

作者姓名： 刘云浩 康熿盈 梁正浩

所属学校： 广州市第六中学

所属地区： 广东

国别： 中国

指导教师： 宋建陵 吴梅林

论文题目： 红树林植物抗水淹机制的新发现

2020 S.-T. Yau High School Science Award

本参赛团队声明所提交的论文是在指导老师指导下进行的研究工作和取得的研究成果。尽本团队所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。若有不实之处，本人愿意承担一切相关责任。

参赛队员： 刘云浩 康煜盈 梁冠伦 指导老师： 吴培华

2020年9月11日

# 红树林植物抗水淹机制的新发现

刘云浩 康熿盈 梁正浩

摘要：

红树植物长期生长在水淹环境下，而水淹环境造成土壤缺氧，但红树植物却能在这样的环境下茁壮生长。为探其究竟，我们选用红树植物作为研究对象，利用荧光显微镜和氧电极，观测红树植物形态解剖结构特征，结合氧气传输特征，以及模拟实验，探究红树植物抗水淹环境的机制及其解决的方法。

研究结果表明：

(1) 位于高潮位的半红树植物其根系通气组织和根系渗氧能力较差，但是位于相对低潮位的真红树植物秋茄具有较发达的通气组织和较高的根系放氧量。

(2) 红树植物秋茄在水淹刺激下，会进一步增加根部通气组织的形成，秋茄这些在形态结构上的改变使得植物在水淹缺氧的逆境下根内氧含量与根系放氧量增加，既缓解无氧呼吸带来有毒害的代谢产物的积累，又改良根系所在的土壤的微环境，这些变化都使得红树植物能更好的适应水淹环境。

(3) 除了根系放氧外，人为模拟的呼吸根和螃蟹洞也可以有效改善土壤缺氧状况，提高其氧化还原电位。

改进完善方法：

(1) 用改进后的  $Ti^{3+}$  比色法测定根系放氧量，同样能定量精确地测定根系放氧量。

(2) 往土壤中插入几根空心的管子，或者模拟螃蟹洞等都可以为根系提供氧气，这些方法有助于了解红树林为什么能适应水淹环境，也可以应用于植物栽培时有效避免水淹缺氧。

关键词：红树植物；水淹；通气组织；根系放氧；

## 目录

一、选题背景	3
二、研究思路	4
三、实验过程	5
实验一：水淹环境对土壤环境的影响	5
实验二：不同潮间带红树植物间的根系结构对比	6
实验三：水淹对秋茄根系结构和根系放氧以及根内氧压的影响	8
实验四：红树植物根部放氧对土壤环境的影响	9
实验五：红树气生根对土壤氧分压的影响	10
四、研究结果	11
五、项目特色	13
六、后续研究	13
七、感想收获	14
八、参考文献	14

2020 S.-T. Yau High School Science Award

## 一、选题背景

2019年暑假，我们在南沙湿地公园内闲逛的时候，发现有些种类的树木长期生活在水淹环境中。在这些树上的物种标牌中，我们了解到这些植物都属于红树植物。红树林经常被称为海上森林、海岸卫士，对于防风护堤、净化水质等方面起重要作用，同时是很多珍稀鸟类的栖息地和迁移中转站。我突然想到，在生物课上老师曾讲过在水淹环境下植物的根部会因有害物质的积累而溃烂，红树植物为什么能在水淹环境下茁壮成长呢？于是趁着暑假，我便与同学一起，来到了我们学校附近的海洋所，就红树对水淹环境的适应机制进行了探秘。

通过与海洋所的老师交流，我们得知水淹环境经常会导致土壤缺氧，这是为什么水淹容易造成根系腐烂的原因。老师为我们介绍了植物对水淹缺氧环境的适应策略主要包括代谢适应和结构适应。代谢适应主要强调减缓植物在无氧呼吸过程中有毒物质的积累；结构适应则强调增强植物内部氧气传输效能，从而缓解水淹缺氧。相比于代谢适应途径，结构适应策略更能有效增强对地下根系的输氧。红树植物之所以能够在潮间带水淹环境的生存也很大程度上得益于它们特殊的根系形态结构，比如发达的呼吸根，以及根内发达的通气组织等。那么红树植物这些特殊的根系形态结构特征又是如何帮助红树植物适应潮间带水淹缺氧环境的呢？红树林对于水淹环境的适应策略，对于日常生活中植物栽培防止水淹伤害又有哪一些启发呢？



红树林图片以及发达的呼吸根

## 二、研究思路

1、通过一个简单水淹实验，研究了水淹环境对土壤环境的影响，看看水淹是否会造成土壤的缺氧以及氧化还原电位的降低。

2、用两组对比实验，研究位于潮间带不同位置红树在根系结构上的差异，以及水淹胁迫下红树植物秋茄形态结构的改变。

3、探索红树植物尤其是根系形态结构与水淹环境之间的相互作用关系，水淹环境是如何改变红树植物根系形态结构以及氧气传输的。

4、设计根际箱实验，探索红树植物根系放氧是否会缓解土壤缺氧状况。

5、还通过模拟呼吸根、螃蟹洞等，探索了红树植物对水淹环境的其他响应机理，以及讨论在现实植物栽培过程中如何有效避免水淹缺氧。

根据研究思路，我们设计了以下实验：

顺序	实验名称	实验目的
实验一	调查水淹环境对土壤环境的影响	探究水淹是否会降低土壤的缺氧以及氧化还原电位的
实验二	观察不同潮间带红树植物的根系结构	探究位于潮间带不同位置的红树在环境影响下根系结构上的差异，以及根系结构与根系氧之间的联系
实验三	水淹对秋茄根系结构和根系放氧的影响	探究水淹环境对红树植物根系形态结构的影响
实验四	红树植物根部放氧对土壤环境的影响	探究红树植物根系放氧是否会缓解土壤缺氧状况
实验五	红树气生根对土壤氧分压的影响	通过模拟实验，探究红树植物对适应水淹环境的机制

## 三、研究过程

### 实验一：水淹环境对土壤环境的影响

#### 1、实验过程

水淹条件会对土壤环境造成什么影响呢，带着这个问题我们设计一个简单的水淹实验，探究了水淹对土壤 pH、Eh 及氧分压的影响。

(1) **选择土壤：**为确保实验结果的准确性，我们选择从南沙湿地公园中采集土壤样本，同时从同一棵红树植物旁采集土样，并确保土壤成分大致相同。

(2) **处理：**将采集得到的土壤样品分为两份，一组为非水淹，另一组为水淹处理组，并定时换水，避免水中的微生物大量繁殖后对实验结果造成影响。



图 1-1. 干、湿土壤的处理

(3) pH 及 Eh 测量：样品经过 5 天的处理后，我们对土壤的 pH 及 Eh 进行了测量。

(4) 土壤氧测定：利用氧微电极测定土壤中氧分压，实验开始前将室温下大气中氧分压设置为 100%，将饱和坏血酸钠水溶液中的氧分压设为 0%。

表 1-1 两种处理的土壤 pH、Eh、氧分压的测定

处理组	pH	Eh/mV	氧分压 (%)
非水淹处理	5.00	122.0	92.5
水淹处理	5.42	98.8	72.6

## 2、结果分析

我们发现水淹会使土壤的 pH 上升，并降低了土壤的氧化还原电位，同时也会降低土壤中的氧分压，即降低土壤中的氧气含量。水淹之所以会降低土壤中的氧含量，主要是由于氧气在水中传导率要远低于大气，因此在水淹条件下，容易造成植物缺氧，以及土壤还原性毒素的积聚。而红树植物的根部却能在这种长期水淹缺氧环境中正常发育，说明红树植物对于水淹环境有独特的响应机理，这引起了我们的好奇。

## 实验二：不同潮间带红树植物间的根系结构对比

### 1、实验过程

通过与老师交流得知，红树植物分很多种，沿高程梯度，从靠海端到陆地，依次分布着先锋红树植物、红树科植物以及半红树植物。这引起了我们的好奇，不同高程的土壤受到水

淹胁迫的程度各不相同，高程低的地方容易受到水淹胁迫，而高程高的地方很少受到水淹胁迫。那么位于海陆过渡带不同高程处的红树植物物种之间，它们在形态解剖结构上有没有区别呢？

(1) **采集**：选择分布于潮间带不同位置的两种红树植物为对象，秋茄和杨叶肖槿。红树植物的幼苗采集自珠海红树林苗圃场。杨叶肖槿是半红树，分布于陆地或高潮间带，很少受到海水淹没。秋茄则属于典型红树科植物，位于潮间带受海水周期性淹没。

(2) **扫描电镜观察**：将两种植物的切片置于扫描电镜下观察，研究位于潮间带不同位置的两种红树植物在形态结构上的差异。

(3) **根系放氧测定与根内氧压的测定**：利用  $Ti^{3+}$  钛离子比色法测定根系放氧量。首先将植物幼苗放置于试管中，往试管中加入去氧的营养液，再在上面加一层大约 2-3 厘米的油脂，以隔绝空气。放置 24 小时后，利用分光光度计测定溶液中钛离子浓度变化，换算植物根系放氧量，使用 OXYGEN SENSORS 测量秋茄与杨叶肖槿中根部的电信号，按照公式转变为根内氧压数值。

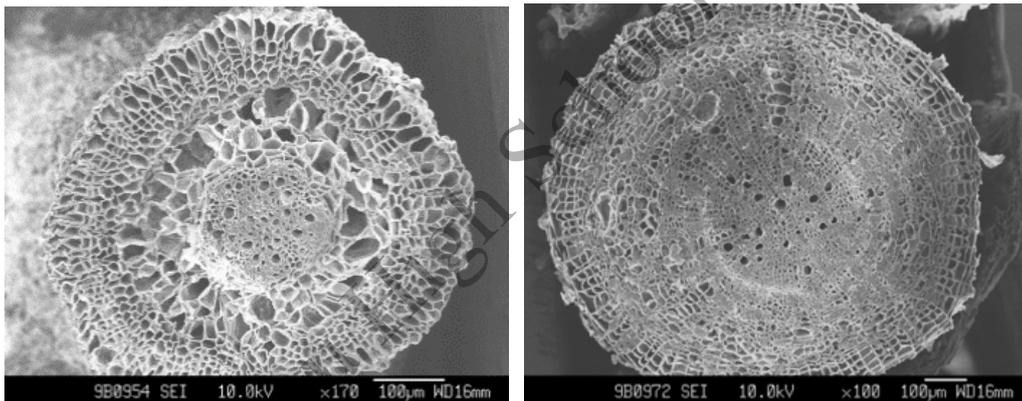


图 2-1 两种红树植物根系切片电镜图（左秋茄，右杨叶肖槿）

表 2-1 两种红树植物根内氧分压与根系放氧的测定

红树植物物种	根内氧分压 (%)	根系放氧 ( $\mu\text{mol O}_2 \text{ d}^{-1} \text{ plant}^{-1}$ )
秋茄	44.14%	18.60
杨叶肖槿	20.91%	6.54

## 2、结果分析

我们发现位于潮间带不同位置的两种红树植物，由于其生境不同，它们在根系形态结构上有着非常明显的差异。位于靠近陆地的半红树杨叶肖槿的中柱面积占比最大，几乎没有通气组织。相反，受到海水周期性淹没的秋茄，它的中柱面积较小，根系有较发达的通气组织。根系中的通气组织会给植物提供一个氧气内部传输通道，有利于对地下根系的输氧。这样输送到地下根系的氧气一部分被根系呼吸所消耗，另一部分则会溢出根系，这就是根系放氧。

我们发现，这两种红树植物在根系放氧上面也存在很大的差异，秋茄的根系放氧量要远远大于杨叶肖槿。而半红树植物杨叶肖槿根中的氧分压要明显低于正红树植物秋茄的氧分压，说明在水淹所带来无氧的条件下，秋茄根中的氧含量是大于杨叶肖槿根中的氧含量，秋茄植物在无氧的情况下传输氧的效率更高。

红树植物这些在形态解剖结构以及根系含氧量与放氧等方面的差异，解释了它们根部通气组织结构的差异带来的根系含氧量与放氧的关系，同时也解释了它们在海陆过渡带的真实分布状况。位于高程较低靠近海洋的秋茄，由于受到水淹缺氧的程度更大，因此秋茄具有相对更发达的根系通气组织，有助于输送足够的氧气到地下根系部分，更好的缓解由水淹而导致的根系缺氧状况。

实验显示，位于潮间带不同位置的红树植物，由于其生境不同，它们在根系形态结构上有着非常明显的差异。那么对于同一种植物而言，如果改变它的生长环境，如人为的水淹处理是否会对它的生理生化产生一些影响呢？于是，带着这个问题我们选用了秋茄作为研究对象，探索了在水淹胁迫下秋茄的生理生化指标发生的变化情况。

### 实验三：水淹对秋茄根系结构和根系放氧以及根内氧压的影响

#### 1、实验过程

(1) 采集：在南海海洋研究红树植物育苗床中挑选数棵大小相近，生长状况都良好的秋茄幼苗。

(2) 处理：将幼苗分为两组，一组为非水淹，另一组为水淹组。

(3) 根系形态结构光学显微镜检测：制作秋茄的根部切片，并置于显微镜下观察。

(4) 根系放氧测定：利用  $Ti^{3+}$  钛离子比色法测定根系放氧量。首先将植物幼苗放置于试管中，往试管中加入去氧的营养液，再在上面加一层大约 2-3 厘米的油脂，以隔绝空气。放置 24 小时后，利用分光光度计测定溶液中钛离子浓度变化，换算植物根系放氧量。

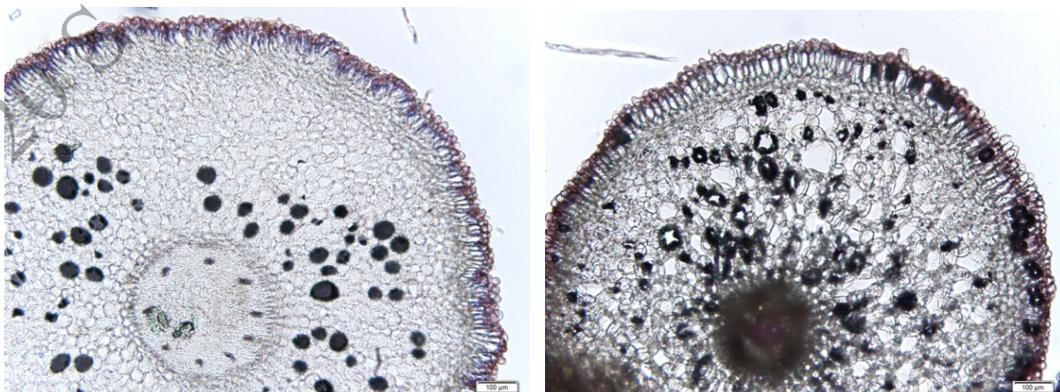


图 3-1 非水淹（左）以及水淹（右）条件下秋茄根系结构差异

表 3-1 根系放氧的测定

实验处理	根系放氧 ( $\mu\text{mol O}_2 \text{ d}^{-1} \text{ plant}^{-1}$ )
非水淹	17.35
水淹	26.65

## 2、结果分析

从实际镜检中发现，水淹处理会明显刺激秋茄根部通气组织的形成。根系通气组织的增强有利于植物将氧气输送到地下根系部分。我们根系放氧测定结果也表明，在水淹处理下，秋茄根系放氧量明显增加了。

实验显示，水淹会刺激通气组织的形成，促进对根系的输氧。那么，传输到地下根系部分的氧气，除了供根系呼吸生长外，还有什么其他的功能吗？会对根际土壤有什么影响吗？除此之外我们在野外发现红树植物有很发达的气生根和呼吸根，红树林土壤也有很多的螃蟹洞。那么气生根和螃蟹洞在植物适应水淹环境的过程中起到了哪些作用呢？带着这些问题我们进行了以下实验。

### 实验四：红树植物根部放氧对土壤环境的影响

#### 1、实验过程

(1) 处理：选择三棵秋茄苗，将其种植于根际箱内中间的种植区。根际箱用隔板分隔出不同区域，分为种植区(1cm)、根际区(距种植区 1-2cm)、近根际区(距种植区 2-4cm)以及非根际区(距种植区 4-7cm)。实验期间水淹处理。

(2) pH 及 Eh 测量：样品经过 5 天的处理后，我们对土壤的 pH 及 Eh 进行了测量。

(3) 土壤氧测定：利用氧微电极测定土壤中氧分压，实验开始前将室温下大气中氧分压设置为 100%，将饱和坏血酸钠水溶液中的氧分压设为 0%。

表 4-1 pH、Eh、氧分压的测定

根际箱不同区域	pH	Eh/mV	氧分压 (%)
根际区	5.20	107.0	85.6
近根际区	5.52	96.5	74.2
非根际区	5.64	92.3	70.6

## 2、结果分析

我们发现，根际区的氧化还原电位和氧分压都要高于近根际和非根际区。秋茄在水淹环境中会利用其根部的特殊结构释放氧气，在根部附近营造一个相对有氧的环境，给根部发育

创造了一个良好的微环境。这是秋茄在适应长期水淹的环境后所产生的独特的响应机理。

红树植物可以根系放氧，创造一个相对氧化的根际微环境，以减缓水淹造成的土壤缺氧。除了根系放氧外，有没有其他方式能够让红树植物更好的适应水淹环境呢？我们在野外发现红树植物有很发达的气生根和呼吸根，红树林土壤也有很多的螃蟹洞。那么气生根和螃蟹洞在植物适应水淹环境的过程中起到了哪些作用呢？为此，我们模拟了气生根和螃蟹洞，探究了它们对土壤环境的影响。

## 实验五：红树气生根对土壤氧分压的影响

### 1、实验过程

(1) **处理：**第一组实验在水淹条件下不种植植物的情况下，在土壤中人工挖洞以此模拟野外螃蟹洞，对照组为实验一中的水淹组。第二组实验依然在水淹的条件下设立三个实验组种植秋茄，分别为无植物土壤组、培养组以及插吸管模拟气生根培养组。



图 5-1 第一组 模拟水淹螃蟹洞

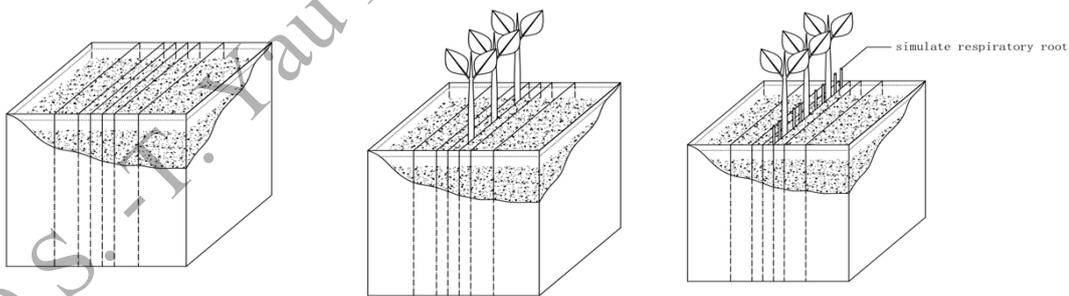


图 5-2 第二组 根际箱处理组

(2) **pH 及 Eh 测量：**样品经过 5 天的处理后，我们对土壤的 pH 及 Eh 进行了测量。

(3) **土壤氧测定：**利用氧微电极测定土壤中氧分压，实验开始前将室温下大气中氧分压设置为 100%，将饱和坏血酸钠水溶液中的氧分压设为 0%。

表 5-1 第一组及第二组实验数据

处理组	pH	Eh/mV	氧分压 (%)
第一组实验			
对照组	5.42	98.8	72.6
模拟螃蟹洞	5.22	109.4	79.6
第二组实验			
无植物土壤组	5.47	99.4	72.9
培养组	5.26	104.2	75.8
模拟气生根组	5.03	121.5	88.6

## 2、结果分析

人为模拟的气生根都能有效的降低土壤的 pH 并提高 Eh，以及提高土壤中的氧分压，以减缓水淹所造成土壤缺氧，其中模拟气生根组的效果最佳。红树林不仅具有发达的呼吸根系，并且在红树林树下有大量的螃蟹洞。根据实验分析可知：螃蟹洞也能帮助红树植物适应水淹环境。在花卉栽培中，为避免水淹导致烂根，可以考虑往土壤中插入几根空心的管子，或者模拟螃蟹洞等都可以为根系提供氧气，这些方法简单而又实用。

## 四、研究成果

### (一) 完成实验设计的目标

#### 1、得到了实验设计的结果、

顺序	实验目的	实验结果
实验一	探究水淹是否会降低土壤的缺氧以及氧化还原电位	水淹处理明显不仅降低了土壤的氧化还原电位，也降低了土壤中的氧气含量
实验二	探究位于潮间带不同位置的红树在环境影响下根系结构上的差异，以及根系结构与根系氧之间的联系	相比靠近陆地的半红树杨叶肖槿，位于低高程靠海端的秋茄通气组织更发达，根系放氧量更大。
实验三	探究水淹环境对红树植物根系形态结构的影响	水淹刺激促进秋茄根部通气组织的形成，增加了根系放氧量。
实验四	探究红树植物根系放氧是否会缓解土壤缺氧状况	秋茄近根际和非根际区的氧化还原电位和氧分压都要低于根际区
实验五	探究红树植物对适应水淹环境的机制	人为模拟的螃蟹洞和气生根都能有效的提高土壤中的氧分压，以减缓水淹所造成土壤缺氧，其中气生根组的效果更佳

#### 2、由实验得出以下结论

(1) 我们发现位于潮间带不同位置的红树植物，它们在根系形态结构上有着非常明显的

差异。位于靠近陆地的半红树杨叶肖槿的中柱面积占比最大，几乎没有通气组织。相反，受到海水周期性淹没的秋茄，它的中柱面积较小，根系有较发达的通气组织。结合根内氧压与根外氧压实验与红树植物的根部切片图，实验显示：具有更发达通气组织的红树植物无论是根内氧压、根外氧压都要大于通气组织形成较小的红树植物，由此可以得出结论：发达的通气组织具有更高的氧气传输效率，有利于红树植物在水淹时地上部向地下部传输氧气，理论上能更为有效的缓解无氧呼吸糖酵解带来的有毒害的代谢产物如：乙醇、乳酸的积累。同时与高潮位红树植物相比提高了根系放氧的效率，而根系放氧能够使湿地植物根际溶解氧及其微生物分布发生变化，为根部发育创造了一个良好的发育环境。红树植物根系通气组织的不同，比较好的解释了它们在海陆过渡带的真实分布状况。

(2) 红树林自身发达的呼吸根系统，以及螃蟹洞等，也都有利于减缓水淹所造成的土壤缺氧。类似人为模拟的呼吸根（插吸管），也可以应用于花卉栽培中，以免植物受到水淹伤害。

## (二) 改进完善实现了创新

### 1、改进完善的实验

(1) **实验方法**：本次研究的重点和难点对于我们是红树植物根系形态结构和根系放氧量、以及土壤环境的测定。经过讨论与摸索，我们决定不使用亚甲蓝染色法，因为这个方法只能定性的测定根系放氧的强弱，比较难定量的测定根系放氧量。最后我们利用  $Ti^{3+}$  比色法去定量的测定根系放氧量，我们首先通过摸索筛选出了最佳的放置时间 24 小时，并在放置期间在液面上方加入石蜡油，以避免空气进入。在测定土壤环境过程中，我们利用微电极直接测定氧分压，这比氧化还原电位更能直接反应土壤中氧含量。

(2) **实验装置**：在土壤微环境的测定方面，我们特别设计了根际箱，将土壤分为不同的区域，再利用精密的氧电极测定不同区域的氧分压，探索根系放氧对根际微环境的影响。另外，我们还人为模拟了呼吸根、螃蟹洞，并探索了它们对土壤环境的影响。这些特殊的装置都有明显的创新性。

(3) **实验步骤**：红树植物为什么能适应水淹环境？带着这个问题，我们经过充分的讨论，设计了五个小实验，基于形态结构、植物氧气传输以及根系放氧等对根际微环境的影响，从结构适应和氧气传输的角度揭示了红树植物对水淹环境的适应机制，并由此联系到花卉栽培过程中如何避免水淹缺氧。整个研究思路和实验步骤逻辑清晰，同时也非常有趣味性和创新性。

### 2、改进完善的结果

(1) **快速高效**：我们直接利用氧电极定量的测定土壤中的氧分压，非常便捷高效。我们模拟的呼吸根（插吸管）、螃蟹洞（挖洞），均能有效地减缓水淹所造成的土壤缺氧，有利于

植物的生长，该方法也可以应用于日常花卉栽培中，操作简单且有效。

**(2) 数据精确：**本研究的一个重点就是如何精细的测定氧。关于土壤微环境的检测，氧电极非常精细灵敏，数据精确可靠，是目前测氧最好的方法。关于  $Ti^{3+}$  比色法测定根系放氧量，经过改进和完善，同样能定量精确地测定根系放氧量。

**(3) 结论明显：**本次研究的五个实验，相互联系，实验结果明显，红树林之所以能够适应水淹环境，要归功于其特殊的根系形态解剖结构，如发达的通气组织可以给植物提供一个氧气传输的内部通道，输送足够的氧到地下根系部分。这些氧除了供根系呼吸生长外，还可以通过根系放氧创造出一个相对氧化的根际微环境。另外，红树林发达的呼吸根系统以及螃蟹洞等也能够一定程度上减缓水淹所造成的土壤缺氧。

## 五、项目特色

### 1、新颖性

从结构适应环境这一角度出发，并与根内氧压、根外氧压结合，揭示了红树植物是如何适应潮间带水淹环境以及如何缓解无氧呼吸带来的毒害，并由此联系实际，探索在日常生活动花卉栽培中如何避免水淹对植物造成伤害，选题非常具有趣味性和新颖性。

### 2、先进性

将红树植物根系形态结构与其氧化传输联系起来，探索红树植物对水淹缺氧环境的响应机理，并通过一系列的实验，从不同的角度不同的层次，揭示了红树植物为适应不同潮间带环境而进化出的强大通气组织，以此提升根内外氧压，从而缓解植物体内与根部环境的无氧呼吸对细胞带来的毒害。这一研究成果有明显的创新性和重要的科研价值。

### 3、实用性

研究红树植物对水淹环境的响应机理，可广泛应用于日常花卉栽培等方面以免造成水淹伤害，如模拟呼吸根等，简单实用，应用前景广阔。

## 六、后续研究

在这次研究中，由于时间关系，我们仅仅测定了水淹对土壤氧化还原电位等的影响。其实水淹还有可能会造成土壤氮生物有效性的降低，以及一些有毒物质的积累如甲烷和硫化物等，这些有毒物质同样严重影响植物的正常生长。

我们对于水淹环境下红树植物形态结构的变化，仅通过显微镜做了一个定性的研究，发现水淹胁迫可以刺激根系通气组织的发育，对于通气组织发育的不同阶段下细胞变化特征，如

细胞膨胀、胞壁降解等过程还有待更细一步的观测。另外，我们仅研究少数几种红树植物形态解剖结构和根系放氧，不同红树植物在形态解剖结构上有很大的差别，很有必要多去了解其他的一些红树植物种类在形态结构和氧气传输效能上的差异。

我们本次实验所在的实验室主要是从事红树林分子生态研究的，在我们这次研究学习过程中，实验室的哥哥姐姐们会做一些红树林对全球变化（如异常低温和重金属污染）的分子生物相关实验。至于红树植物通气组织的形成和发育分子调控机制，有哪些基因参与了通气组织的形成和发育的调控，我们觉得后续还应该更进一步的深入研究下去。

## 七、感想收获

我们接触并了解了显微镜的使用方法，以及植物切片的制作方法。植物切片需要很薄才能拍到好看的照片，研究所的老师和哥哥姐姐们有时候用手工做的切片都能拍出很好看的图，甚至可以和切片机做出来的切片相媲美。我们制作的徒手切片技能还有待提高。

另外，我们也学习了氧电极的操作方法，氧电极非常精细，听老师介绍这种微电极还可以刺入根系测定根系内部的氧气分压，由于时间关系，我们没有进一步测定植物内部的氧气情况，有一点点遗憾。

通过这次研究，我们了解到红树植物是如何适应水淹环境，在南海所老师的帮助下，我们从形态结构方面，结合氧气传输，探究了红树植物对水淹环境的适应机制。并受此启发，模拟呼吸根和螃蟹洞也能够减缓土壤水淹缺氧。我们收获颇多，我们觉得做研究是一件非常有趣的事情，在查阅文献、逻辑思维能力培养等方面也得到锻炼，如果将来有机会的话，都想当一名科学家。

## 八、参考文献

- [1] 陈桂珠, 陈桂葵, 谭凤仪. 白骨壤模拟湿地系统对污水的净化效应. 海洋环境科学, 2000, 19: 24-26.
- [2] 陈能场, 童庆宣. 根际环境在环境科学中的地位. 生态学杂志, 1994, 13: 45-52.
- [3] 林玲玲, 黄丽, 仇建标, 陈少波. 长期水淹胁迫下的北移秋茄形态结构和生理变化. 科技通报, 2016, 32: 56-60.
- [4] 林鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社. 1997.
- [5] 刘逸泠, 覃盈盈, 郑海雷. 红树植物耐水淹和高盐适应性研究进展. 厦门大学学报, 2017, 56: 314-322.

[6] 刘勇,刘永,李纯厚,谭凤仪,叶志鸿,陆琴燕. 不同红树植物和湿地植物根部渗氧特征研究. 广东农业科学, 2011, 38: 5-9.

[7] 罗美娟,崔丽娟,张守攻,谭芳林,叶功富. 红树植物对水淹缺氧的生理响应研究进展. 世界林业研究, 2012, 25: 24-28.

2020 S.-T. Yau High School Science Award

## 丘成桐中学科学奖-学术诚信声明

本参赛团队郑重声明：

1. 参赛团队提交的参赛队员和指导老师信息完整且属实无误。
2. 所提交的研究报告是在指导老师指导下进行的研究工作和取得的研究成果。
3. 尽本团队所知，除文中加以标注和致谢中所罗列的内容外，研究中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，不存在代写或其他违规行为。

以上，若有不实之处，本人愿意承担一切相关责任，并服从丘成桐中学科学奖组织委员会的裁决。

参赛学生（签字）：刘云浩 康培盈 梁皓

本校指导老师（签字）：李建设

学校名称（加盖学校或教务处公章）：



外校指导老师（签字）：吴培华

单位名称（加盖单位公章）：



2020年9月11日

## 团队介绍

### 刘云浩

广州市六中高一（3）班学生，团队负责人。

勤奋好学，爱动脑筋，动手能力强，遇到问题善于思考，突破思维定势，运用发散和逆向思维，独辟蹊径，找到解决问题的方法，具有“打破沙锅问到底”的精神。在老师的指导帮助下，完成了实验的设计，克服了实验操作不规范、不熟练的困难，最终，实验取得了成功；通过实验培养自己的科学素养，即使以后不会成为一名科研工作者，也会从这次和以后的科研实践中获益，培养起自己的科学思维，举一反三，应用在今后的学习和生活中。

积极参加学校各项活动，积极参与社会实践、科普公益和各种艺术鉴赏活动，感受科学与艺术的熏陶。能够正确处理竞争与合作关系，通过代表学校参与围棋、机器人等比赛，养成良好的团队精神和竞争意识。曾获广州市青少年机器人竞赛WER工程挑战赛初中组一等奖，广东省青少年机器人竞赛WER工程创新赛初中组三等奖，广东省创意机器人大赛团体三等奖，广州市青少年机器人竞赛VEX机器人挑战赛初中组三等奖。

在本次科研活动中，主要负责文献综述、实验方案的设计、实验操作、论文的撰写与修改。

### 康熿盈

广州市六中高一（11）班学生

热爱学习，乐于思考、探索科学问题。从小学便接触学习各种科学知识，多次参与科学比赛和培训，有许多科技创新的学习经历。动手能力强，善于建造模型；分析总结实验现象；有极强团队精神。同时，虚心好学，请教老师，善于沟通。针对问题能够从不同角度分析，乐于创新，在老师和同学的帮助下克服实验中的困难，培养科学创新精神，提升自身科学素养，体验学习中的乐趣。

在本次科研活动中，主要负责实验过程的操作、实验现象的记录、总结。

### 梁正浩

广州市六中高一（9）班学生

学习兴趣浓厚、学习能力强，学习成绩优秀。遇上问题善于思考，找到解决问题的方法；实验设计能力较强，常常会通过触类旁通和类比推理，完善实验方案；看着使用说明书，能很快学会仪器设备的使用。从初中开始，喜欢探索科学的奥秘，在这次实验设计和实验探究过程中，学习到了很多科学实验的方法技巧，体验到科学家那样科学发现的过程。

在本次科研活动中，主要负责实验操作、验数据处理，现象记录，修改论文。

## 指导老师

### 宋建陵

中学生物高级教师，华南师范大学硕士研究生导师，广州市青科教协会创造发明专委会副主任。广州市优秀教师、广州市六中科技教育首席教师、广州市科技骨干教师培训班导师及班主任。多次评为“十佳优秀科技教师”、“全国优秀园丁”。在国内核心刊物发表生物教学论文 26 篇，出版专著《中学生物学创新实验》、《高中生物奥赛培训教材》、《青少年发明创新活动指南》、《学习能力与创新思维》、《科普阅读与思维训练》等 8 部。致力于科技创新与学科教学的渗透与整合、特色学校与特色课程的策划与实施、科技创新为高考自主招生服务，为学校科技创新特色的形成以及评为“全国创新教育十佳学校”做出了贡献。带领团队多次策划和组织了省市科技教育竞赛活动，均取得圆满成功。

指导学生参加“全国青少年科技创新大赛”、“明天小小科学家奖励活动”获得 68 项省及全国一、二等奖；2016 年、2017 年、2019 年指导学生参加过三届“丘成桐中学科学奖”，获得优胜奖。

### 吴梅林

中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室，博士、研究员。

主持国家自然科学基金 2 项、海南省自然科学基金 1 项、中国科学院南海海洋研究所青年人才领域前沿项目 1 项和国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室开放基金 1 项和国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室开放基金 1 项；参加国家自然科学基金项目、中科院院创新项目以及国家 908“ST08 区块水体环境调查与研究”等。多次参加南海北部科学考察航次以及组织实施大亚湾、珠江口海域考察航次等，积累了丰富的海洋科学考察和科学研究经验。目前主要关注人类活动和自然变化对南海北部及其近海大亚湾、珠江口以及三亚湾的生态与环境的影响，取得重要的创新性成果。

发表 SCI 论文 40 余篇，其中第一作者 20 余篇，引用 300 余次，研究成果被“*NatureChina*”(“自然中国”)选择为亮点论文以及 2011 年国际埃尼奖(Eni Award 2011)提名，并应邀担任多个国际期刊编委。