的测定
- 气穴化程度和负压敏感性的关系

③ 模型的构建与预测

- 离心机内枝条的模型
- 模型的结果和预测

枝条导水率及其应用

枝条导水率定义

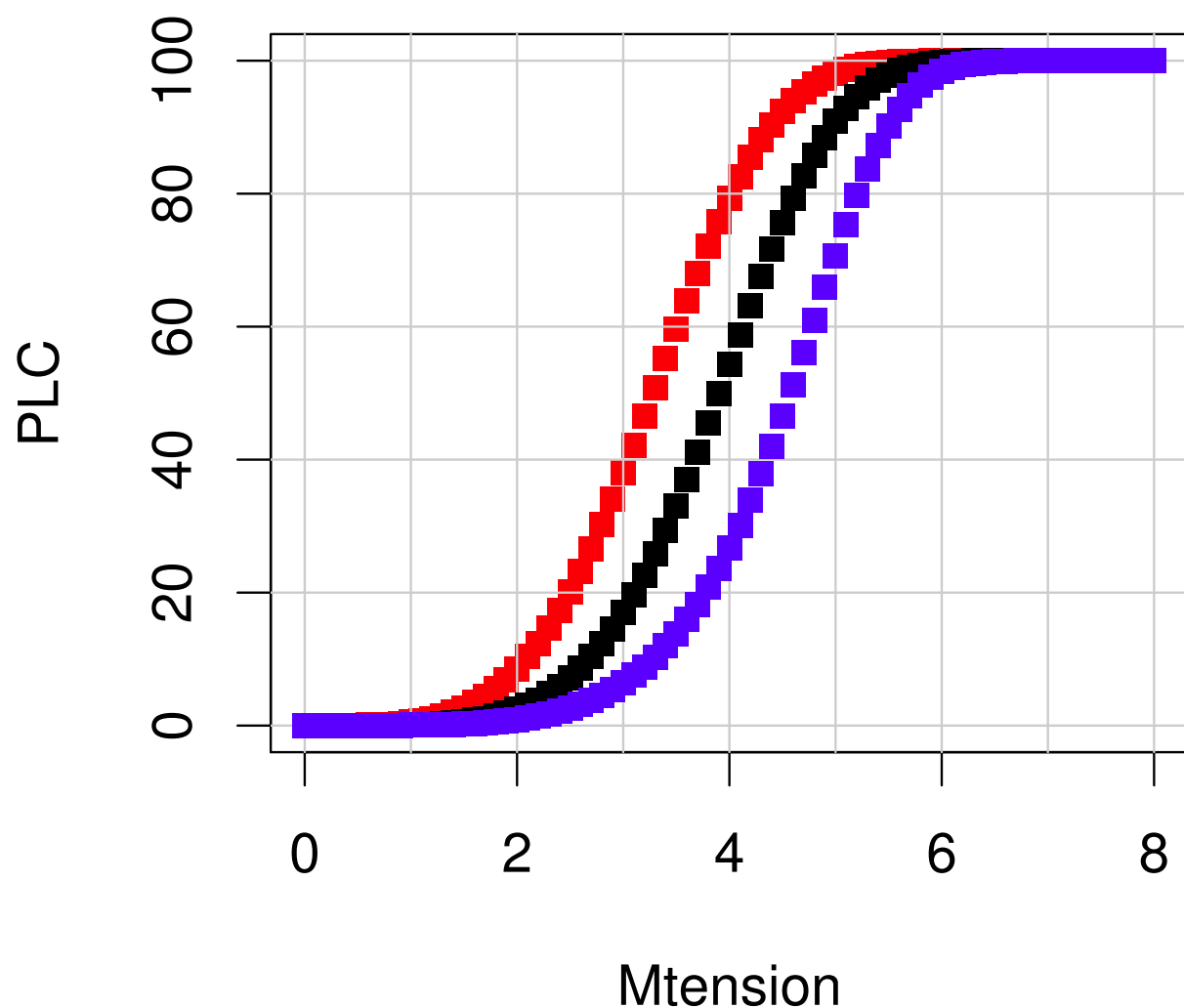
Hydraulic conductance, k_h : 流过枝条的液体的质量和流经该枝条的液体压力梯度的比值, 即:

$$k_h = \frac{F}{\Delta P / \Delta x} \quad (1)$$

导水率的应用

- 边材比导率(k_s), 叶比导率(k_l), 衡量枝条供水能力;
- 脆弱性曲线, 衡量枝条对环境的耐受能力。

脆弱性曲线



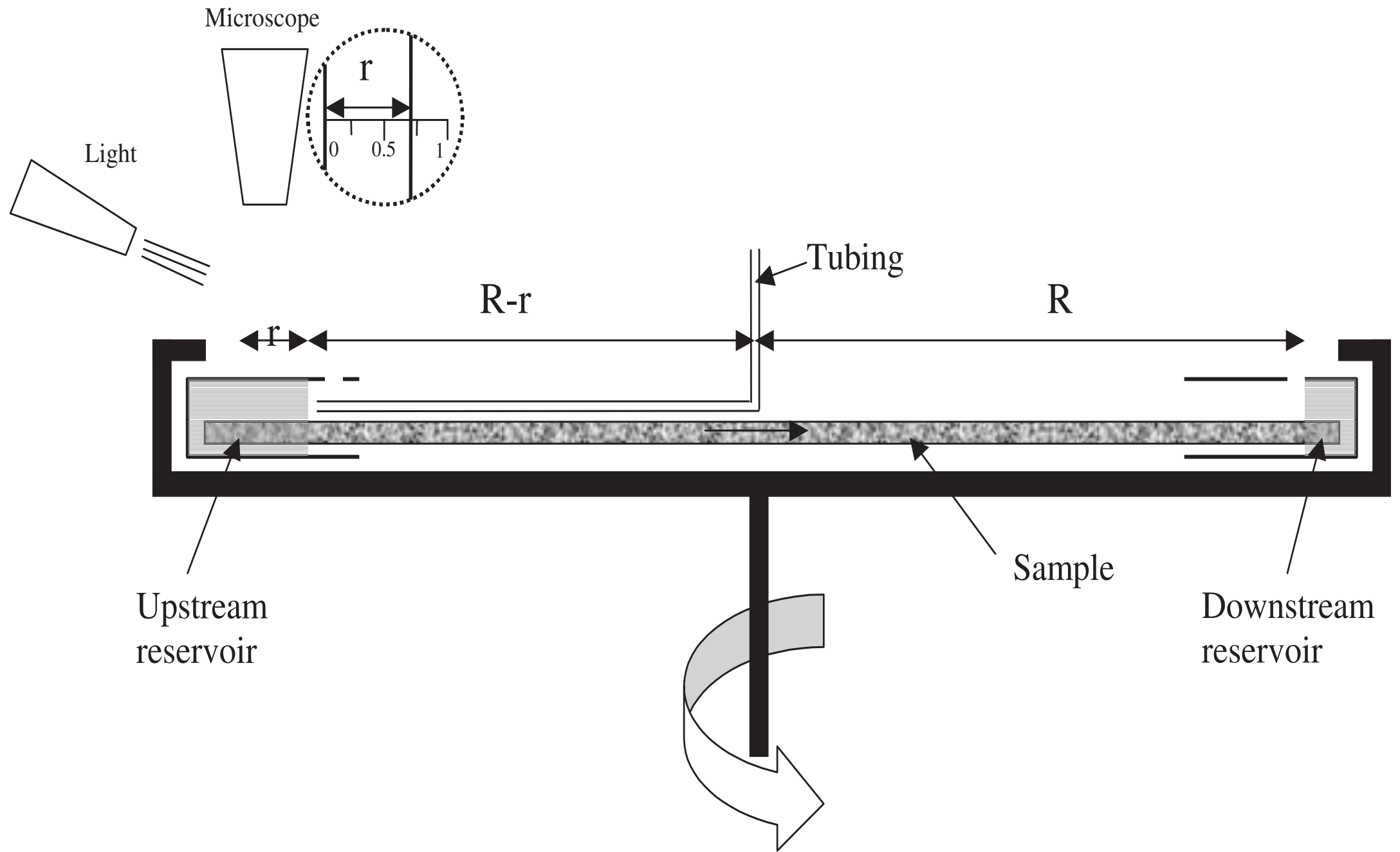
定义

脆弱性曲线(Vulnerability Curve)通过绘制木质部压强和导水率损失百分比(PLC)实现,脆弱性是指枝条承受环境胁迫的能力,反映了枝条对气穴化的抵抗能力。

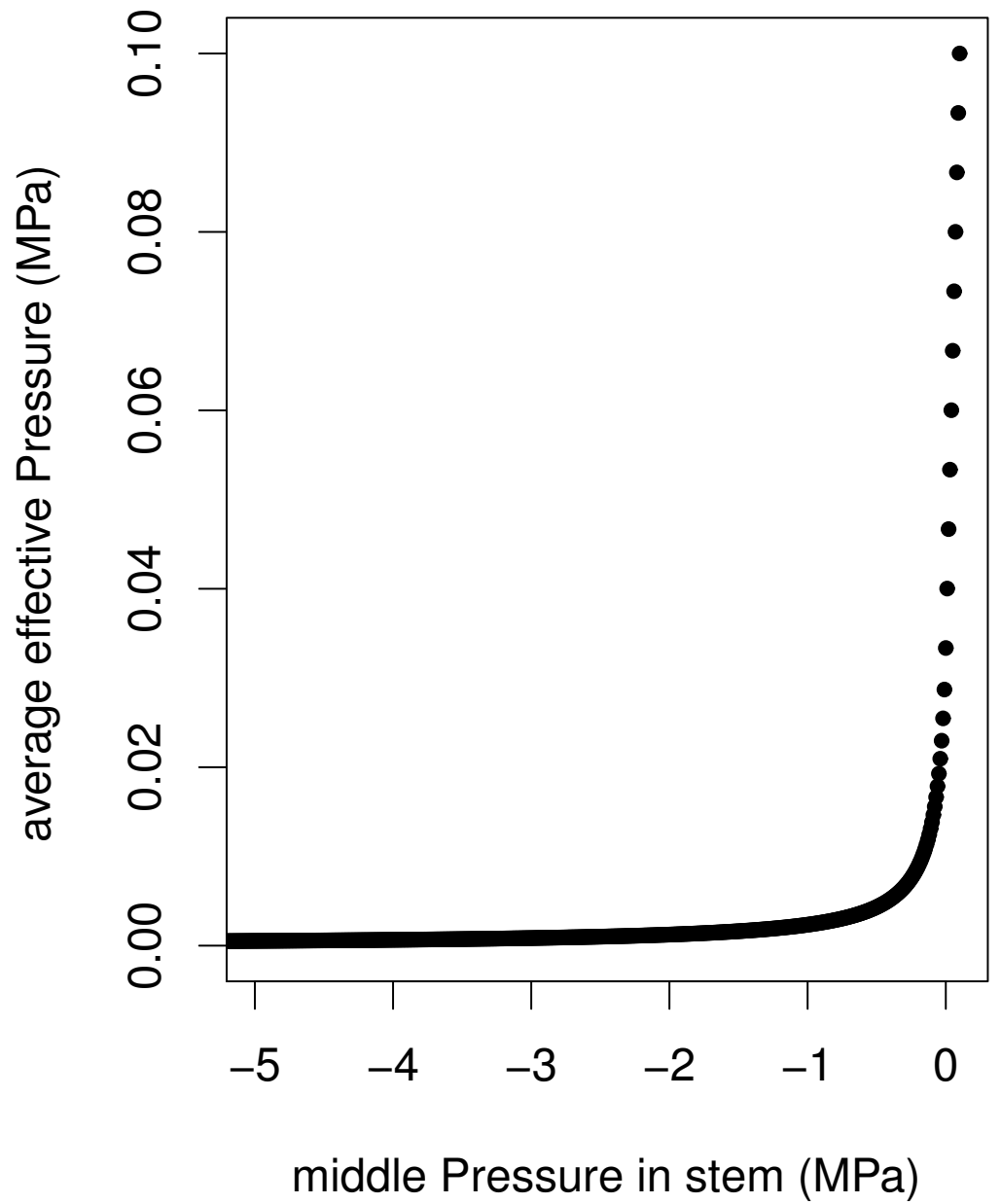
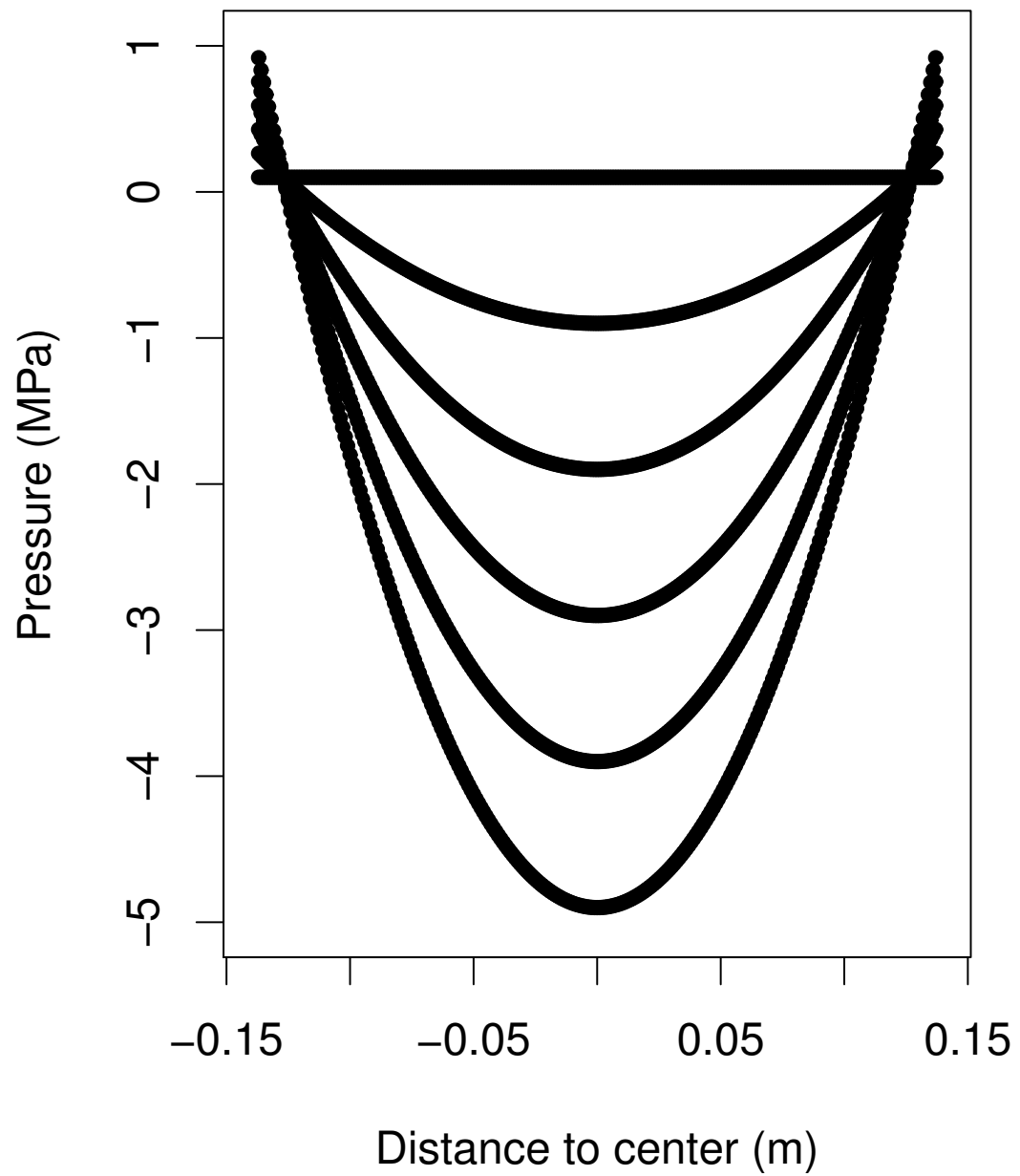
意义

脆弱性曲线反映了枝条承受如干旱、寒冷等环境胁迫的能力。木质部对气穴化的抗性对于植物生理和生态学有着重要的意义。

离心机法示意图



离心机内压力的分布



离心机法导水率的测定

离心机外测定

将枝条取出离心机进行导水率测定。

离心机内测定

直接在离心机内，通过观察液面的变化来计算压力和导水率。

$$F^* = s(r_1 - r_2)/(t_2 - t_1) \quad (2)$$

$$\Delta P^* = 1/6\rho\omega^2 \frac{3R^2(r_1 - r_2) + (R - r_1)^3 - (R - r_2)^3}{r_1 - r_2} \quad (3)$$

$$k_h = \frac{F^* L}{\Delta P^*} \quad (4)$$

大纲

① 背景

枝条导水率的研究
脆弱性曲线的研究
离心机法

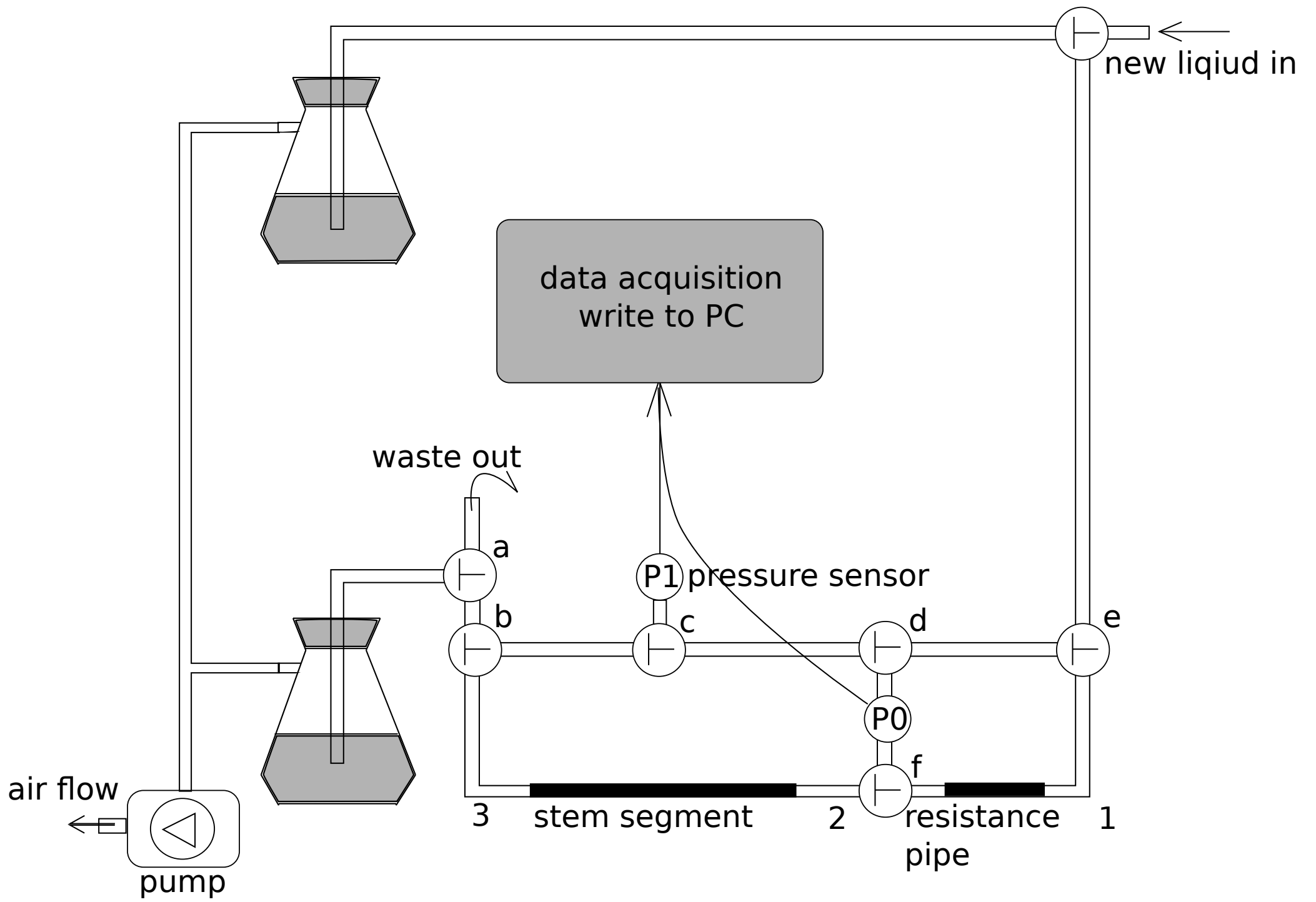
② 负压与导水率

负压下导水率的测定
气穴化程度和负压敏感性的关系

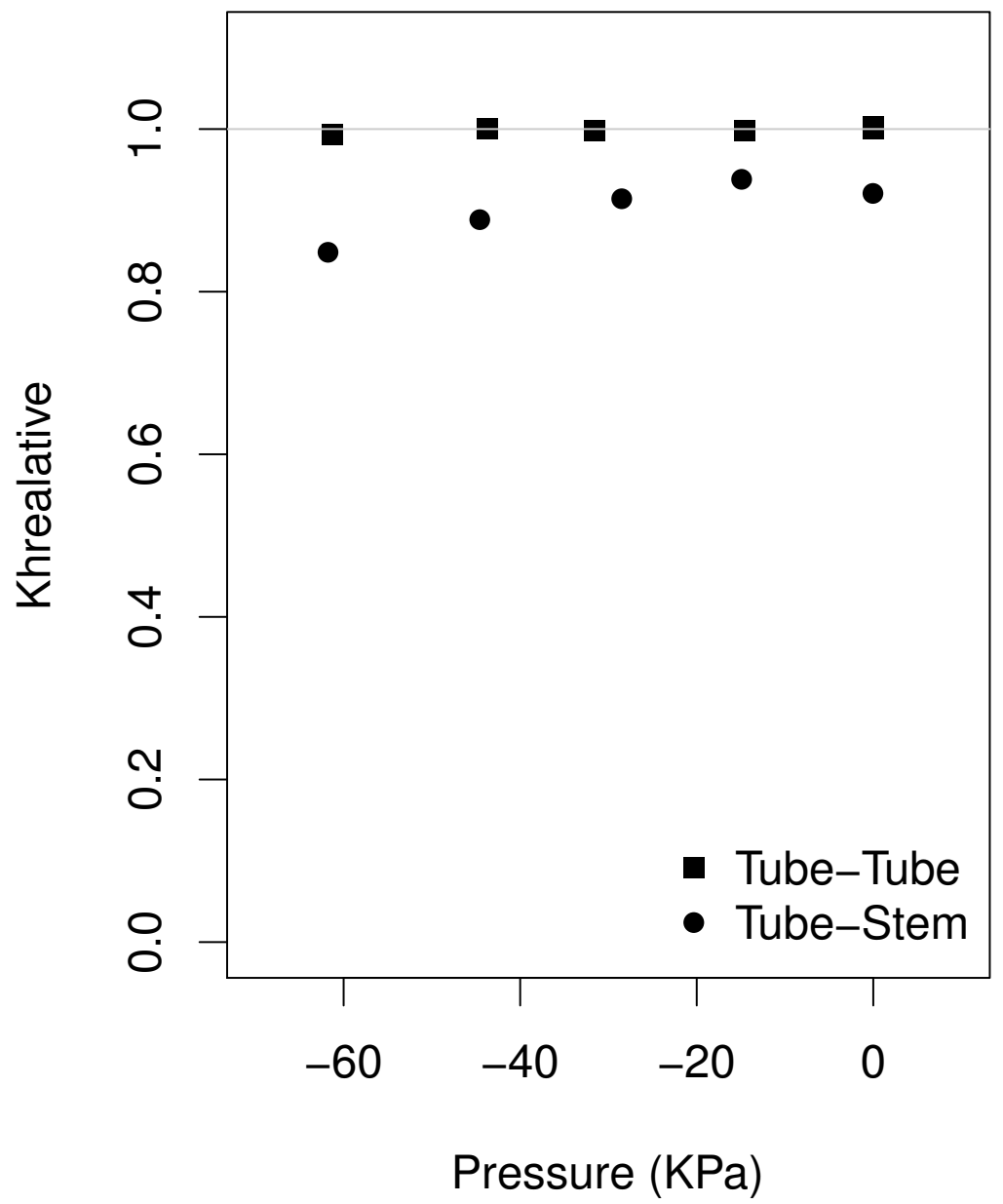
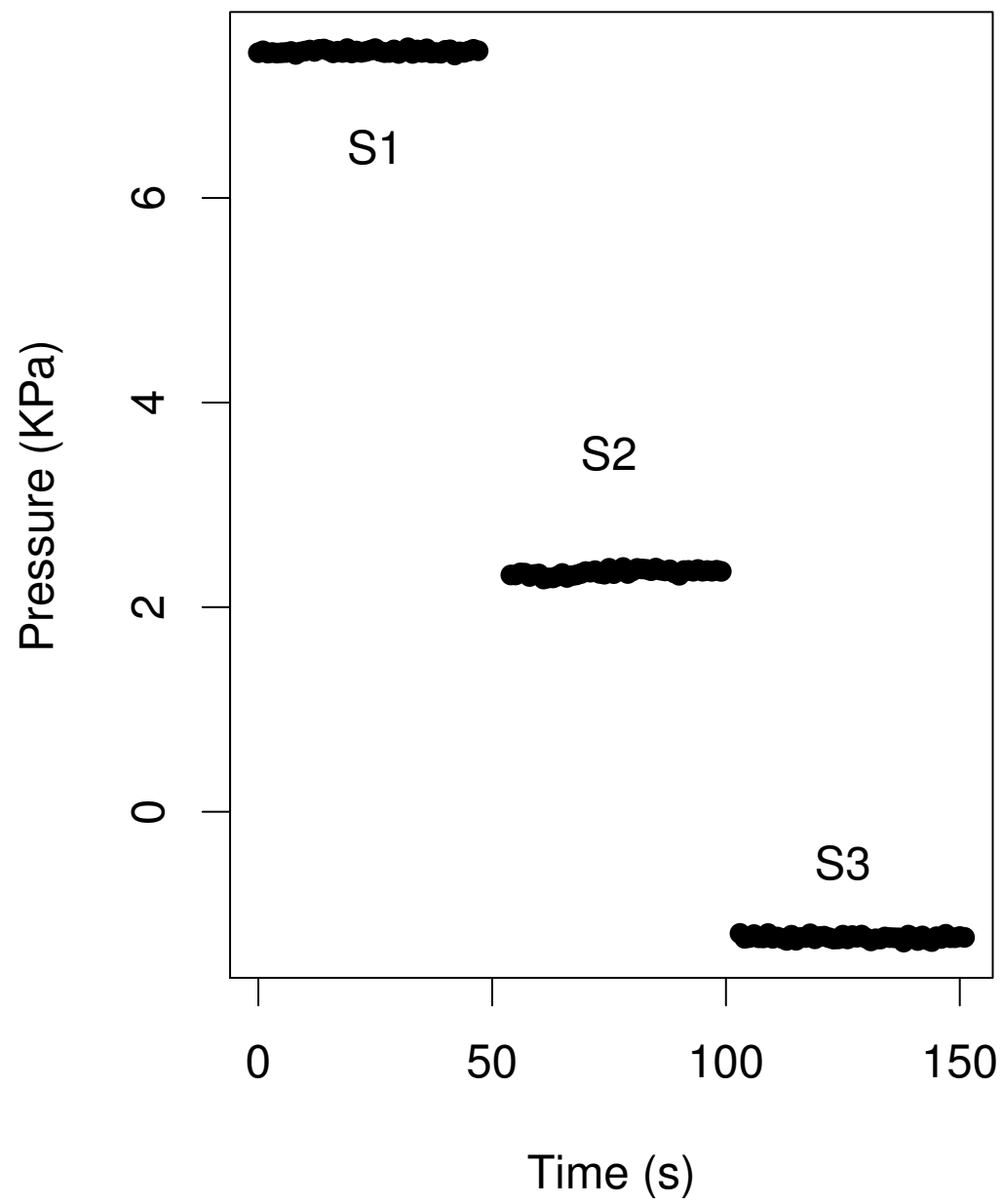
③ 模型的构建与预测

离心机内枝条的模型
模型的结果和预测

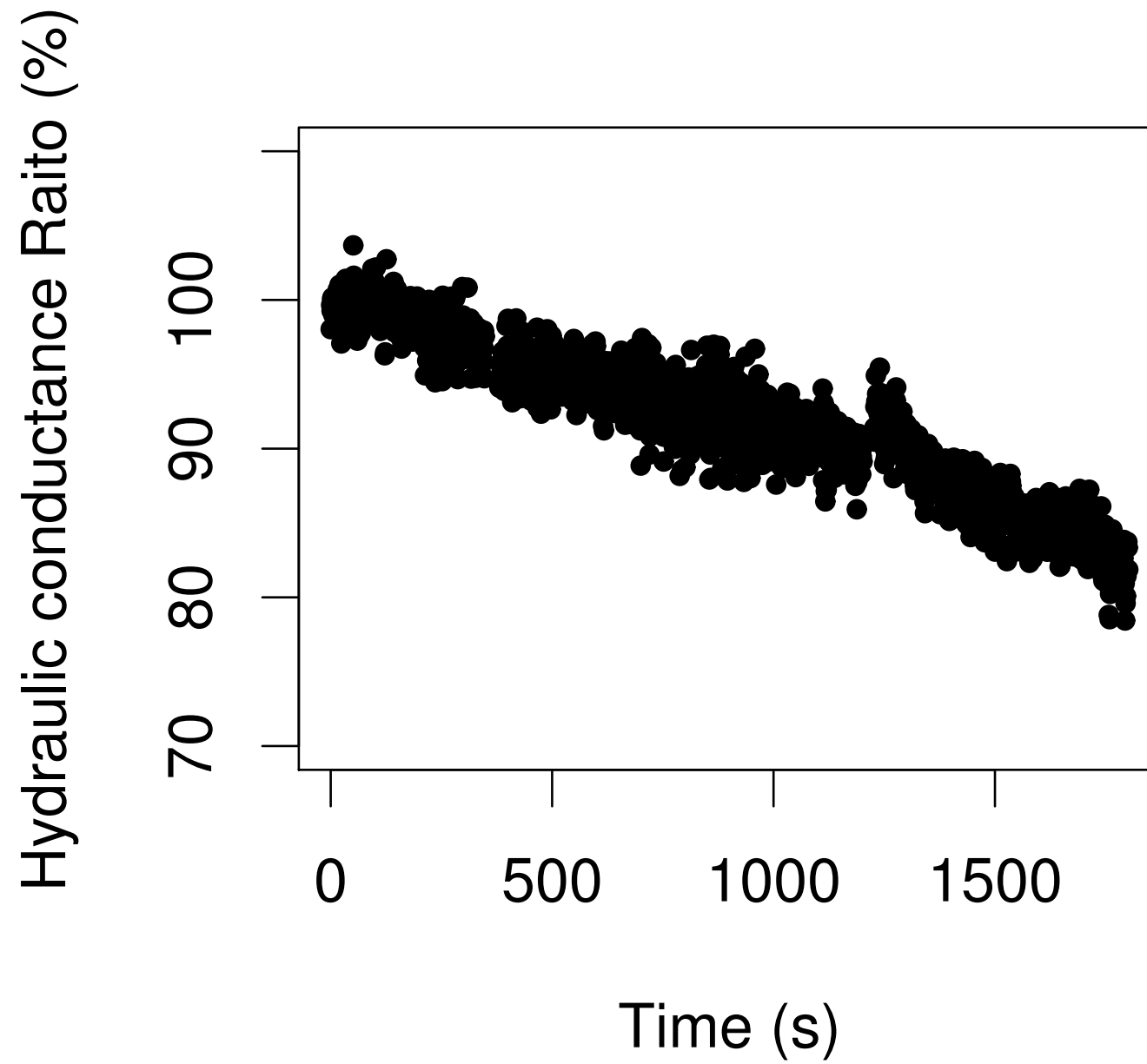
导水率测定装置



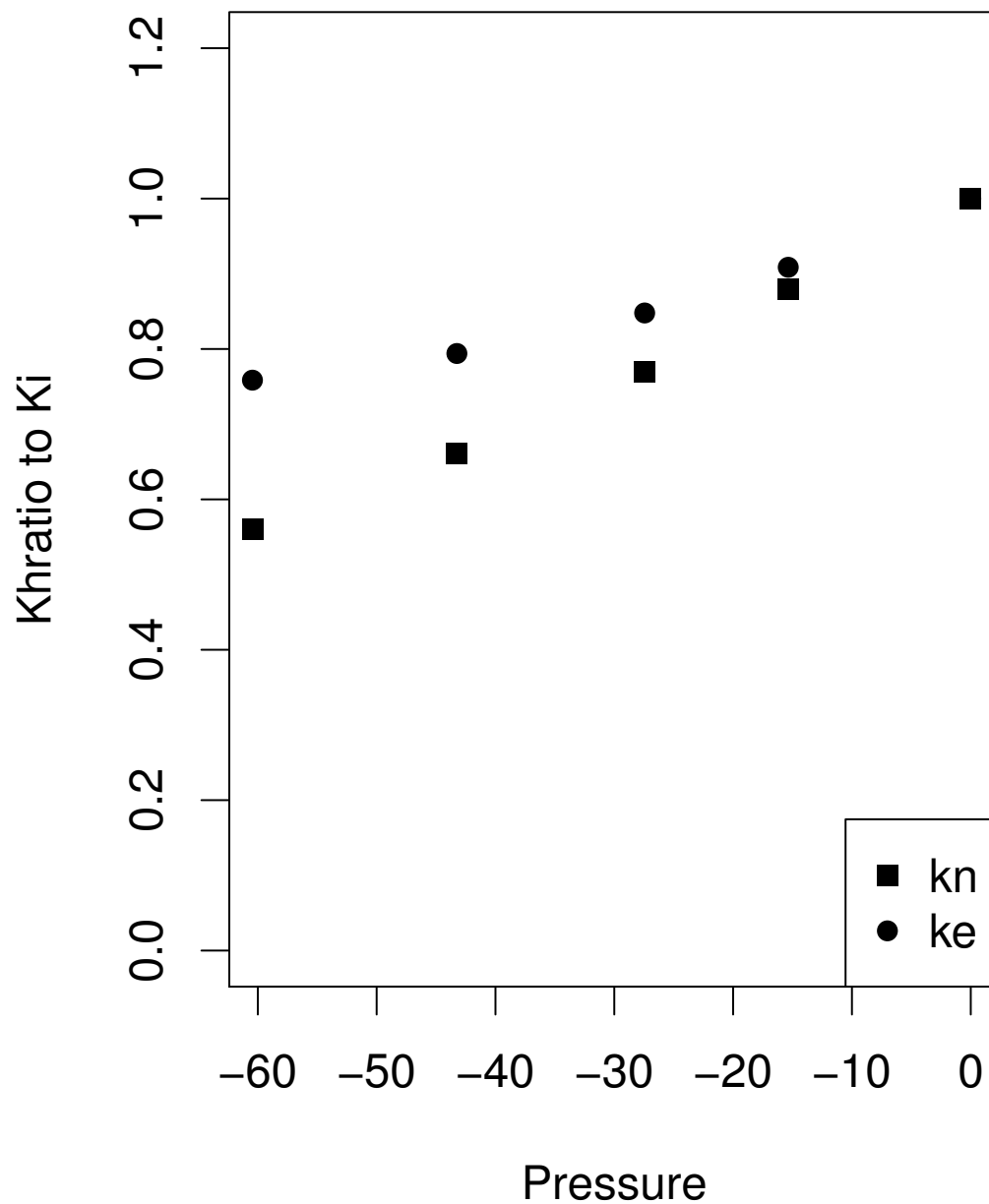
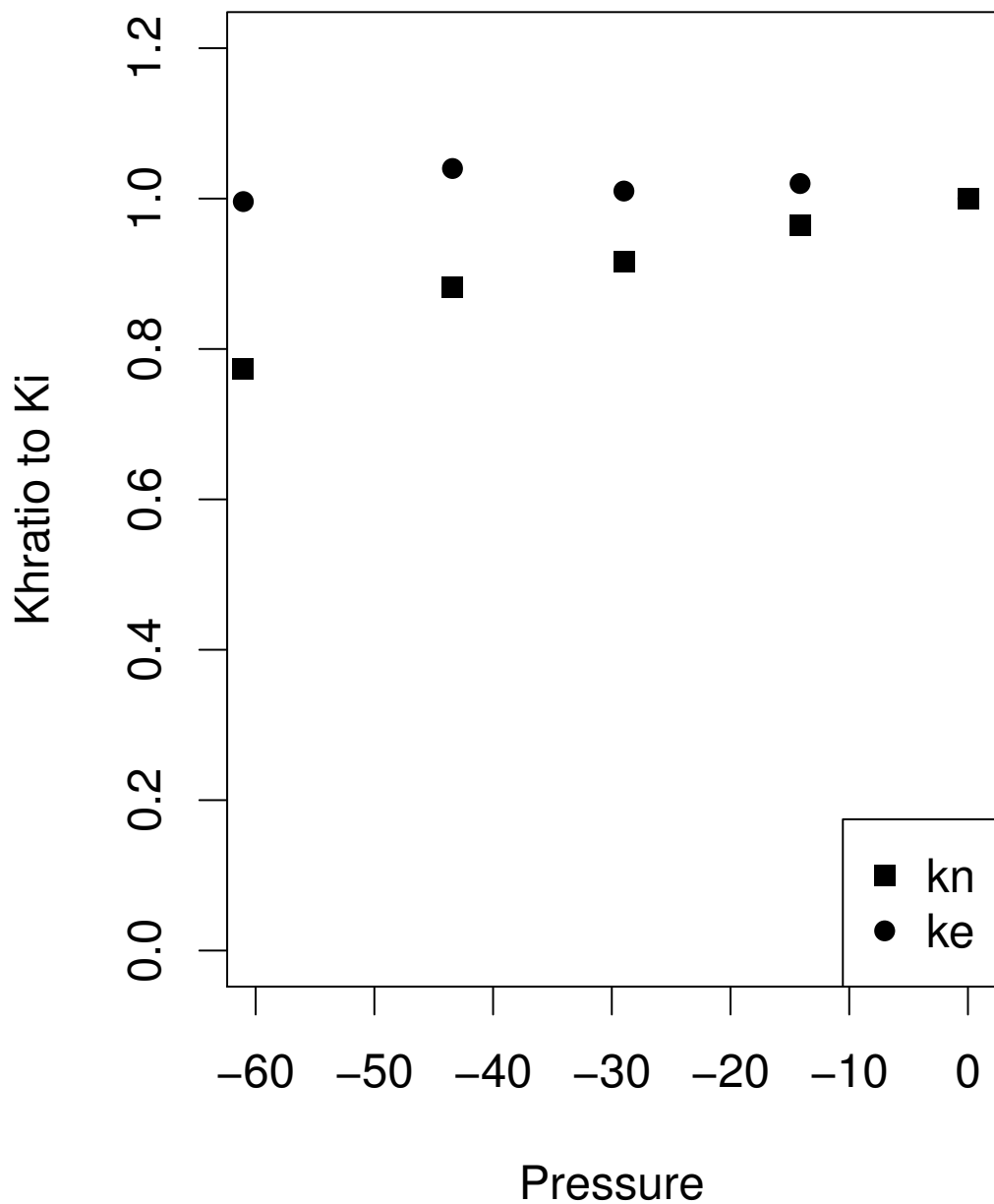
导水率随负压的线性下降



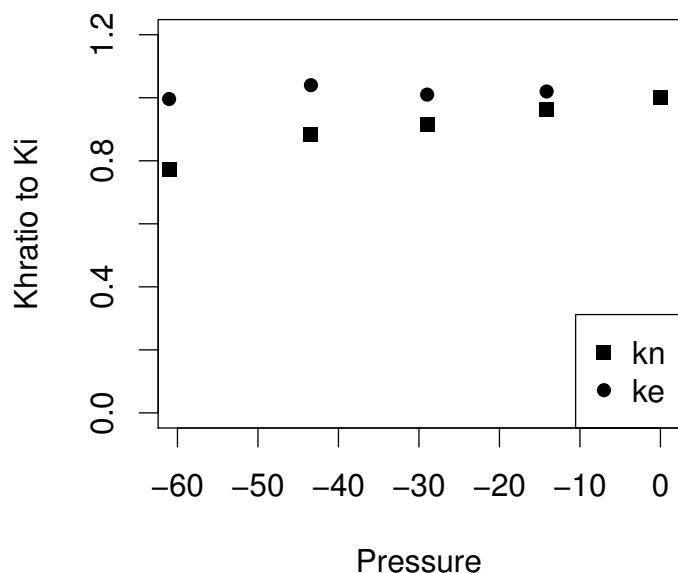
导水率随时间的线性下降



负压下导水率的变化 I

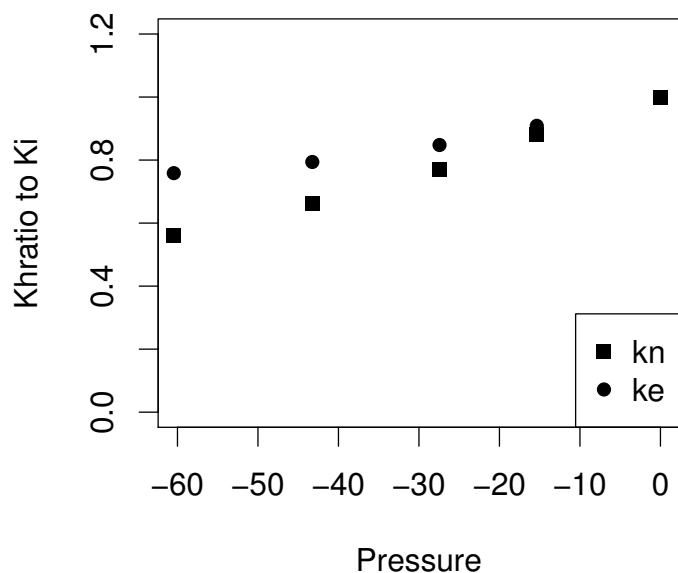


负压下导水率的变化 II



临时性导水率变化

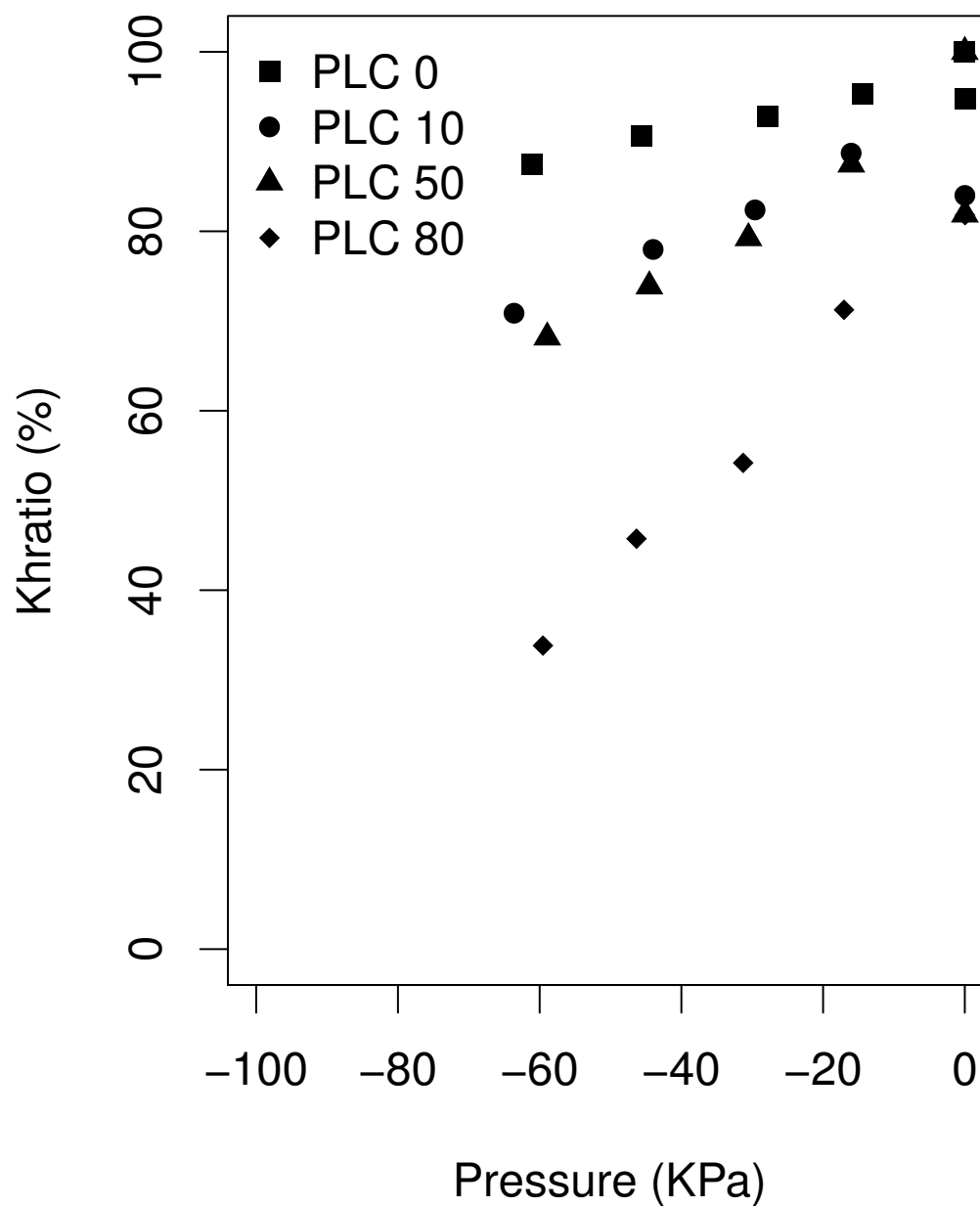
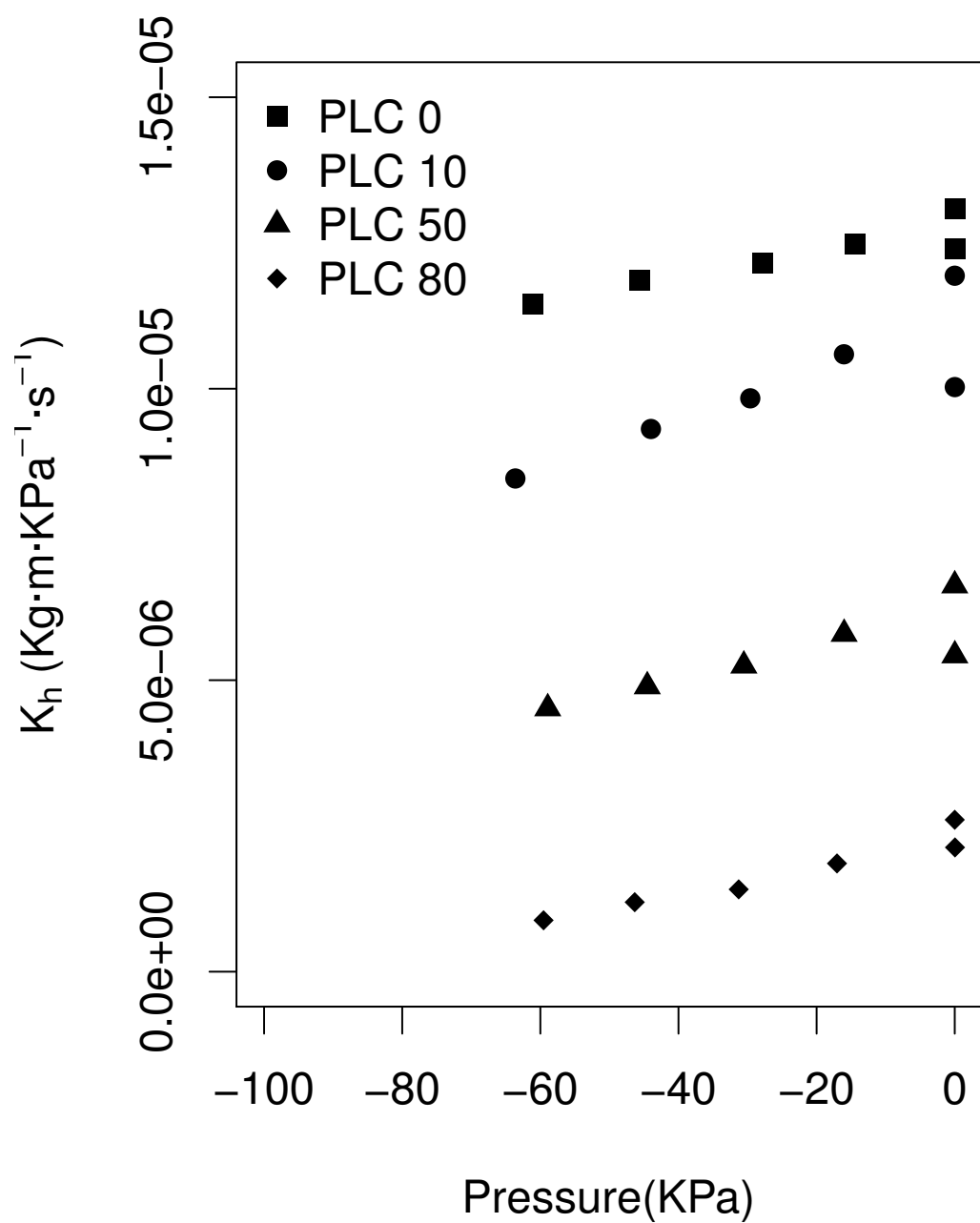
- 根据理想气体方程： $PV = nRT$ ，导管内气泡的体积随着压力降低而增大；
- 枝条内一些非导管途径，负压下临时性失去导水功能，常压下时恢复。



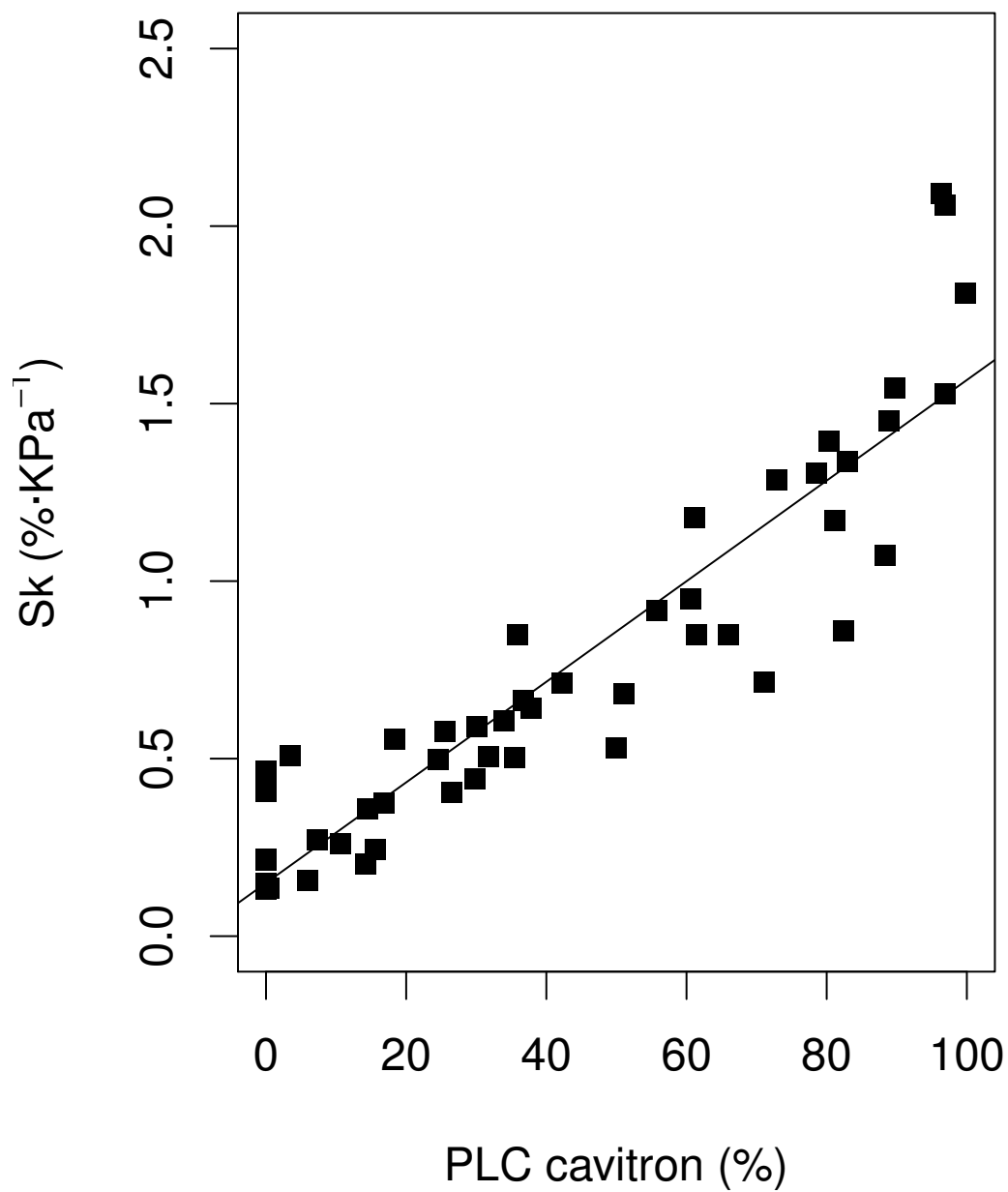
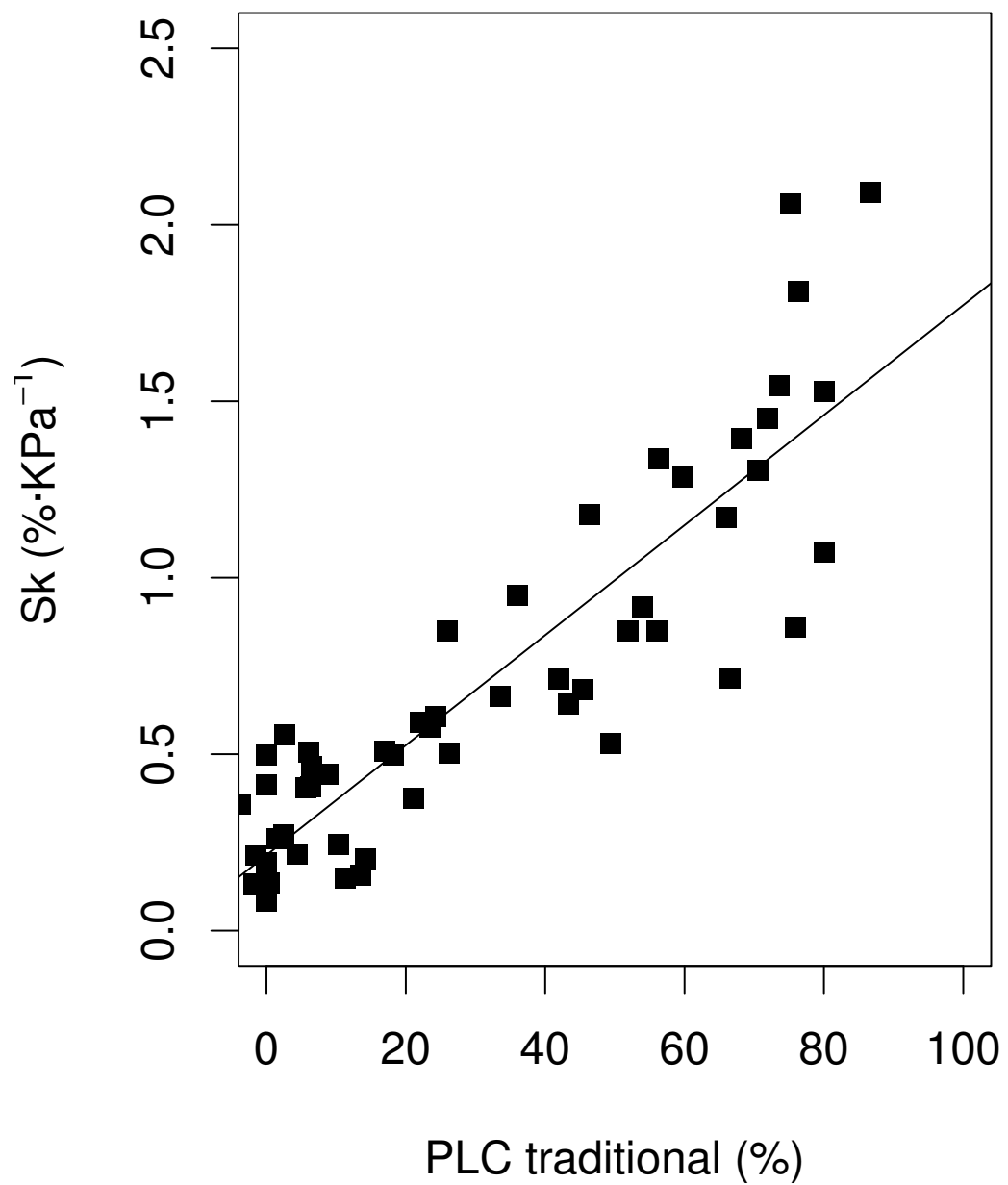
永久性导水率变化

- 根据亨利定律，气液表面压力差减小时，会有额外的气体从水中逸出来，气泡内的气体会永久性增加；
- 一些非导管途径在负压下失去导水功能，而回到常压下不能再恢复。

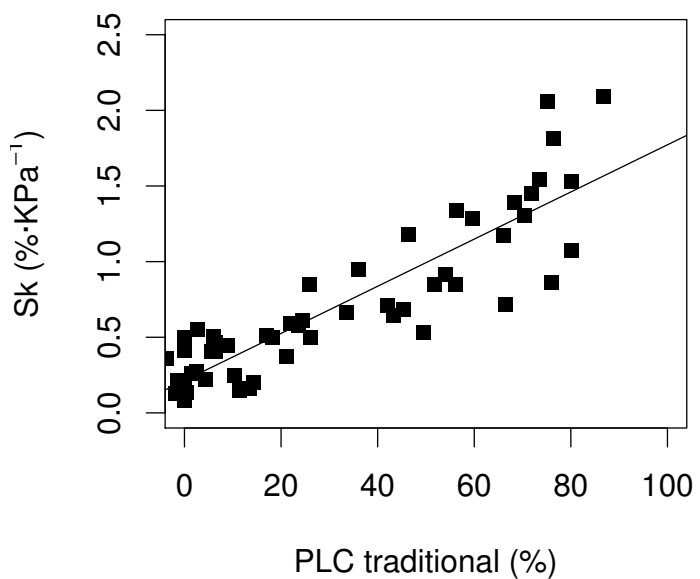
PLC和 S_k 的关系 I



PLC和 S_k 的关系 II



PLC和 S_k 的关系 III

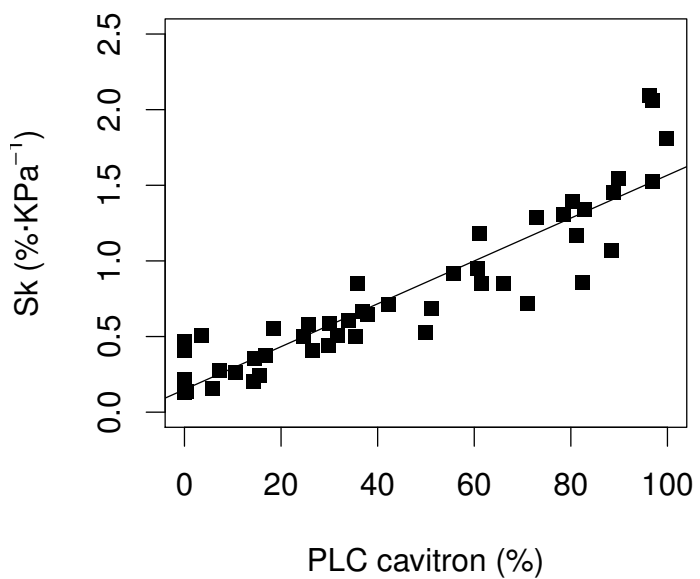


PLC与 S_k 的关系

- PLC越大， S_k 越大；
- PLC为0时 S_k 不为0.

PLC测定方法的差异

比较	截距	斜率	R^2
传统法-离心法	3.567	1.118	0.919
传统法-50KPa	7.306	1.797	0.942
离心法-50KPa	6.882	1.052	0.967



大纲

① 背景

枝条导水率的研究
脆弱性曲线的研究
离心机法

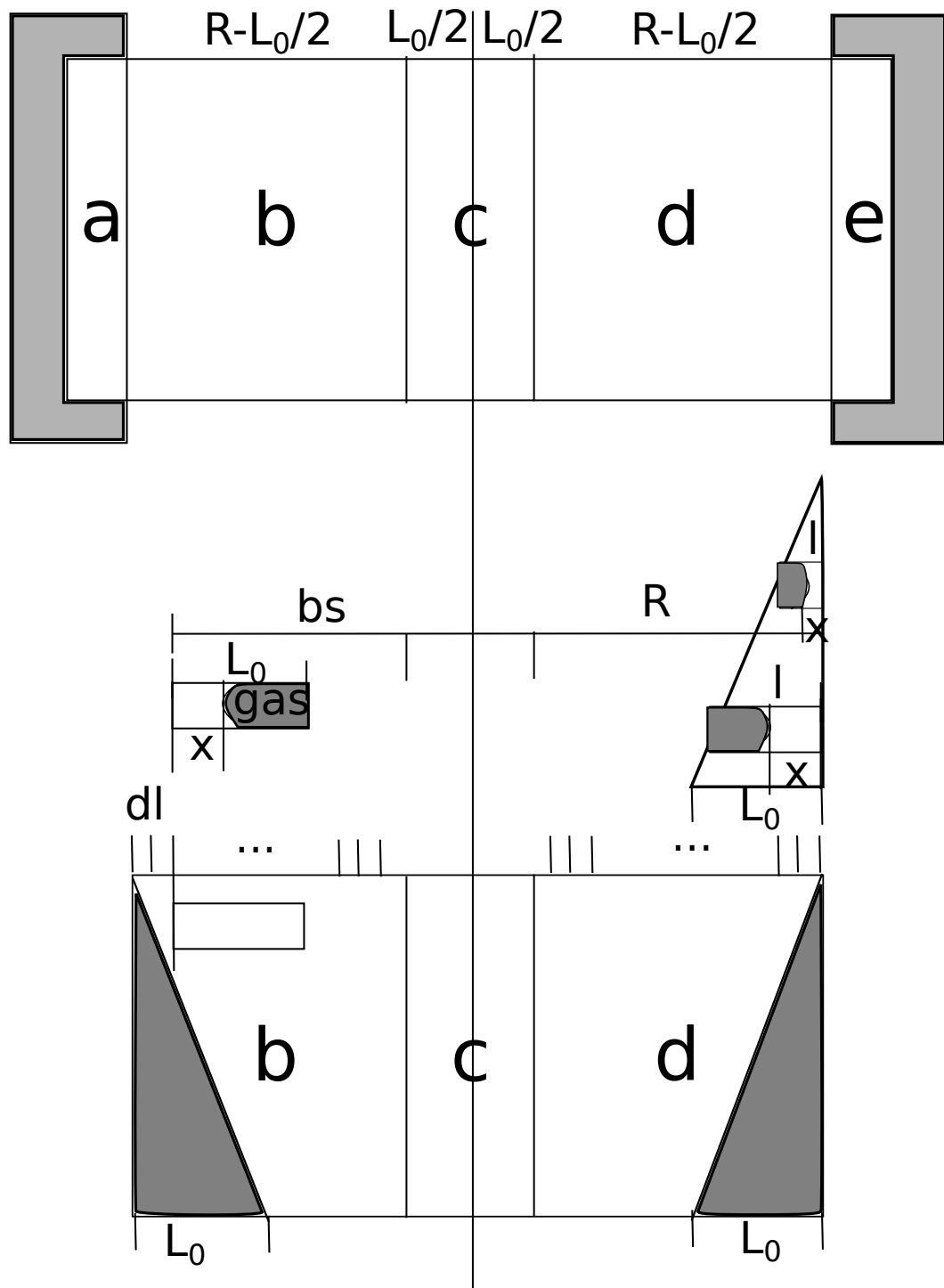
② 负压与导水率

负压下导水率的测定
气穴化程度和负压敏感性的关系

③ 模型的构建与预测

离心机内枝条的模型
模型的结果和预测

枝条的分段模型



最大导管长度 L 小于 $2R$

- a, e: 如左图所示, 浸没在水中的两端的部份;
- b, d: 如左图所示, c段两端的 $R-L/2$ 的部分;
- c: 如左图所示, 枝条中央长 L 的部分。

最大导管长度 L 大于 $2R$

- ob, od: 导管一端开口的部份;
- l, 导管两端开口的部份。

影响模型的参数

导管的物理参数

导管长度 影响气泡及压力的分布；

导管内径 影响气泡的生长及表面张力的大小。

导管内的气泡

气泡分布 影响枝条不同位置的气泡的扩张；

气泡压力 影响气泡的扩大的速度；

气泡大小 影响气泡的扩大及表面张力的大小。

程序与结果界面

The image shows a Gedit editor window with a Python script on the left and a terminal window on the right. The terminal displays the output of the script, which is a list of numerical values.

```

Cavitron-Final-Model.py (~/Programs/Python) - gedit
File Edit View Search Tools Documents
Open Save Undo Cut Copy Paste Find

import time

# Central PLC, basal end parameter, distal end parameter, bubble pressure and
suraface tension
center_PLC = 50
a_para = 0
b_para = 0
BP = 50
surface_tension = 8.15

# range of central tension
KPa_range = range(0,1001,10)
center_tension = []
for i in KPa_range:
    center_tension.append(float(i) / 1000)

# vessel length
vessel_length = 0.25

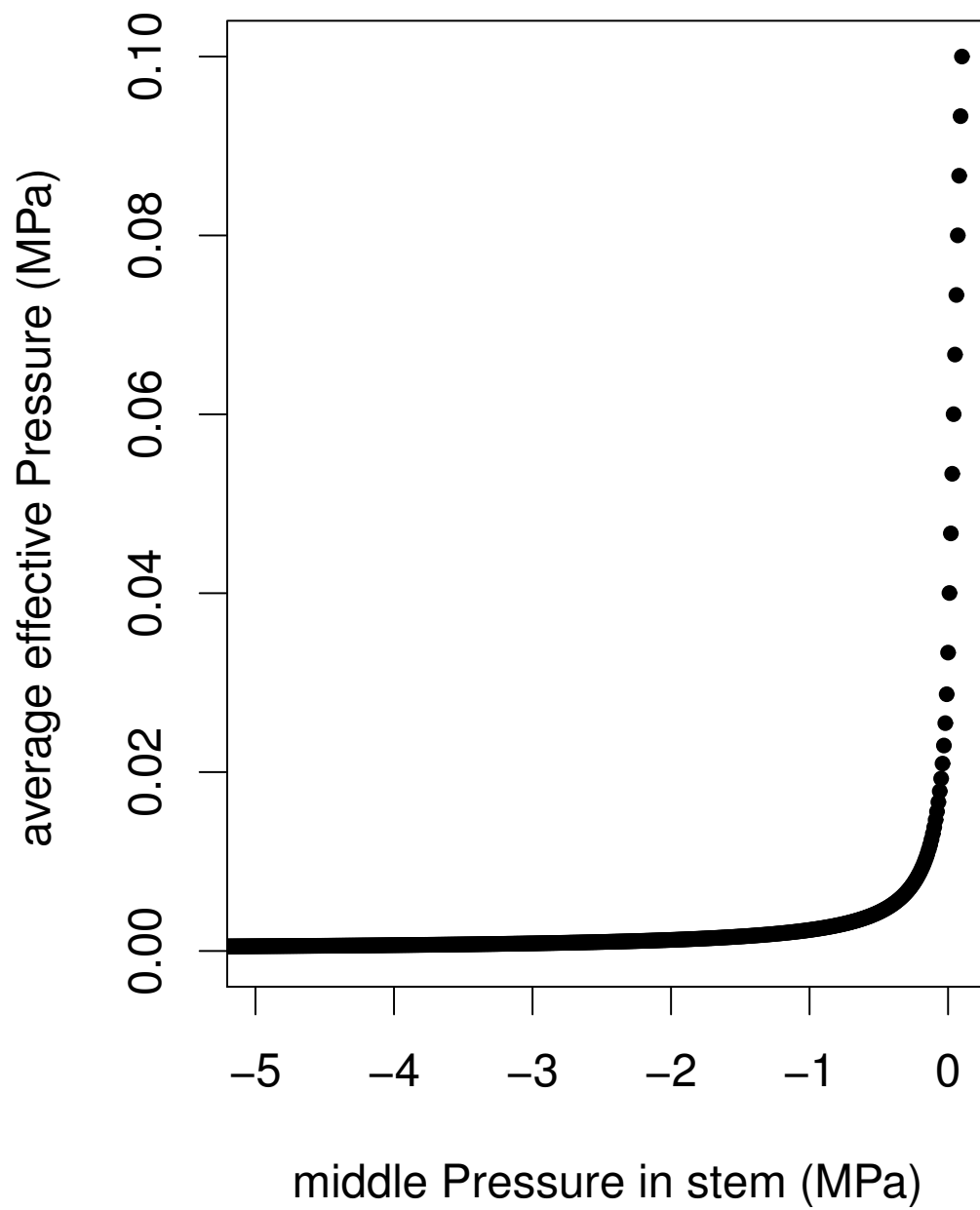
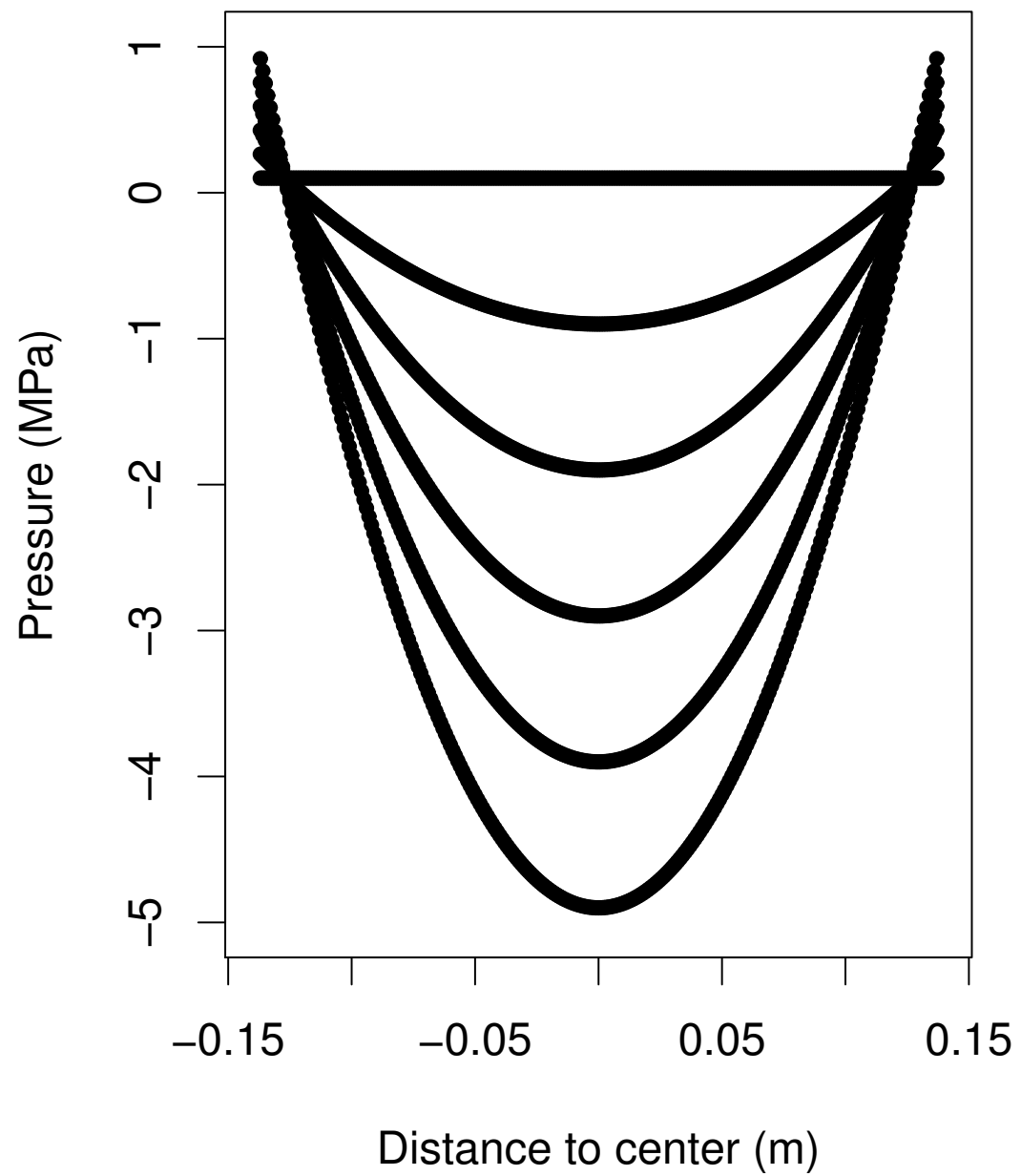
# find x with a l
def find_x(l,ct,bs):
    x = 0
    if (bs ** 2 / 0.127 ** 2 - 1) * 1000 * ct + 100 + surface_tension > BP:
        while 1:
            judge = ((abs(bs) - x) ** 2 / 0.127 ** 2 - 1) * ct * 1000 +
100 + surface_tension - l / (l - x) * BP
            slope = - ct * 1000 / 0.127 ** 2 * 2 * (abs(bs) - x) - BP *
l / (l - x) ** 2
            x = x - judge / slope
            print judge,slope,x
            if (abs(judge) < 0.001):
                #print iudae

Python Tab Width: 8 Ln 17, Col 21 INS

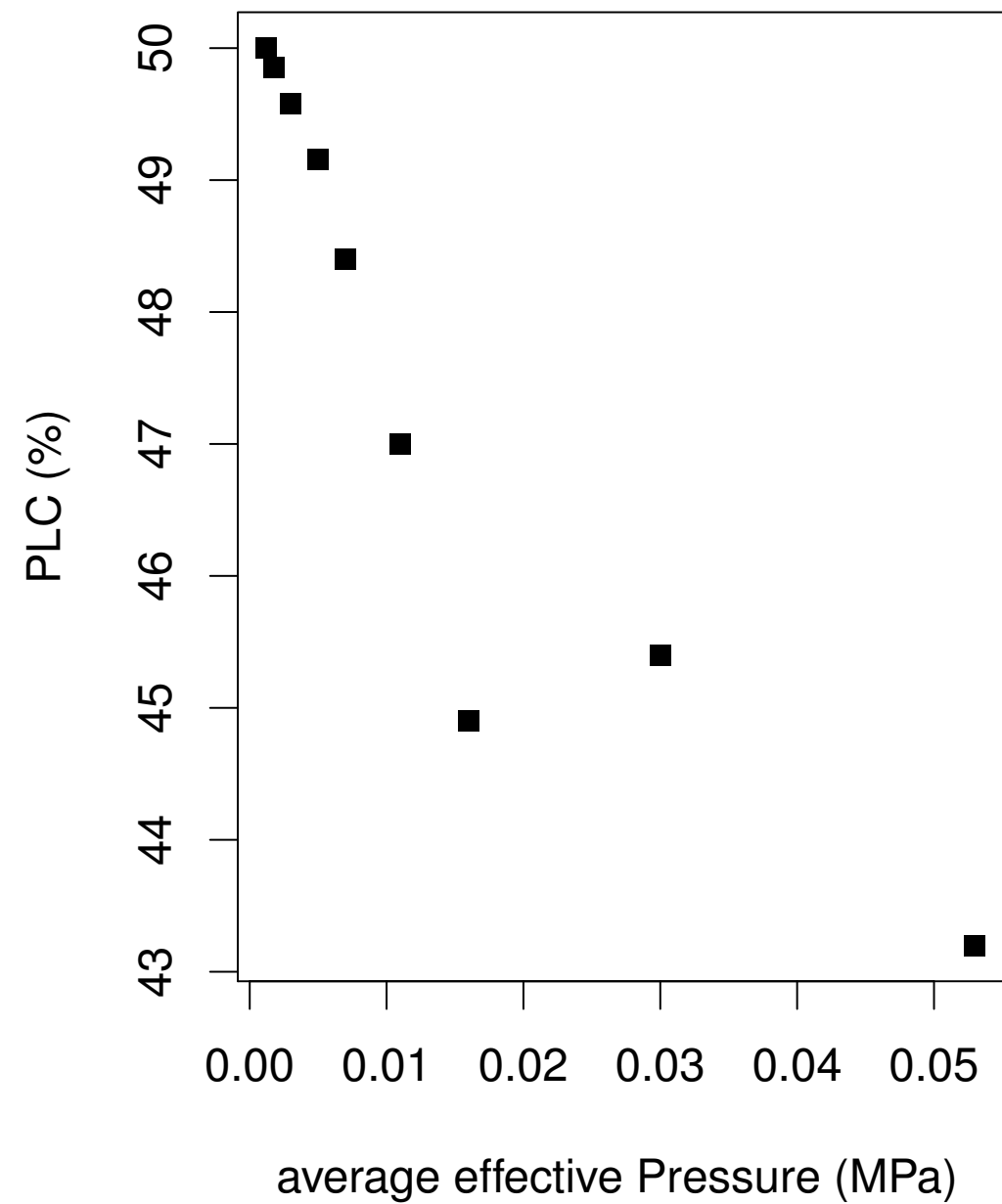
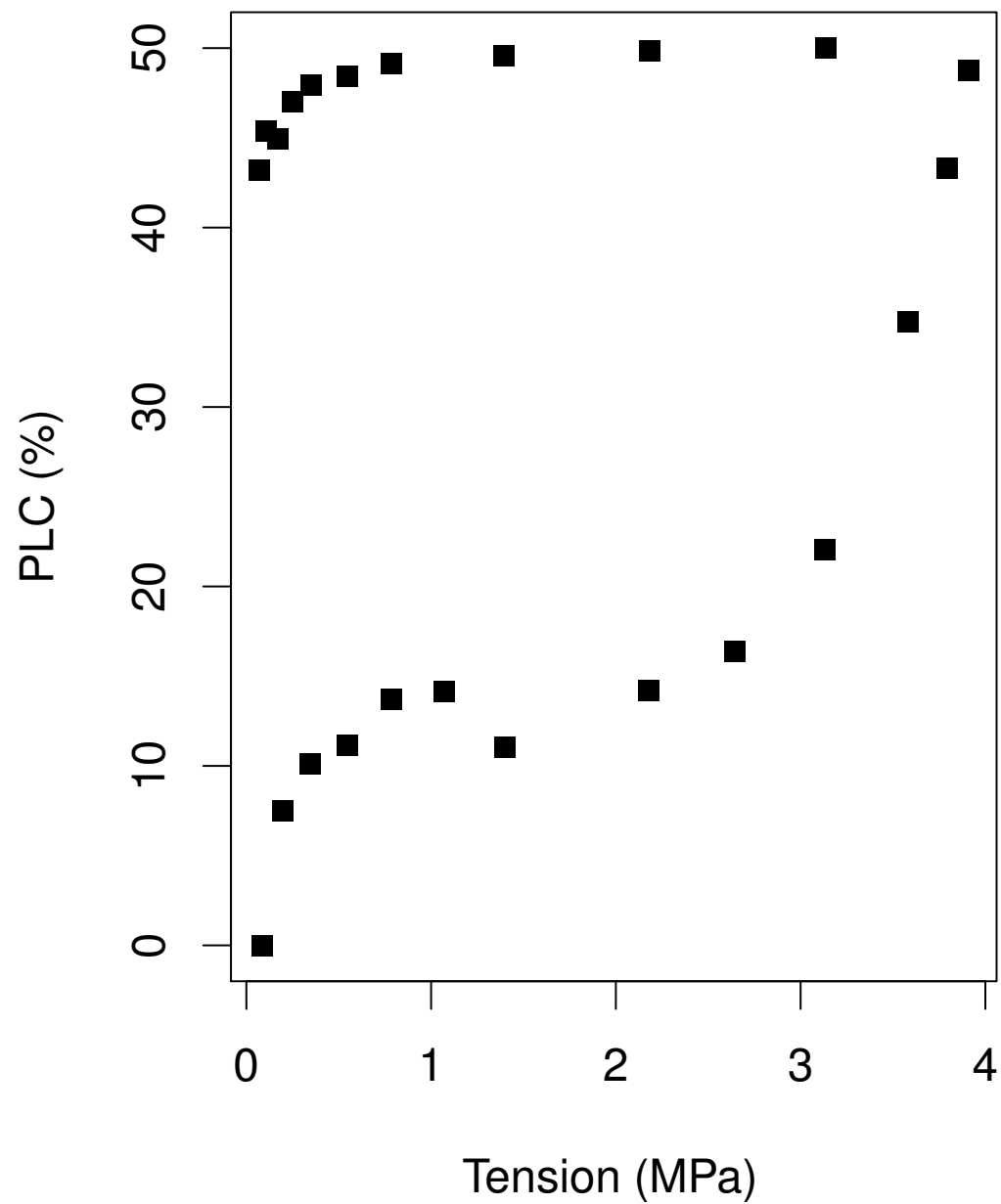
jesiner@arch:~/Programs/Python
File Edit View Search Terminal Help
0.65 48.10606060606061 47.889352947456544
0.66 48.10606060606061 47.893923879348115
0.67 48.10606060606061 47.898403525158045
0.68 48.10606060606061 47.9027944497254
0.69 48.10606060606061 47.90709913146009
0.7 48.10606060606061 47.91131996529462
0.71 48.10606060606061 47.915459265577766
0.72 48.10606060606061 47.91951926890446
0.73 48.10606060606061 47.923502136874504
0.74 48.10606060606061 47.92740995877888
0.75 48.10606060606061 47.93124475420842
0.76 48.10606060606061 47.934492208778344
0.77 48.10606060606061 47.93742455134441
0.78 48.10606060606061 47.940303974894434
0.79 48.10606060606061 47.943131852964115
0.8 48.10606060606061 47.94590951454062
0.81 48.10606060606061 47.94863824568521
0.82 48.10606060606061 47.9513192910989
0.83 48.10606060606061 47.95395385563182
0.84 48.10606060606061 47.956543105737964
0.85 48.10606060606061 47.959088170876086
0.86 48.10606060606061 47.96159014485863
0.87 48.10606060606061 47.96405008714977
0.88 48.10606060606061 47.966469024114375
0.89 48.10606060606061 47.96884795021914
0.9 48.10606060606061 47.97118782918761
0.91 48.10606060606061 47.97348959511085
0.92 48.10606060606061 47.975754153514636
0.93 48.10606060606061 47.97798238238564
0.94 48.10606060606061 47.980068040546534
0.95 48.10606060606061 47.981720942674755
0.96 48.10606060606061 47.98334826957709
0.97 48.10606060606061 47.98495060132637
0.98 48.10606060606061 47.98652850105114
0.99 48.10606060606061 47.988082515523956
1.0 48.10606060606061 47.989613175726504
[jesiner@arch Python]$

```

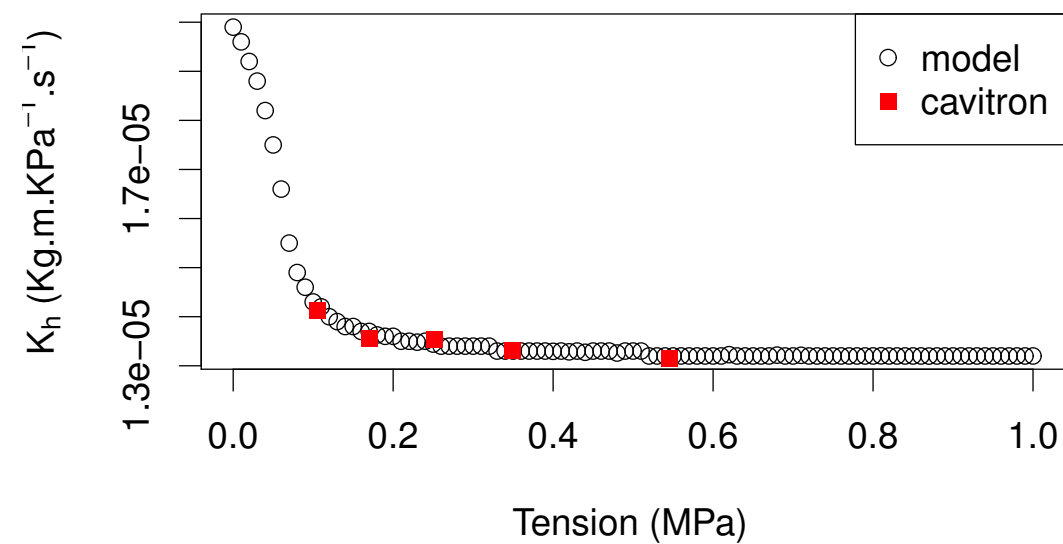
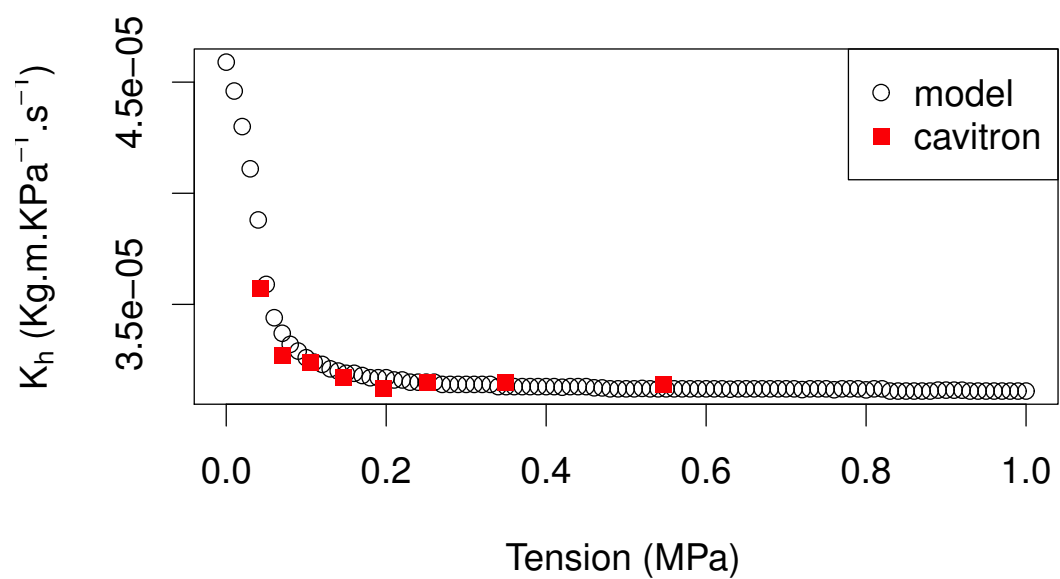
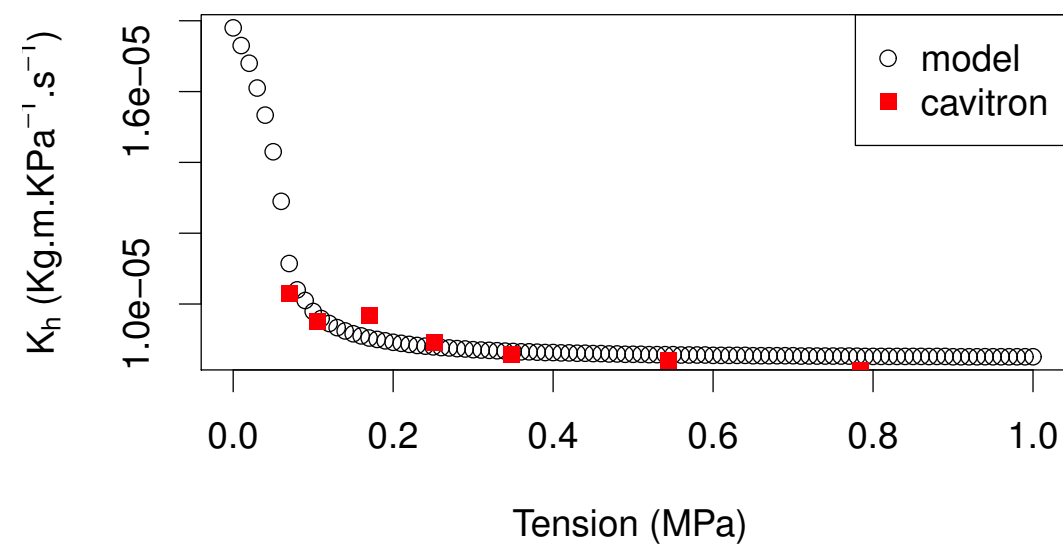
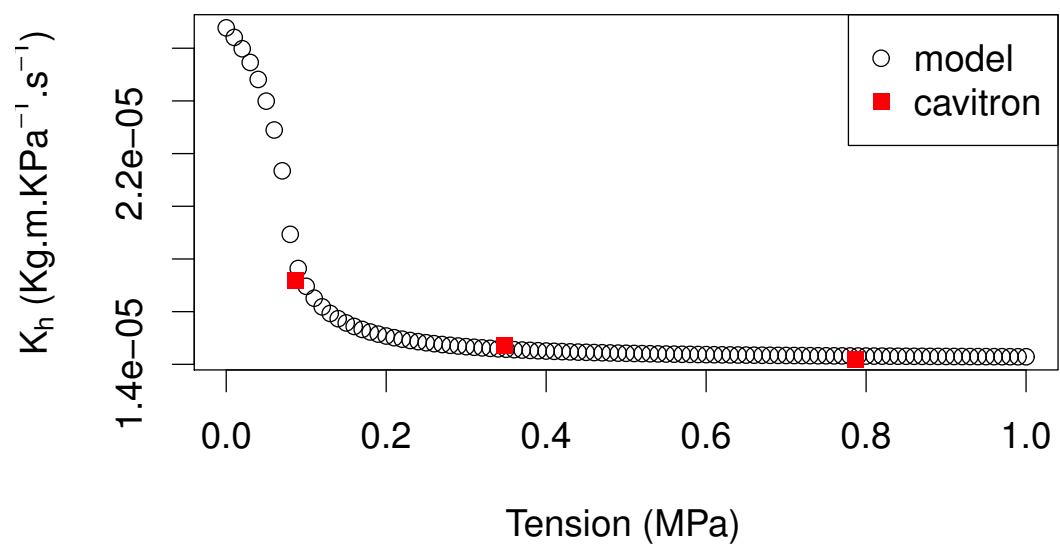
模型的拟合 |



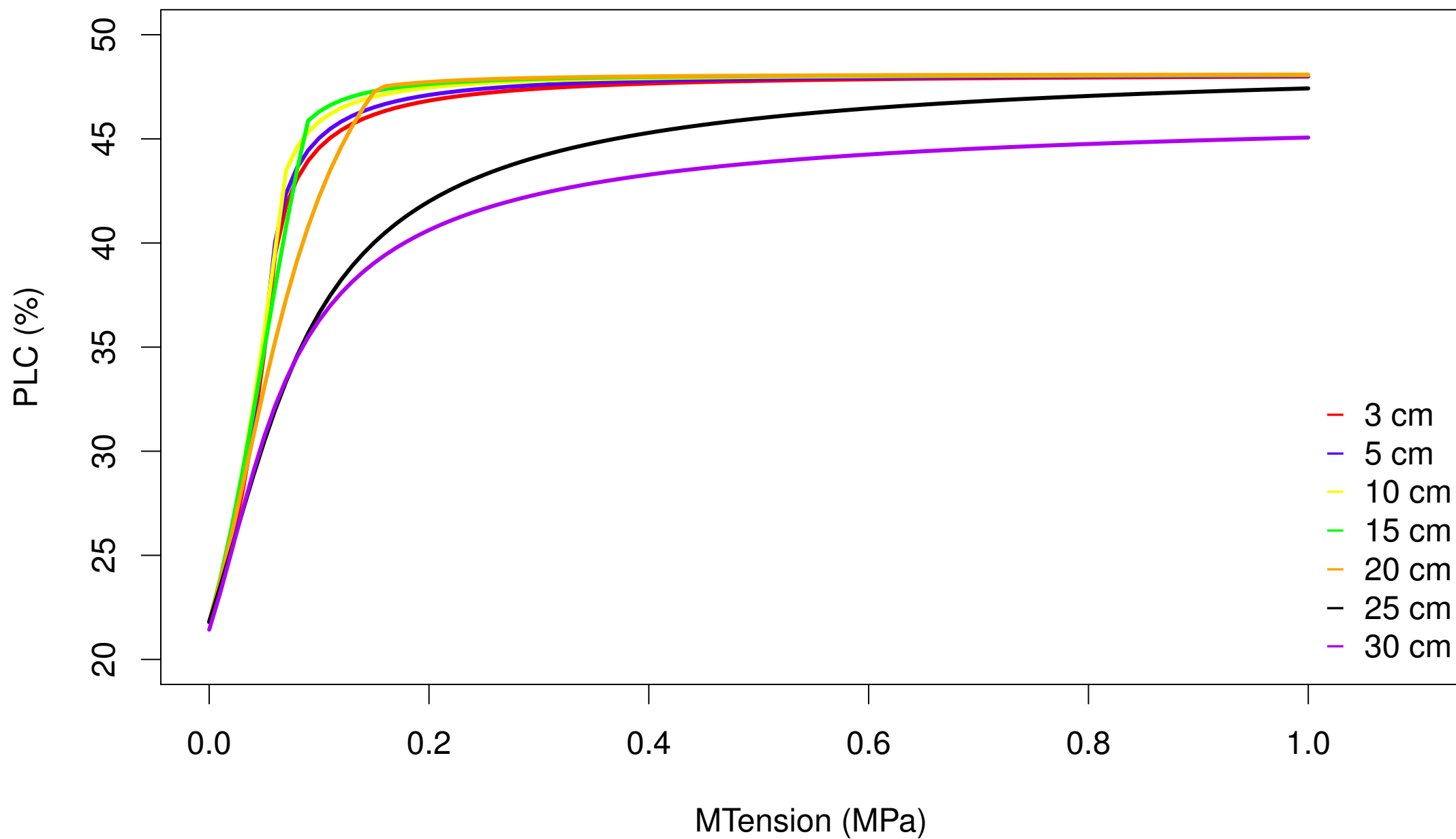
模型的拟合 II



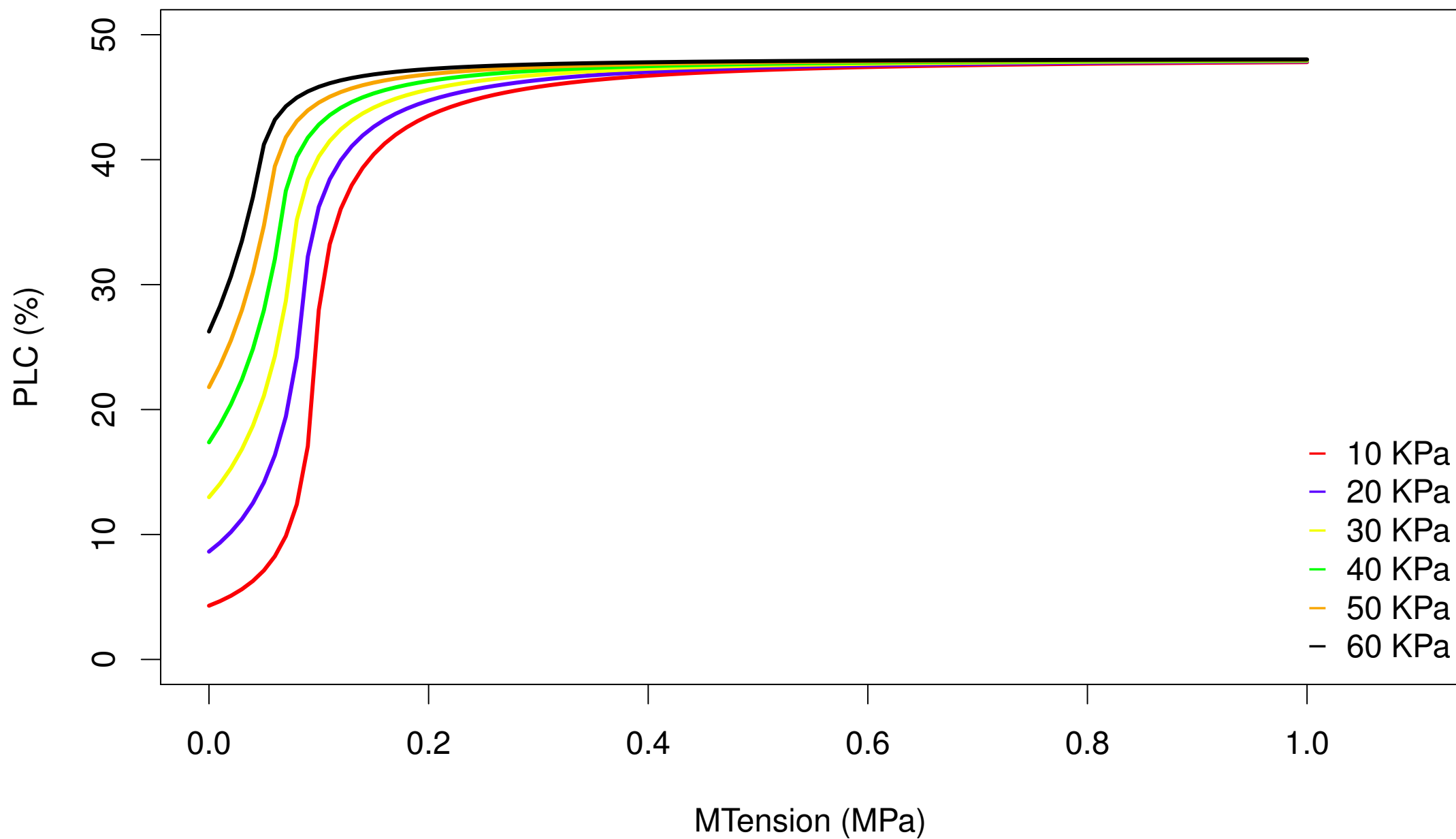
模型的拟合 III



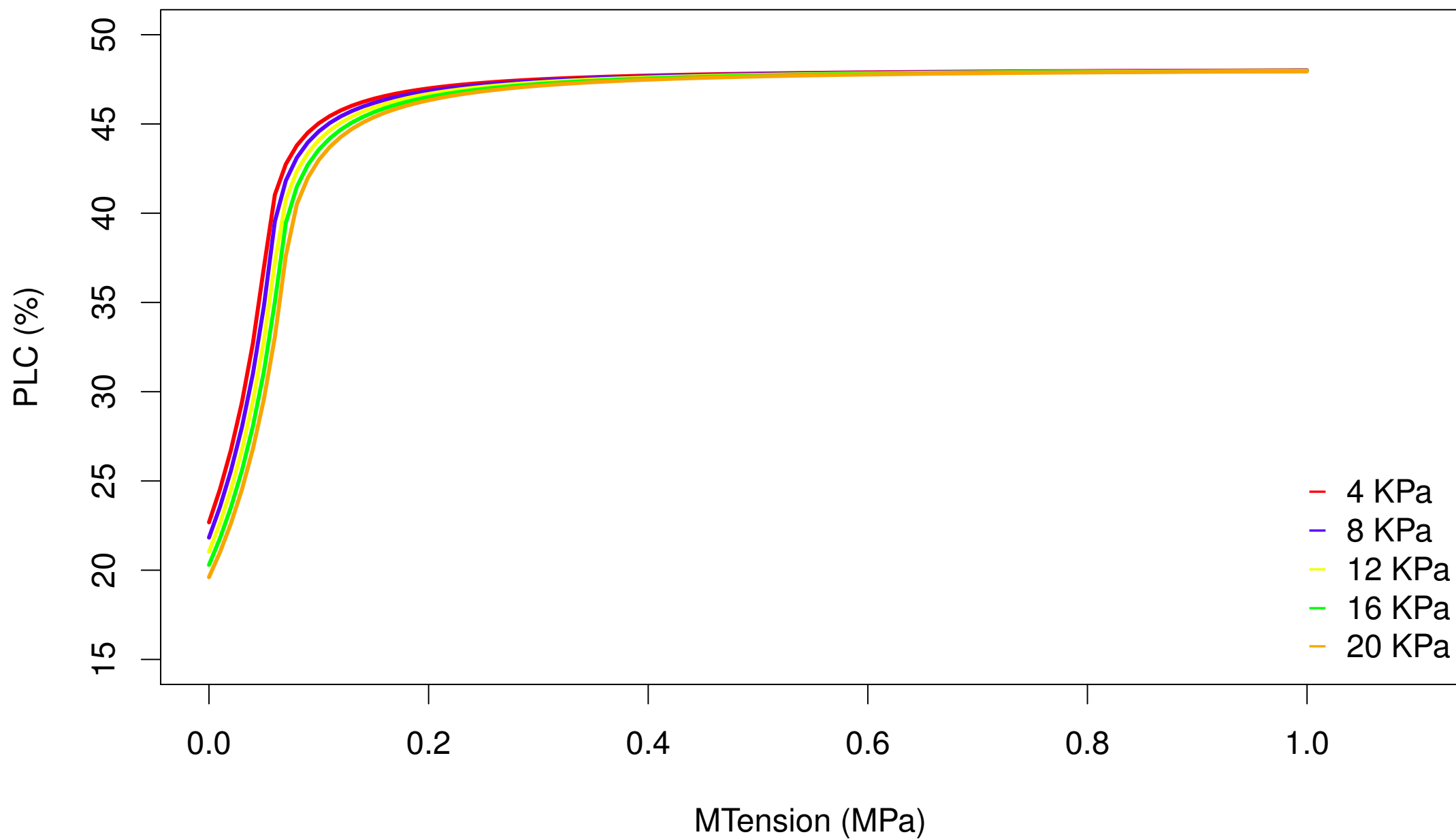
模型的预测-导管长度



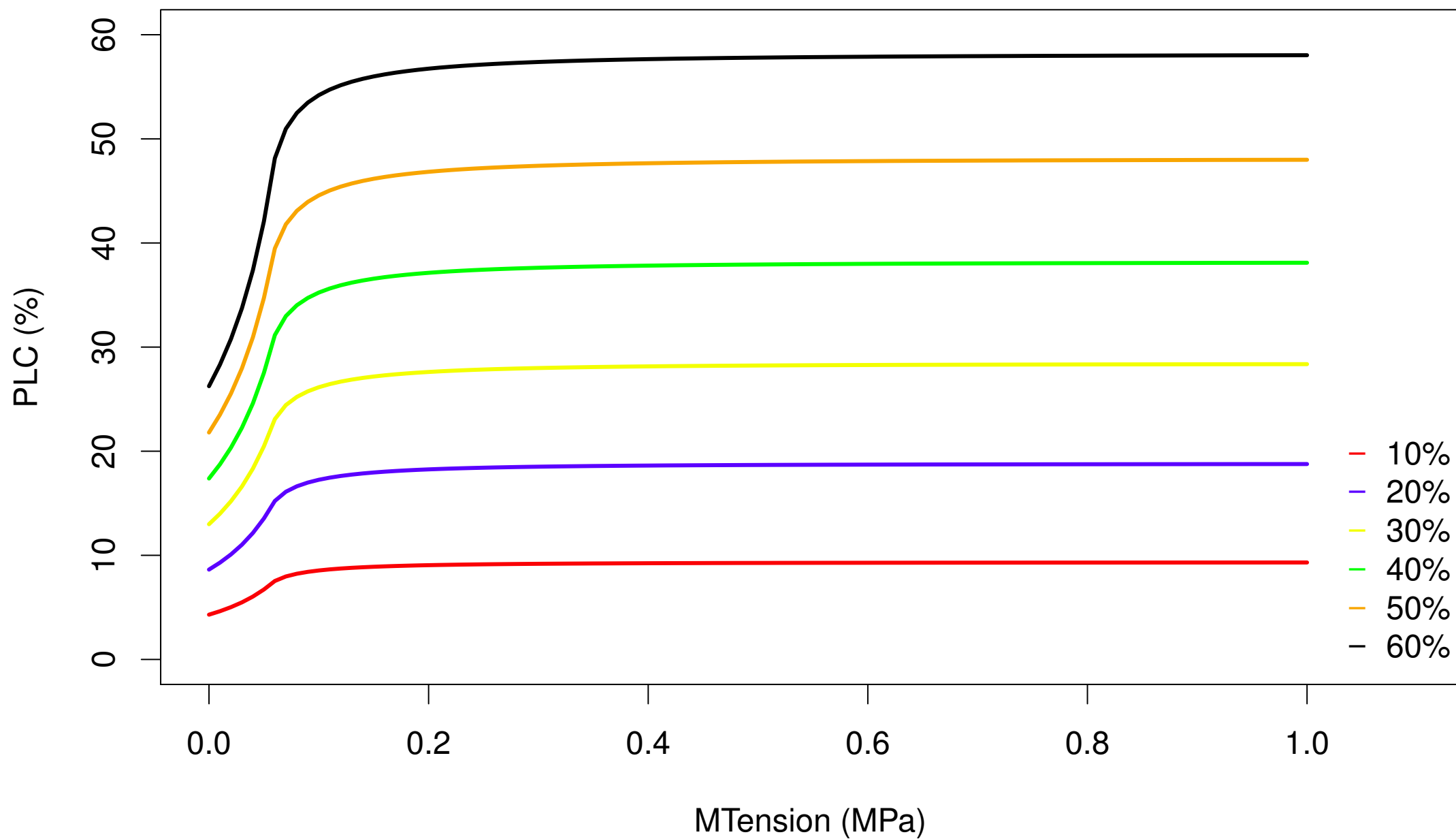
模型的预测-气泡压力



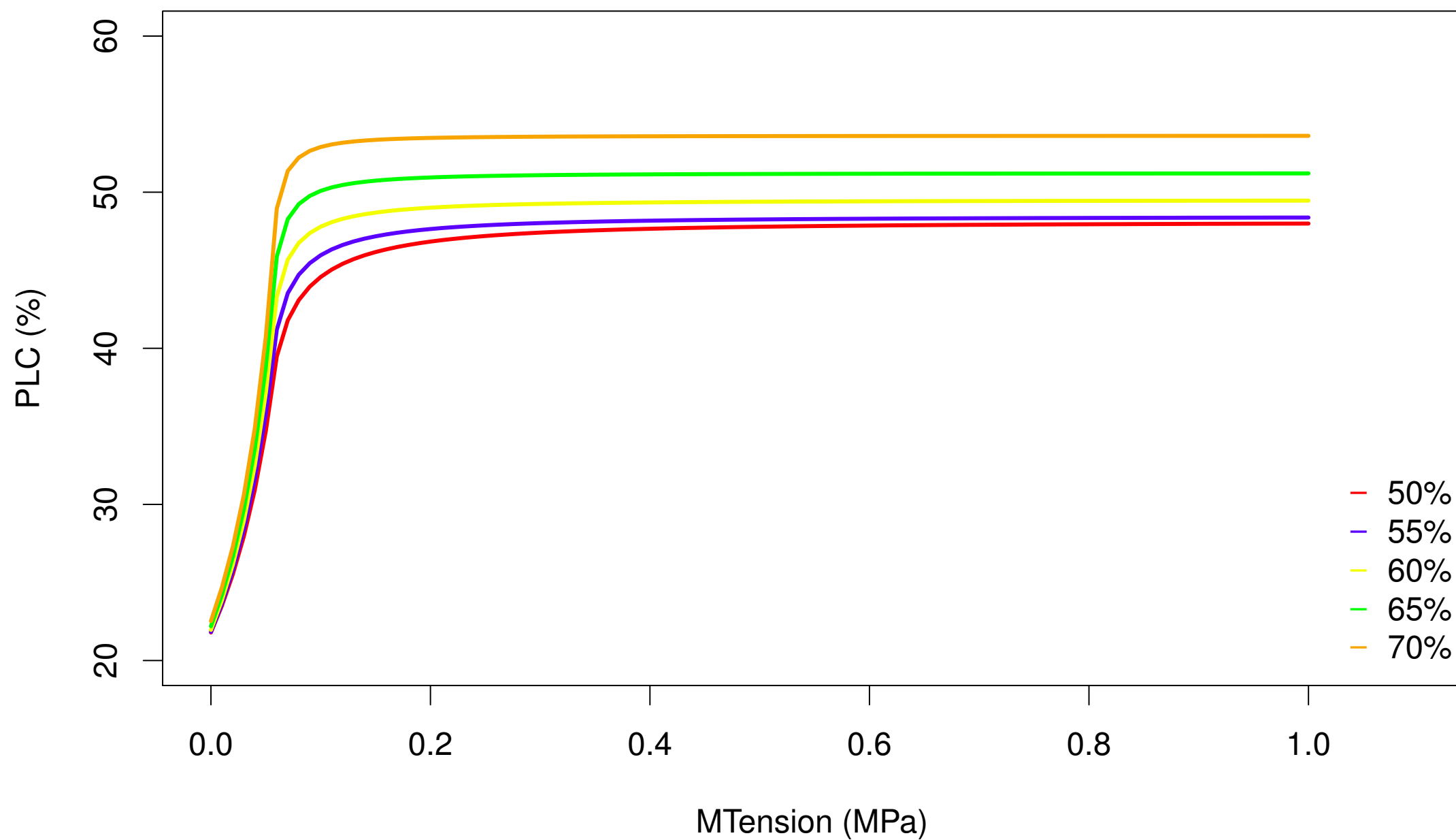
模型的预测-表面张力



模型的预测-气穴化程度



模型的预测-气穴化分布



总结

负压下导水率的变化

- 负压下导水率有线性下降，且和枝条气穴化程度有关；
- 导水率变化包括临时及永久性变化；
- 脆弱性曲线会因负压而有非常大的变化。

模型的前景

- 模型对枝条物理参数与其脆弱性曲线的关系预测；
- 还需要进一步的实验来验证模型的预测。

谢谢！