

参赛学生姓名： 成玥萦

中学： 济南外国语学校

省份： 山东省

国家/地区： 中国

指导老师姓名： 张杰、刘延青

指导老师单位： 济南外国语学校

论文题目： 记录生命—基于环境感知及深度学习  
的长寿花形态周期性变化分析系统

# 记录生命——基于环境感知及深度学习的 长寿花形态周期性变化分析系统

成玥萦

*KerryCheng0818@163.com*

*Jinan Foreign Language School*

## 摘要

与多数研究重点关注长寿花完整成长过程不同，本文立足研究长寿花开放形态在昼夜 24 小时内的可量化细微变化。即本文以探索导致 CAM 类植物——长寿花开放形态昼夜周期性变化的主要影响因素为研究目标，利用传感器搭建长寿花生长环境参数采集系统，以实现照度、温度、湿度、气压、海拔以及 CO<sub>2</sub> 浓度等关键参数的定期采集，并采用均值滤波算法提高环境数据的可用性；利用旧手机搭建长寿花开放形态昼夜变化观察系统，辅以可控短时照明，以实现目标长寿花图像的昼夜定期获取，共建立 7 组长寿花共 8542 张图片的数据集；采用多目标跟踪算法，克服长寿花自身生长以及由向性运动及感性运动带来的位置移动问题，实现多个目标长寿花图像的精确跟踪及实例分割；采用高斯面积公式计算目标长寿花分割图像的凹多边形面积以近似代表其不同时刻的开放形态；最终基于数据分析建立“时刻—长寿花形态—环境参数”之间的定量关系。综合数据分析结果及植物生理学相关理论，本文认为在所设定的实验条件下，光照强度是长寿花开放形态昼夜周期性变化的主要影响因素。本文所建立的基于“传感器+视频服务器+深度学习算法”的植物昼夜生长形态分析系统，既可用于植物生长档案建立，也可广泛应用于可抽象为“长观察周期、固定环境、明确目标、可定义缓变/突变”的其他各类场景。

**关键词：**长寿花；昼夜开合；传感器；视频服务器；深度学习；多目标跟踪；实例分割；植物生长档案

# 目录

摘要.....	1
目录.....	II
<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 问题的提出.....	1
1.2 研究目标.....	2
1.3 研究计划.....	3
<b>第二章 国内外研究现状</b> .....	<b>4</b>
2.1 长寿花生长特点及相关研究.....	4
2.1.1 植物的生物钟.....	5
2.1.2 光周期现象.....	5
2.1.3 植物识别——花伴侣.....	7
2.2 花卉生长关键环境参数及采集方法.....	8
2.2.1 光照.....	8
2.2.2 温度.....	8
2.2.3 湿度.....	9
2.2.4 CO <sub>2</sub> 浓度.....	9
2.3 实例分割及多目标跟踪算法.....	9
2.3.1 实例分割.....	9
2.3.2 多目标跟踪算法.....	10
2.4 凹多边形面积计算方法.....	10
<b>第三章 系统方案</b> .....	<b>12</b>
3.1 系统架构.....	12
3.2 工作流程.....	12
3.3 辅助光源.....	13
<b>第四章 环境参数采集系统</b> .....	<b>16</b>
4.1 传感器.....	16
4.1.1 照度、温度、湿度——GY-39 传感器.....	16
4.1.2 CO <sub>2</sub> 浓度——JX-CO <sub>2</sub> -102 传感器.....	16
4.2 通讯方式.....	17
4.2.1 GY-39 传感器.....	17
4.2.2 JX-CO <sub>2</sub> -102 传感器.....	19
4.3 数据滤波.....	19
4.4 运行情况.....	20
4.4.1 系统安装情况.....	21
4.4.2 数据采集情况.....	21
<b>第五章 网络图像采集系统</b> .....	<b>25</b>
5.1 利用旧手机搭建网络图像采集系统.....	25
5.1.1 系统架构.....	25
5.1.2 视频服务器.....	26
5.1.3 图像采集.....	26

5.2 图像数据收集情况	27
5.3 时间同步处理	30
<b>第六章 YOLOv8 模型建立及训练</b>	<b>32</b>
6.1 YOLOv8 模型	32
6.1.1 YOLO 发展历程	32
6.1.2 YOLOv8 网络结构	33
6.1.3 YOLOv8 评价指标	34
6.1.4 长寿花昼夜生长图像 YOLOv8 分割模型训练流程	36
6.2 数据集准备	36
6.2.1 收集数据	36
6.2.2 标注数据	37
6.2.3 划分数据集	39
6.3 模型训练及结果分析	39
6.3.1 参数配置	39
6.3.2 训练结果评价	40
6.4 验证结果	43
<b>第七章 长寿花图像多目标跟踪方法</b>	<b>45</b>
7.1 YOLOv8 多目标跟踪方法	45
7.2 BoT-SORT 跟踪器配置及跟踪效果分析	46
7.2.1 参数配置	46
7.2.2 跟踪效果	46
7.3 长寿花昼夜开放形态可视化处理	48
7.4 长寿花面积计算	49
<b>第八章 长寿花开放昼夜形态变化观察实验</b>	<b>51</b>
8.1 长寿花开放形态昼夜周期性变化观察实验	51
8.1.1 “白紫 WP”长寿花——24 小时实验	51
8.1.2 “红黄色 RY”长寿花——24 小时实验	53
8.1.3 “红色 R1”长寿花——2*24 小时实验	56
8.1.4 “粉色 Pi”长寿花——3*24 小时实验	59
8.1.5 “红色 R2”长寿花——5*24 小时实验	62
8.1.6 “黄色 Y”长寿花——5*24 小时实验	65
8.2 数据分析	69
8.2.1 照度、温度	69
8.2.2 湿度	70
8.2.3 气压、海拔	70
8.2.4 CO <sub>2</sub> 浓度	70
8.3 实验结论	70
<b>第九章 讨论</b>	<b>72</b>
9.1 研究意义及创新点	72
9.2 系统如何进一步提升	72
9.2.1 功能	72
9.2.2 精度	73
9.2.3 速度	73
9.2.4 可靠性	73

9.2.5 适用性 .....	73
9.2.6 原理解释 .....	73
9.3 潜在的应用 .....	73
9.3.1 植物生长档案系统 .....	73
9.3.2 “植物宠物” .....	74
9.3.3 动物生长档案系统 .....	74
9.3.4 老幼、病人监护 .....	74
9.3.5 固定场所危险源识别 .....	74
9.4 收获与成长 .....	74
9.4.1 科技发展 .....	75
9.4.2 严谨认真 .....	75
9.4.3 直面困难 .....	75
9.4.4 坚持到底 .....	76
9.4.5 享受快乐 .....	76
参考文献 .....	77
致谢 .....	79

# 第一章 绪论

## 1.1 问题的提出

春节临近，阳光明媚，家里养的长寿花纷纷开放，红的、黄的、紫的、白的，还有混色的，非常漂亮！奇怪的是，早晨还开得非常舒展的长寿花，下午却像要凋谢的样子，花瓣收缩到一起，这花期也太短了吧，真是遗憾！第二天一早，拉开窗帘，看到窗台上的长寿花，也像刚刚起床舒展了筋骨，又美丽地绽放了。这真是太奇妙了！长寿花也像人一样有生物钟吗，也有它自己的“白天”和“黑夜”吗？其他品种的长寿花也是这样吗？其他花卉也一样吗？其他植物呢……

再观察一天，又是一个“轮回”！如图 1.1，家里的长寿花，都不同程度表现出花朵清晨至中午绽放，中午至傍晚收缩的现象。看来这种现象有一定规律性。那是什么规律呢？是什么因素影响产生的这种规律？夜晚长寿花又是什么样子？以一天 24 小时为周期长寿花还有这种规律吗？放在更长的时间里呢？

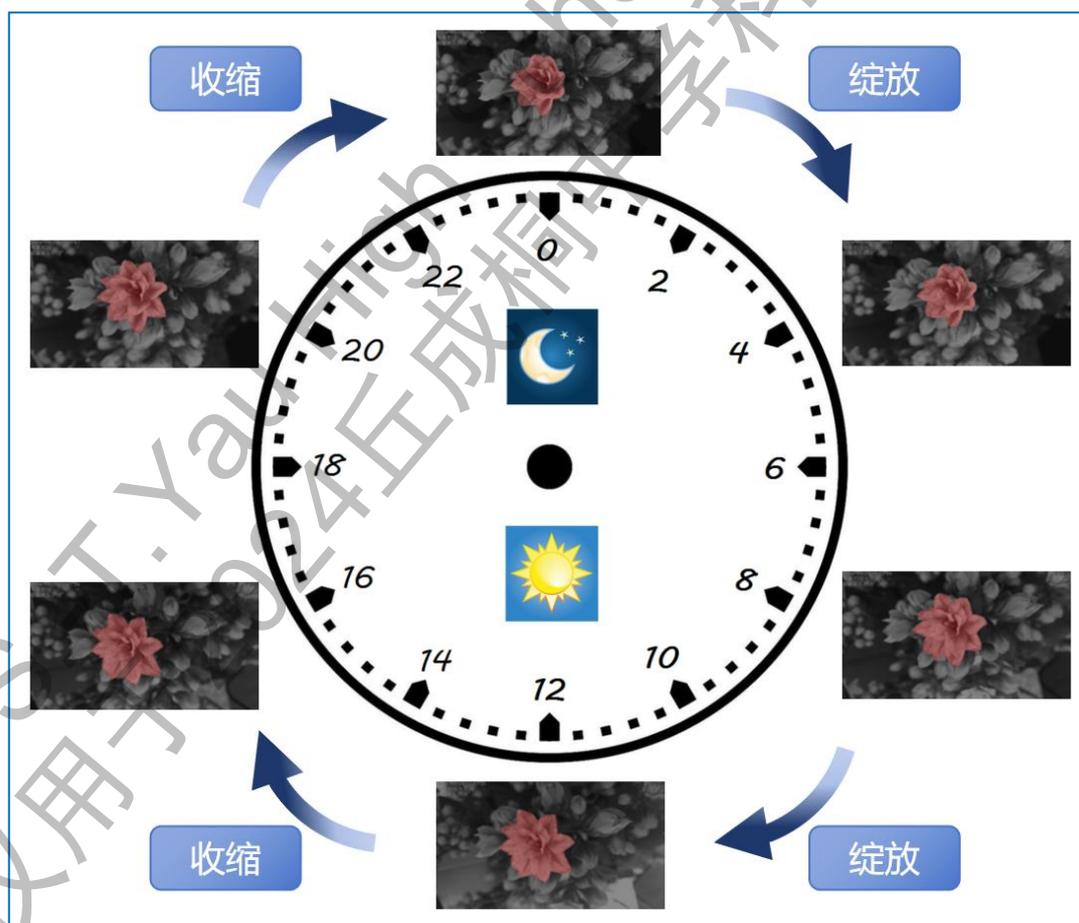


图 1.1 长寿花随时间开合现象

《生物》课中介绍，植物生长主要受光合、呼吸和蒸腾三大作用的影响。是否长寿花随时间的开合现象与光照、温度、湿度、CO<sub>2</sub>浓度这些环境参数有直接的关系？哪个参数影响最大呢？如何采集这些参数？又怎么去建立这些参数和花朵随时间开合的定量关系？

回想一下，经常能在纪录片中看到通过倍速播放视频展示花朵快速开放的过程，是否可以通过定时给长寿花拍照来记录其开合变化？这么多的花，又怎么能分清是哪一朵呢？是否可以用花的面积或直径代表其开合程度呢？

综上，问题总结为：

- (1) 长寿花是否有以天为单位的周期性花开花合规律？
- (2) 如果有规律，是什么影响因素导致的？
- (3) 如何获取相关数据，以确定影响因素与长寿花开合之间的定量关系？
- (4) 以上方法还可以扩展应用到哪些领域？

## 1.2 研究目标

以家养长寿花（如图 1.2）为研究对象，设计并搭建长周期（>3 天）长寿花生长环境参数及昼夜开放形态采集系统，实现多维环境参数、长寿花图像等数据的定时采集并建立典型数据集；对数据进行预处理，并基于深度学习获取目标长寿花的开放形态；通过数据分析，建立“时刻—长寿花形态—环境参数”之间的量化关系；确定长寿花开放形态昼夜周期性变化的主要影响因素；结合植物生理学等相关理论，确认结论的正确性；进一步提出本文系统可能的拓展应用。



图 1.2 长寿花

### 1.3 研究计划

需要结合长寿花的花期（1月至6月）开展研究。

(1) 2024年1月21日~1月26日

文献调研，从植物学角度了解长寿花等花卉开放形态昼夜周期性变化的原因，分析并提出可能影响长寿花开放形态昼夜周期性变化的主要环境参数。

(2) 2024年1月27日~2月2日

系统设计，调研并确定环境参数采集方法及相应的传感器、长寿花昼夜图像采集方法及光源等辅助设备、主控制器，购买传感器、图像采集设备、主控制器及其他辅助设备。

(3) 2024年2月3日~2月9日

系统搭建，搭建长寿花生长环境参数及昼夜开放形态采集系统。

(4) 2024年2月10日~3月9日

软件编程，实现对长寿花生长环境参数、昼夜图像的定时采集，期间收集数据。

(5) 2024年3月10日~4月9日

软件编程，完成对采集数据的预处理，实现获取目标花朵面积的方法，期间继续收集数据。

(6) 2024年4月10日~5月31日

数据收集、分析，对不同长寿花进行长周期数据收集及数据分析，得出结论。

(7) 2024年6月1日~7月15日

整理数据，撰写研究报告。

## 第二章 国内外研究现状

为更好地开展研究，我们需要了解长寿花的生长特点、生长机理以及影响其生长的要素，并在此基础上选择出可能导致长寿花生长形态昼夜周期性变化的关键要素，进而提出可能的数据获取方法。为获得长寿花花朵的形态，我们需要对长寿花进行观察，并通过特定的方法把目标长寿花与其它花、叶区分开，进而计算其面积以表达其开放形态。以下为国内外相关研究调研。

### 2.1 长寿花生长特点及相关研究

长寿花 (*Kalanchoe blossfeldiana*)，植株小而紧凑，叶片大而碧绿，花朵五颜六色，非常漂亮。长寿花观赏期长、耐旱怕涝、易于家庭养殖，其花期涵盖圣诞节、春节等重要节日，加之其中文名称中蕴含的“长寿、吉祥”等含义，近年来已成为深受大众喜爱的节日用花<sup>[1]</sup>。

从植物学角度，长寿花为景天科伽蓝菜属，是景天酸代谢途径 (Crassulacean Acid Metabolism, CAM) 类植物<sup>[2]</sup>。CAM 类植物有别于大多数植物，其叶片气孔于夜晚打开吸收、固定  $\text{CO}_2$ ，并将形成的苹果酸等有机酸储存在细胞的液泡中；而白天其叶片气孔则关闭不再吸收  $\text{CO}_2$ ，但通过光合碳循环，从苹果酸中把固定的  $\text{CO}_2$  释放并还原为糖，同时释放出  $\text{O}_2$  (如图 1 所示)。这也是长寿花适宜在卧室养殖的重要原因<sup>[3]</sup>。

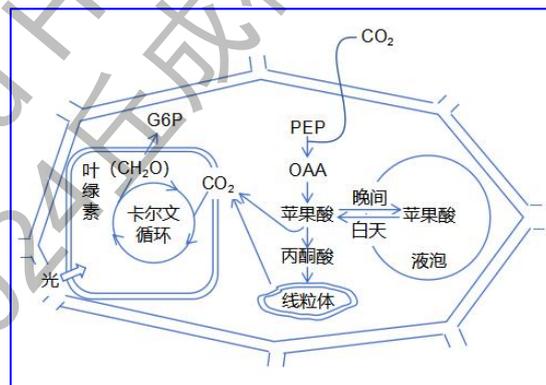


图 2.1 长寿花昼夜代谢过程

目前已知的 CAM 植物至少存在于 35 个科，343 个属。最主要的科包含景天科、仙人掌科、大戟科、番杏科、百合科等<sup>[4]</sup>。这些科有两个共同特征：①都起源于热带或亚热带，其中许多种生长于干旱地区；②大部分 CAM 植物的茎或叶是肉质的。这些特征是在高温、干旱环境中生长的植物经过长期演化而形成的<sup>[5]</sup>。

CAM 植物分为两类，随着光周期变化的 CAM，以及不受光周期控制的 CAM。这是它们生物钟进化的一部分，也是适应热带的生存策略。

影响植物生长、开花的主要因素包括光照、温度、水分、土壤质量、空气质量、光周期、春化作用、遗传基因和人为影响。华南师范大学植物学家潘瑞炽撰写的《植物生理学》<sup>[6]</sup>详细介绍了植物的生长发育等植物生命活动的基本规律。从中我们可以获得关于植物开花过程受生物钟、光周期等因素影响的相关知识。

### 2.1.1 植物的生物钟

植物很多生理活动具有周期性或节律性，即存在着昼夜或季节性的周期变化，这种周期性变化很大程度决定于环境条件的变化。生物因对昼夜的适应而产生生理上有周期性波动的内在节奏，称为生物钟（physiological clock）。研究表明，植物生物钟系统由 3 部分组成：输入途径（input pathways）、中央振荡器（central oscillator）和输出途径（output pathways），如图 2.2 所示。输入途径起源于外界光信号，通过光敏色素和隐花色素等光受体，把光信号从细胞质转移到细胞核，导入到中央振荡器。中央振荡器位于单个细胞内，调节钟控基因（clock-controlled gene）的表达，控制并产生近似 24h 的昼夜节律的振荡。单个振荡器控制多个输出途径，所以近似昼夜节奏表现出许多种生理活动。如书中所述，蒲公英的花序在晚上闭合，白天开放；相反，烟草、紫茉莉的花晚上开放，白天闭合。这种由于光暗变化引起的运动，属于植物感性运动（nastic movement）中的感夜性运动（nyctinasty movement），是因为光周期的作用，也是由生物钟控制的。

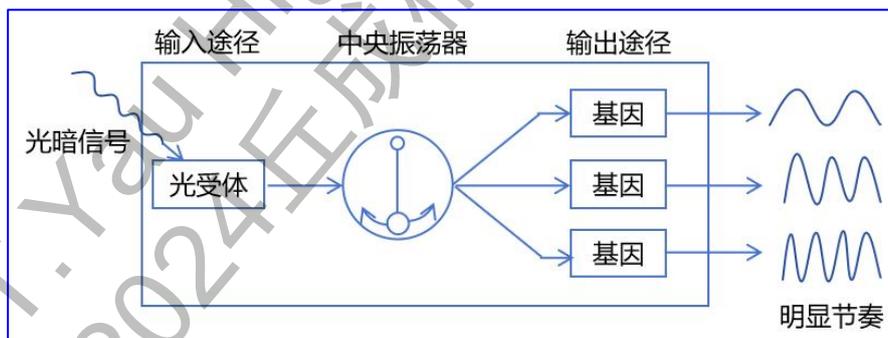


图 2.2 植物生物钟系统

可以推断，长寿花随时间发生的花朵周期性绽放和收缩现象，也是由其生物钟控制的，应该与光周期有关。

### 2.1.2 光周期现象

光周期，即一天中白天、黑夜以特定相对长度循环变化。光周期直接影响花诱导。光周期现象（photoperiodism）是植物对不同光周期的反应。光周期反应

类型主要有 3 种：短日植物（short-day plant）、长日植物（long-day plant）和日中性植物（day-neutral plant）。对于短日植物，临界日长（critical daylength）是指昼夜周期中诱导其开花所必须的最长日照时间，即日长只有小于临界日长植物才能开花。长寿花属于短日植物，其临界日长为 12.5h。

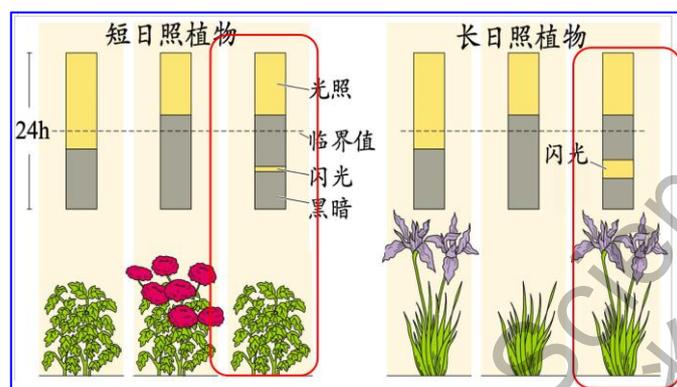


图 2.3 植物的光周期现象

研究人员围绕长寿花光周期现象开展了大量研究。如 1954 年，I.S.等开展了长期黑暗和高温对长寿花  $\text{CO}_2$  代谢及光周期现象的影响<sup>[7]</sup>；2008 年，S.M.P.C.等研究了不同光照和温度条件下长寿花的形态<sup>[8]</sup>；2015 年，W.A.等研究了不同的强度、周期和质量的光照对长寿花开花的影响<sup>[9]</sup>；2023 年，王羽等研究了 LED 光周期对重瓣长寿花生长发育及生理特性的影响<sup>[10]</sup>；2024 年，W.W.开展了光照对离体长寿花叶片花青素含量和成分影响的研究<sup>[11]</sup>。

另一方面，研究人员也开展了光对植物生物钟调控的相关研究。如 2001 年，R.F.等开展了 *CONSTANS* (CO) 基因促进生物钟对拟南芥开花控制的研究<sup>[12]</sup>；2005 年，房迈莼等介绍了光对植物生物钟的调节<sup>[13]</sup>；2018 年，柯美玉等研究了光对睡莲开花生物钟的调控作用<sup>[14]</sup>；2022 年，张家硕等介绍了生物钟调控植物生长发育情况<sup>[15]</sup>；2022 年，刘蓉研究了糖果鸢尾花开放和闭合时间的遗传规律和生物钟调控<sup>[16]</sup>。

可见，光照很可能是长寿花开花形态昼夜周期性变化的重要影响因素。而前期针对长寿花的相关研究主要集中在不同光照特性（如时长、强度、波长等）对长寿花完整花期的影响，其中株高、冠幅、分枝数、花蕾数等生长指标均通过人工方式测量获得，缺少对长寿花开花过程中特定花朵开放形态的定性或定量观察方法；在光对植物生物钟调控的相关研究中，也普遍采用人工观察、拍照、测量前期标记目标花朵的方法获取数据，后期再采用生物学手段开展研究并筛选关键基因。因此，搭建自动采集系统，建立光照等环境因素与长寿花开花形态、生长状况间的量化关系，将有助于相关研究的深入开展。

### 2.1.3 植物识别——花伴侣

中国科学院植物研究所李敏教授团队，采用深度学习算法，建立了 339 科、3626 属、20105 种植物的鉴定模型<sup>[17]</sup>。每种植物最多使用 200 张照片建立数据集，其中训练集 90%、测试集 10%，最终训练集包括 2514842 张植物图像，测试集包括 280411 张植物图像。高置信度的测试结果记为 TOP1、可能的建议结果记为 TOP5。李敏教授团队的模型最终在植物“种”的层面 TOP1 和 TOP5 平均准确率分别达到 79.3%和 91.0%，在“属”的层面分别提高到 87.6%和 94.4%，在“科”的层面分别提高到 91.2%和 96.2%。这个模型突破了原来基于形态学的植物鉴定必须由专家才能完成的限制，通过手机 APP——花伴侣，把每一位有意愿的参与者都变成了合格的观察者，把每一部智能手机都变成了移动的观察终端，把每张照片都变成了有价值的植物观察记录。自 2008 年到 2023 年，已经识别了 APP 用户超过 2.36 亿张植物照片，发挥了巨大的作用。



图 2.4 “花伴侣”植物识别系统

文章指出——“对于植物相关学科，智能识别显著丰富了植物多样性数据库。将智能识别与边缘检测算法和形态相结合，可以彻底改变植物形态计量学。这种集成为基于图像的植物及其器官的自动形态计量测量和统计分析提供了潜力，增强了我们对植物物种的理解。我们甚至可以为每一个重要的植物物种建立一个独特的档案，促进全球、长期、动态的植物多样性监测和保护网络，并配备智能识别机制。在这种情况下，研究人员、教育工作者和其他利益相关者在研究、教育工作或活动中只需要参考植物档案、地点坐标、照片或其他相关数据，而不必干扰植物的正常生长。”

李敏教授团队的工作及未来设想，给本文研究指明了方向。以具有显著光周期特性的长寿花为研究对象，搭建长周期的长寿花生长环境参数及昼夜开放形态观察系统，结合深度学习算法，建立“时刻—长寿花形态—环境参数”之间的定量化关系，最终验证并确定长寿花开放昼夜形态变化的主要影响因素，并为未来

植物长周期检测和保护提供可能的方案。

## 2.2 花卉生长关键环境参数及采集方法

由图 2.5 可知，花卉生长的影响因素包括：重力、光照、温度、湿度、CO<sub>2</sub>、土壤、矿物质以及微生物、草食动物、寄生虫等。考虑到本文主要研究室内自然光照条件下长周期 (>3 天) 长寿花开放形态的昼夜周期性变化，因此选择光照、温度、湿度、CO<sub>2</sub> 作为关键环境参数，以下逐一说明。

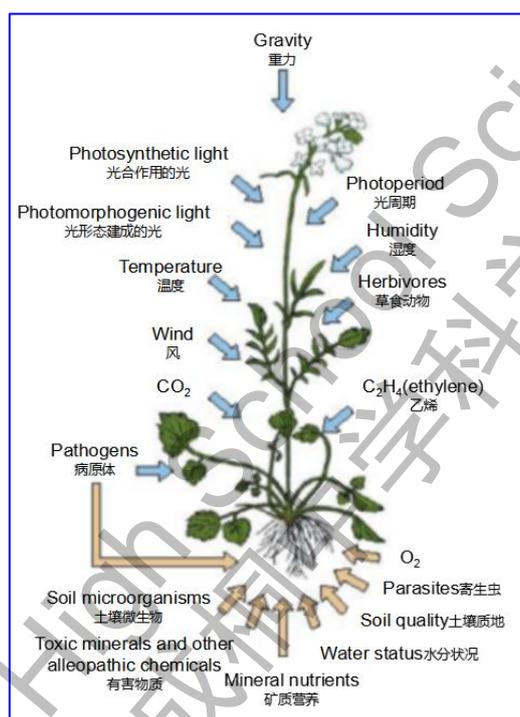


图 2.5 花卉生长影响因素<sup>[6]</sup>

### 2.2.1 光照

利用光敏电阻、光敏二极管或光敏晶体管等感光元件对环境光照强度的响应将光信号转换为电信号，进而获得光照强度。

在植物生理学中，光照强度 (Photosynthetic Photon Flux Density, PPF<sub>D</sub>), 是指在单位时间和面积上可见光照射到植物的光量子总数，单位为  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。而在日常光照环境评估中，光照强度是指在单位面积上接收到的光通量，单位是 Lux。PPFD 和 Lux 分别测量不同类型的光照参数，之间并没有直接的换算关系。对于日光，1PPFD 近似为 55~58Lux。

### 2.2.2 温度

常见的温度测量原理有热胀冷缩原理、热电效应、电阻温度计、热敏电阻、

热电偶、红外线测温等，都是基于物质的热学性质进行温度测量。温度的单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.2.3 湿度

常见的湿度检测原理有物理变化测量、湿度差异测量以及电学性质变化测量。通常湿度传感器原理是采用湿敏元件测量感湿材料覆膜吸附空气中的水蒸气后电阻的变化。湿度的单位是相对湿度 RH，用%rh 表示。

### 2.2.4 $\text{CO}_2$ 浓度

常见的  $\text{CO}_2$  测量方法有光学法、化学法、电化学法和质谱法等。光学法是基于  $\text{CO}_2$  分子对特定波长的光的吸收特性进行测量的方法。 $\text{CO}_2$  气体的体积浓度的单位是 ppm (parts per million)，表示百万分之体积。

本文将对以上关键环境参数进行采集分析。未来还可扩充风速风向、土壤温湿度、土壤元素等参数，另外也可以利用本文采集的图像进一步识别分析草食动物情况，从而使环境检测系统更加完善。

## 2.3 实例分割及多目标跟踪算法

### 2.3.1 实例分割

如图 2.6 所示，实例分割 (Instance Segmentation) 兼具语义分割和目标检测的优势，既能够识别图像中的目标物体，又能精确地分割出每个物体的轮廓和边界，从而区分彼此相邻的同类物体实例，实例分割在计算机视觉任务中难度较大，但应用广泛。

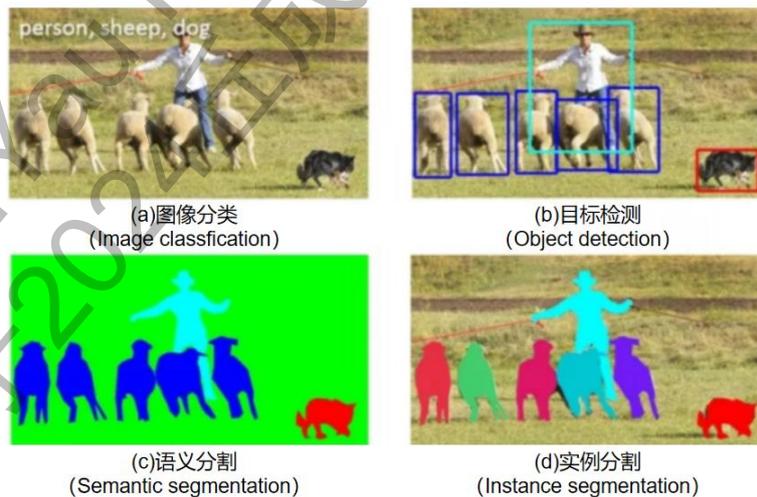


图 2.6 图像分类、目标检测、语义分割、实例分割

实例分割技术的发展可以追溯到 2014 年 R-CNN 的提出，尔后逐渐演化出 Fast R-CNN、Faster R-CNN 等两阶段检测器。2017 年，何凯明团队在边界框检测的同

时增加了掩码预测分支（即 Mask R-CNN），开创了实例分割的新时代。此后，众多改进的一阶段和两阶段实例分割算法不断涌现，如 YOLACT、PolarMask、BlendMask 等，大幅提升了实例分割的效果及性能。YOLOv5 和 YOLOv8 中的实例分割，也是基于 YOLACT 完成的<sup>[18]</sup>。

采用实例分割技术，将待观测的目标长寿花从图像中识别、分割出来，为后续更多的植物形态观测和计量、生长态势评估、病虫害观察等奠定了基础。

### 2.3.2 多目标跟踪算法

因为植物具有向光性（phototropism）、感夜性（nyctinasty）等运动，所以即使连续拍摄，植物在照片中也会有较大幅度的运动（图 2.7 分别为 8 点、12 点、16 点图像）。为持续观察多个特定目标的长寿花，必须采用多目标跟踪算法（Multiple Object Tracking, MOT）。



图 2.7 长寿花 8 点、12 点、16 点图像

多目标跟踪算法针对按时间顺序排列的图像，检测每一幅图像中的目标并分配一个“对象 ID”，在下一幅图像中如果检测到相同的对象，则分配相同的对象 ID。一个好的 MOT 算法应该能够克服遮挡、照明变化、背景、运动模糊等情况，长期一致地快速检测和跟踪目标<sup>[19]</sup>。如 YOLOv8 中提供了 BotSort 和 ByteTrack 两种多目标跟踪算法，可以用于本文研究。

## 2.4 凹多边形面积计算方法

为更好地表示长寿花昼夜开放形态，拟在采集图像实例分割的基础上，计算图片中目标长寿花的总像素面积。因为图像为定点拍摄且分辨率相同，所以求得的总像素面积可以表征长寿花随昼夜开合的相对变化趋势。需要指出的是，即使长寿花存在运动或遮挡情况，因其在整幅图像中所占面积较大，上述方法仍然能够较好地获得相对变化趋势。

如图 2.8 所示，分割后的长寿花可以简化看作一个凹多边形。可以采用“鞋带定理（shoelace theorem）”，又称高斯面积公式，计算其面积<sup>[20]</sup>。定理如下。



图 2.8 长寿花实例分割后形成的凹多边形

对于任意一个多边形, 如果已知其各个顶点的坐标为  $A_1(x_1, y_1), A_2(x_2, y_2), \dots, A_n(x_n, y_n)$ , 那么这个多边形的面积为式 3.1。

$$S = \frac{1}{2} |\sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)| \quad (3.1)$$

其中,  $x_{n+1}=x_1, y_{n+1}=y_1$ 。

## 第三章 系统方案

在调研分析基础上，我们已经明确需定时采集照度、温度、湿度、CO<sub>2</sub>浓度等环境信息以及获取长寿花图像。考虑到前期我学习过 python 编程和 Microbit 控制器，在老师指导下，最终确定了长寿花昼夜周期性形态变化分析系统方案。Python 语言功能强、资源广，有包括通信、图像、深度学习等大量的开放资源可以使用；Microbit 控制器，由英国广播电视公司（BBC）发布，它提供了简易而多样化的交互功能，大大降低了系统搭建的难度，非常适合青少年编程，这也是本文选择它们的原因。

### 3.1 系统架构

长寿花昼夜周期性形态变化分析系统架构如图 3.1 所示。本文使用笔记本作为系统主控制器，定时完成以下任务：采用 TTL 串口通信方式（Transistor-Transistor Logic）分别从传感器获取照度、温度、湿度和 CO<sub>2</sub>浓度等环境信息；采用 TTL 方式向 Microbit 控制器发送灯控信号并由 Microbit 控制 MOS 管驱动 LED 补光灯提供短时照明；采用无线网络通过 UDP 通信方式访问旧手机运行的视频服务器以获取长寿花图像。笔记本对获得的数据进行处理并得出最终结论。



图 3.1 长寿花昼夜周期性形态变化分析系统架构

### 3.2 工作流程

长寿花昼夜周期性形态变化分析系统工作流程如图 3.2 所示。系统利用传感器定时采集照度、温度、湿度、CO<sub>2</sub>等环境参数（后期还拓展了气压、海拔）并

进行滤波处理；通过访问手机端的视频服务器定时采集长寿花图像并建立长寿花特征数据集，利用深度学习算法进行多目标跟踪、实例分割运算，获得目标长寿花的面积；将长寿花面积与对应时间的环境参数匹配，分析得出长寿花形态昼夜周期性变化的主要影响因素。



图 3.2 长寿花昼夜周期性形态变化分析系统工作流程

### 3.3 辅助光源

为实现长寿花生长形态的昼夜观察及图像获取，需考虑为图像采集系统（旧手机）加装辅助光源。根据图 2.3，当植物生长在暗周期部分，如果施加一定时长的闪光，将打破其光周期特性。因此，辅助光源照明时间应尽量短，以能满足拍摄高质量图像的最短周期为宜。本文采用访问手机端视频服务器的方式进行图像采集，单次采集过程约 10s，因此需控制辅助光源照明时间略长于 10s。

为配合多路图像采集，本文共采用如图 3.3 所示的 4 个 LED 环形补光灯及 4 路 mos 管作为驱动模块为 LED 补光灯供电。由于 Microbit 端口输出驱动能力不足，经测试无法直接作为 PWM 信号输入控制 4 路 mos 管，因此增加了一个单路 mos 管作为过渡，最终搭建如图 3.4 所示的 LED 补光灯控制系统。

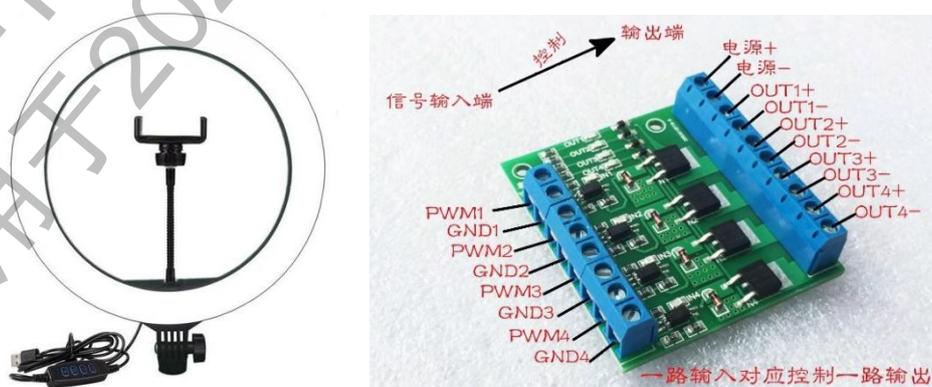


图 3.3 辅助光源

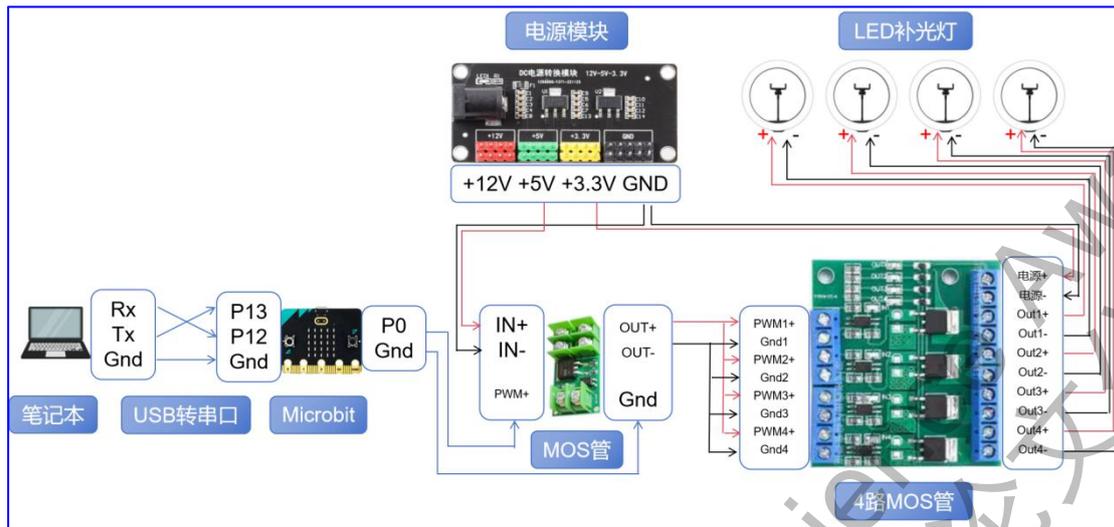


图 3.4 辅助光源定时开关控制系统图

当笔记本准备定时获取图像时，经 USB（Universal Serial Bus）转串口模块，按 TTL 通信方式向 Microbit 发送“开灯”信号。Microbit 接收到“开灯”信号，通过 P0 端口输出高电平信号点亮 LED 灯。当笔记本获取图像结束，向 Microbit 发送“关灯”信号。Microbit 接收到“关灯”信号，通过 P0 端口输出低电平信号熄灭 LED 灯。

Microbit 控制器采用微软的 Makecode 图形编程环境，程序如图 3.5 所示。笔记本采用 PyCharm 编写主控程序如图 3.6 所示。主控程序采用 python 语言中的 Timer 计时器方式，实现每 180s 打开 LED 灯，依次采集 4 幅图像后关闭 LED 灯。



图 3.5 Microbit 控制 LED 开关程序

```
> def lightOnOff(port, baud, ctimeout, onoff, lightnum):...
4 usages
> def takePicture(videonum):...
2 usages
def run():
    global g_LightOn
    global g_Timer

    g_LightOn = lightOnOff(port=lightflowerCom, baud=combaud, ctimeout=comtimeout, onoff=True, lightnum=1)
    time.sleep(1)

    takePicture(1)
    time.sleep(1)

    takePicture(2)
    time.sleep(1)

    takePicture(3)
    time.sleep(1)

    takePicture(4)
    time.sleep(1)

    g_LightOn = lightOnOff(port=lightflowerCom, baud=combaud, ctimeout=comtimeout, onoff=False, lightnum=1)
    time.sleep(1)

    g_Timer = threading.Timer(180, run)
    g_Timer.start()

if __name__ == '__main__':
    g_Timer = threading.Timer(10, run)
    g_Timer.start()
    time.sleep(259200)
    print('__main__ 结束程序')
```

图 3.6 笔记本定时控制 LED 开关程序

为扩展笔记本的通讯能力，我们采用如图 3.7 所示的 USB/TTL 转换器。该转换器可以对外提供 5V 电源。TTL 电平用于串口通信时，不需要价格昂贵的线路驱动器以及接收器电路，在传输速率为 9600bps 时，可以实现 2 米以上的数据传输，满足本文实验要求。



图 3.7 USB/TTL 转换器

## 第四章 环境参数采集系统

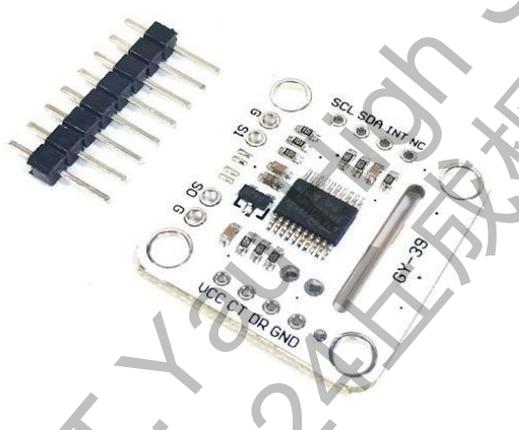
本章重点介绍环境参数采集系统，包括传感器的选取，传感器与笔记本之间的通讯方式以及采集的环境数据如何处理。最终，我们实现了长周期（>3天）长寿花生长环境参数的定时采集、处理和存储。

### 4.1 传感器

基于第二章的分析，我们将重点采集照度、温度、湿度以及 CO<sub>2</sub> 等环境参数。

#### 4.1.1 照度、温度、湿度——GY-39 传感器

GY-39 是一款环境传感器模块，它集成了 BME280 传感器与 MAX44009 光传感器，前者可以检测环境的温度、湿度、气压，后者可以检测环境的光照强度，具有集成度高、易用性强、成本低廉等优点。GY-39 传感器外形及参数如图 4.1 所示<sup>[21]</sup>。可以看到，GY-39 的参数测量范围可以满足本文要求，同时还可以获得气压和海拔数据。

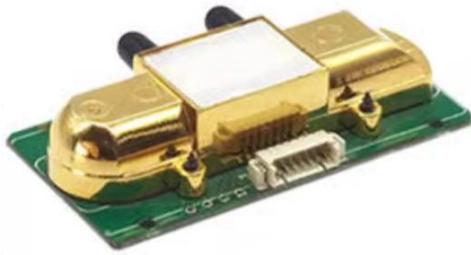


参数	指标
温度测量范围	-40℃ ~ 85℃
湿度测量范围	0% ~ 100%rh
照度测量范围	0.045lux ~ 188000lux
气压测量范围	300 ~ 1100hpa
响应频率	10Hz
工作电压	3 ~ 5V
工作电流	5mA
工作温度	-40℃ ~ 85℃
存储温度	-40℃ ~ 125℃
尺寸	24.3mm * 26.7mm
传感器芯片	ME280 + MAX44009

图 4.1 GY-39 传感器

#### 4.1.2 CO<sub>2</sub> 浓度——JX-CO<sub>2</sub>-102 传感器

JX-CO<sub>2</sub>-102 传感器采用非色散红外线技术（NDIR）测量 CO<sub>2</sub> 浓度。其原理是采用红外光源发射红外光经过待测 CO<sub>2</sub> 气体，CO<sub>2</sub> 吸收特定波长的光，从而导致与气体浓度成正比的光谱强度发生变化，因此求出光谱强度的变化量就可以计算出 CO<sub>2</sub> 气体的浓度。考虑到大气中 CO<sub>2</sub> 浓度约为 400ppm，因此我们选择量程为 0~5000ppm 的传感器，其外形及参数如图 4.2 所示<sup>[22]</sup>。



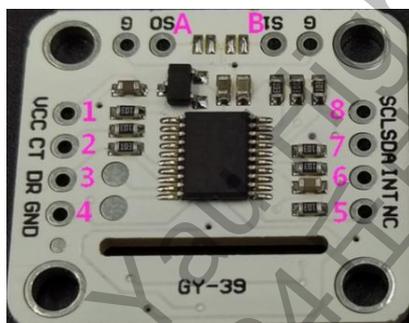
参数	指标
CO <sub>2</sub> 测量范围	0 ~ 5000ppm
测量分辨率	1ppm
响应时间	<30s (25℃)
预热时间	<1min (25℃)
达到精度	<5min (25℃)
工作电压	5V DC
平均耗电	<60mA
工作温度	-10 ~ 60℃
工作湿度	0 ~ 95%rh

图 4.2 JX-CO<sub>2</sub>-102 传感器

## 4.2 通讯方式

### 4.2.1 GY-39 传感器

GY-39 有串口 UART 和 IIC 两种通讯方式，串口有 9600/115200bps 两种传输速率，数据可通过自动上传或问询发送两种方式获取。串口通信相关引脚功能如图 4.3 所示。



引脚	缩写	功能
Pin1	VCC	电源+ (3v ~ 5v)
Pin2	CT	串口 UART_TX
Pin3	DR	串口 UART_RX
Pin4	GND	电源地
PinA	S0	串口 UART/IIC 模式选择，默认为 UART

图 4.3 GY-39 引脚



图 4.4 GY-39 与笔记本连接

GY-39 与笔记本接线方式如图 4.4 所示，采用双绞线连接。GY-39 电源由 USB

转 TTL 模块直接提供。本文采用连续输出方式，即由 GY-39 自动向笔记本发送数据，取传输速率为 9600bps，校验位 N，数据位 8，停止位 1。根据使用手册，GY-39 发送数据包括①照度和②温度、气压、湿度、海拔两个部分，分别由 9 个和 15 个字节构成，共 24 个字节，格式如表 4.1 所示（十六进制）。

表 4.1 (a) GY-39 照度数据格式

Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
0x5A	0x5A	0x15	0x04	4 * 0x00~0xFF 照度				0x00~0xFF
帧头	帧头	照度	4 个字节数据	数据前高 8 位	数据前低 8 位	数据后高 8 位	数据后低 8 位	校验和

表 4.1 (b) GY-39 温度、气压、湿度、海拔数据格式

Byte9	Byte10	Byte11	Byte12	Byte13	Byte14	Byte15	Byte16	Byte17
0x5A	0x5A	0x45	0x0A	2*0x00~0xFF 温度		4 * 0x00~0xFF 气压		
帧头	帧头	温度等	10 个字节数据	数据高 8 位	数据低 8 位	数据前高 8 位	数据前低 8 位	数据后高 8 位

表 4.1 (b 续) GY-39 温度、气压、湿度、海拔数据格式

Byte18	Byte19	Byte20	Byte21	Byte22	Byte23
	2*0x00~0xFF 湿度		2*0x00~0xFF 海拔		0x00~0xFF
数据后低 8 位	数据高 8 位	数据低 8 位	数据高 8 位	数据低 8 位	校验和

根据使用手册，笔记本按以上数据格式获得的照度、温度、气压、湿度数据需再除以 100 后可得到最终结果。环境数据获取程序如图 4.5。

```

elif self.port == comIPHH: #GY39 温度、湿度、照度、气压、海拔
    print(comIPHH+' ', self.receive_data, len(self.receive_data))

    if len(self.receive_data) == 24:
        out_l = ''

        for i in range(0, len(self.receive_data)):
            out_l = out_l + '{:02X}'.format(self.receive_data[i]) + ' '

        if out_l[6:8] == '15':
            merged_ill = out_l[12:14] + out_l[15:17] + out_l[18:20] + out_l[21:23]
            ill_10 = int(merged_ill, 16)
            g_ill = ill_10/100.0
            print('照度: {}'.format(g_ill))
        if out_l[33:35] == '45':
            merged_tem = out_l[39:41] + out_l[42:44]
            tem_10 = int(merged_tem, 16)
            g_tem = tem_10/100.0

            merged_pre = out_l[45:47] + out_l[48:50] + out_l[51:53] + out_l[54:56]
            pre_10 = int(merged_pre, 16)
            g_pre = pre_10/100.0

            merged_hum = out_l[57:59] + out_l[60:62]
            hum_10 = int(merged_hum, 16)
            g_hum = hum_10/100.0

            merged_alt = out_l[63:65] + out_l[66:68]
            alt_10 = int(merged_alt, 16)
            g_alt = alt_10

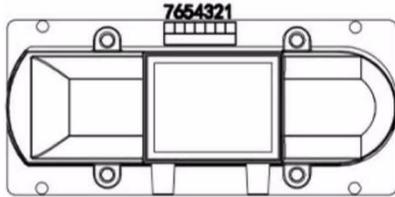
        if gotIPHH == False:
            gotIPHH = True

        print('温度: {}, 气压: {}, 湿度: {}, 海拔: {}'.format(g_tem, g_pre, g_hum, g_alt))
    
```

图 4.5 环境数据获取 python 程序

### 4.2.2 JX-CO<sub>2</sub>-102 传感器

JX-CO<sub>2</sub>-102 有串口 UART 通信和模拟量输出两种方式，串口有 2400/4800/9600bps 三档传输速率，数据可通过自动上传或问询发送两种方式获取。图 4.6 为串口通信相关引脚。



引脚	缩写	功能
Pin3	GND	电源地
Pin4	VCC	电源+ (5V)
Pin5	RX	串口 UART_RX
Pin6	TX	串口 UART_TX

图 4.6 JX-CO<sub>2</sub>-102 引脚

JX-CO<sub>2</sub>-102 与笔记本接线方式与 GY-39 相同，其电源由 USB 转 TTL 模块直接提供。我们也采用连续输出方式。根据使用手册，JX-CO<sub>2</sub>-102 发送数据有 12 个字节，数据格式如表 4.2 所示（十六进制）。

表 4.2 JX-CO<sub>2</sub>-102 数据格式

Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
0x20	0x20	4 * 0x00~0xFF (CO <sub>2</sub> 浓度)				0x20	0x70	0x70
空格	空格	千位	百位	十位	个位	空格	p	p
Byte9	Byte10	Byte11						
0x6D	0x0D	0x0A						
m	\r	\n						

根据使用手册，笔记本按以上数据格式可获得 CO<sub>2</sub> 浓度。环境数据获取程序如图 4.7。

```
if self.port == comCO2: #CO2浓度信息
    print(comCO2+':', self.receive_data, len(self.receive_data))

    if len(self.receive_data) == 12:
        out_1 = ''
        out_1 = self.receive_data.decode('utf-8')

        if out_1[0] == ' ':
            co2_10 = int(out_1[2:6])
            g_co2 = co2_10
            print('CO2浓度: {}'.format(g_co2))

        if gotCO2 == False:
            gotCO2 = True
```

图 4.7 CO<sub>2</sub> 浓度获取 python 程序

### 4.3 数据滤波

在环境参数采集过程中，电路、电源等各种干扰信号可能影响采集信号的准

确性，因此我们需要通过滤波提高采集数据的精度。考虑到照度、温度、湿度、CO<sub>2</sub>等环境数据应为缓变数据，我们选用消除随机误差最常用的算术平均值滤波算法。算术平均滤波是取多个连续采样值求算术平均值作为采样结果。所取的连续采样次数决定了信号的平滑、灵敏程度。连续采样次数增大，数据的平滑程度提高，但系统的灵敏程度降低。图 4.8 为采用算术平均滤波算法 (N=20) 对照度数据进行滤波的结果。可以看出，原始数据存在大量的噪声，通过滤波我们获得了较好的结果。其他环境数据也可采用该方法进行滤波。

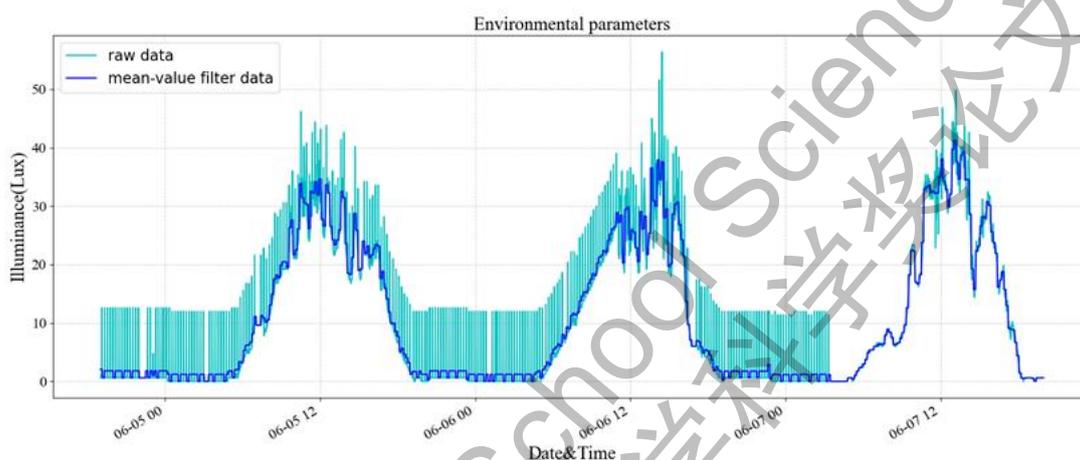


图 4.8 算术平均滤波算法效果

图 4.9 为算术平均滤波算法程序。

```

1 usage
def filterData(self): # 算术平均滤波
    global envData

    s = []
    mean = []
    n = 20 # 一次采样的次数
    m = 1 # 滤波次数

    ra = len(envData[0])
    for l in range(2,ra):
        s = [i[l] for i in envData]

        for k in range(m):
            for i in range(int(len(s) / n)):
                select_s = s[i * n:(i + 1) * n] # 切片选取一次采样的个数
                mean_s = np.mean(select_s)
                for j in range(n): # 将取到的值都赋值为平均值，方便画图体现，实际中可以只要一次值
                    mean.append(mean_s)
            s = mean.copy()
            mean.clear()

        for i in range(len(s)):
            envData[i][l] = s[i]
    
```

图 4.9 算术平均滤波算法程序

#### 4.4 运行情况

本节介绍环境采集系统运行情况，包括实际安装和数据采集情况。

#### 4.4.1 系统安装情况

如图 4.10 所示，将环境参数传感器安装于待观察长寿花附近，并通过双绞线连接于笔记本端的 USB 转串口模块。GY-39 传感器应面向阳光方向，从而可以更好获取长寿花所受阳光照射的情况，JX-CO<sub>2</sub>-102 传感器应尽可能靠近长寿花。



图 4.10 采集系统安装情况

#### 4.4.2 数据采集情况

2024 年 3 月至今，以 30s 为采样周期，累计收集有效长寿花生长环境数据近 6 万条。选取 6 月 4 日至 6 月 7 日（3 天）、5 月 6 日至 5 月 20 日（14 天）部分数据如图 4.11、4.12 所示。

可以看出，采集的照度、温度、湿度等数据能较好地反映出长寿花生长昼夜环境变化情况；CO<sub>2</sub> 传感器因安放于开放空间，或因传感器本身精度问题，无法直接反映其与长寿花生长环境间的联系。5 月 6 日至 5 月 20 日（14 天），长寿花为阳光直射状态，故日间照度较高；6 月 4 日至 6 月 7 日（3 天）为非阳光直射状态，故日间照度较低。

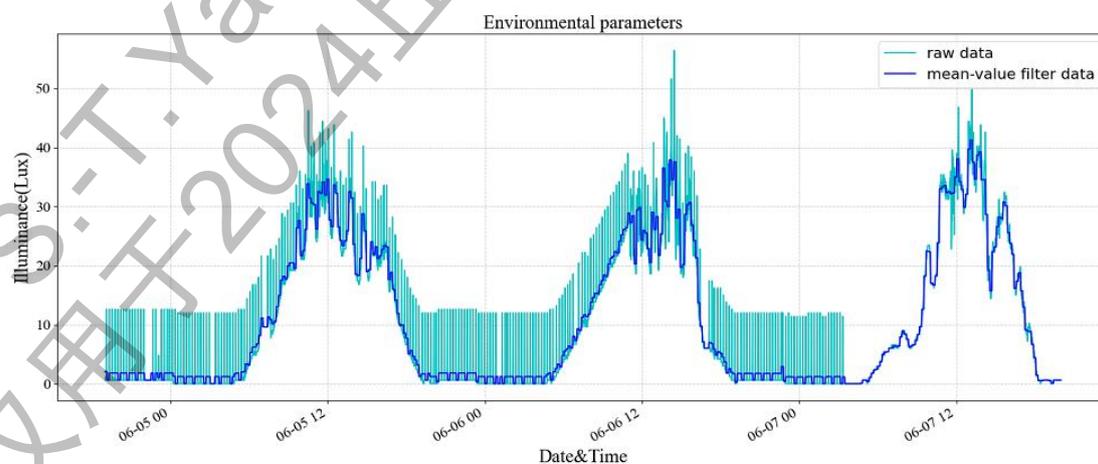


图 4.11(a) 照度 3 天变化情况

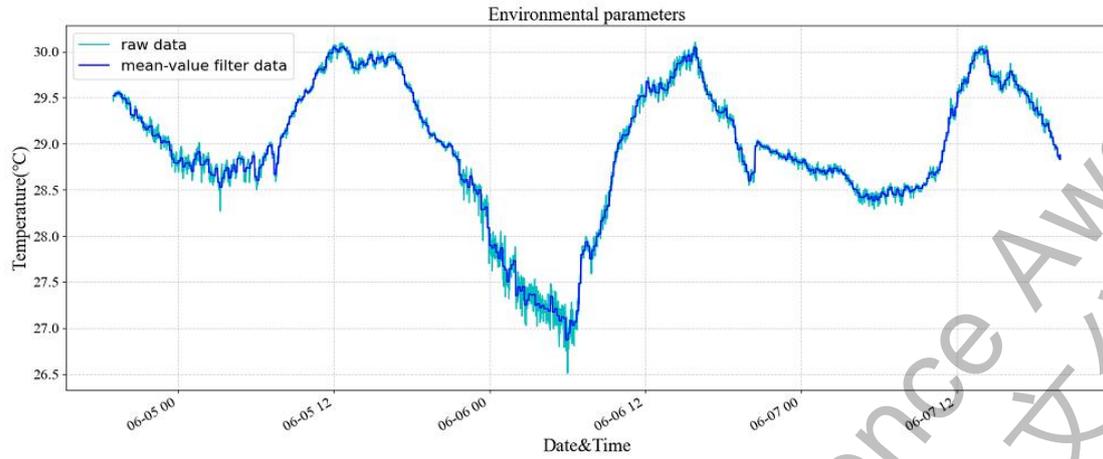


图 4.11(b) 温度 3 天变化情况

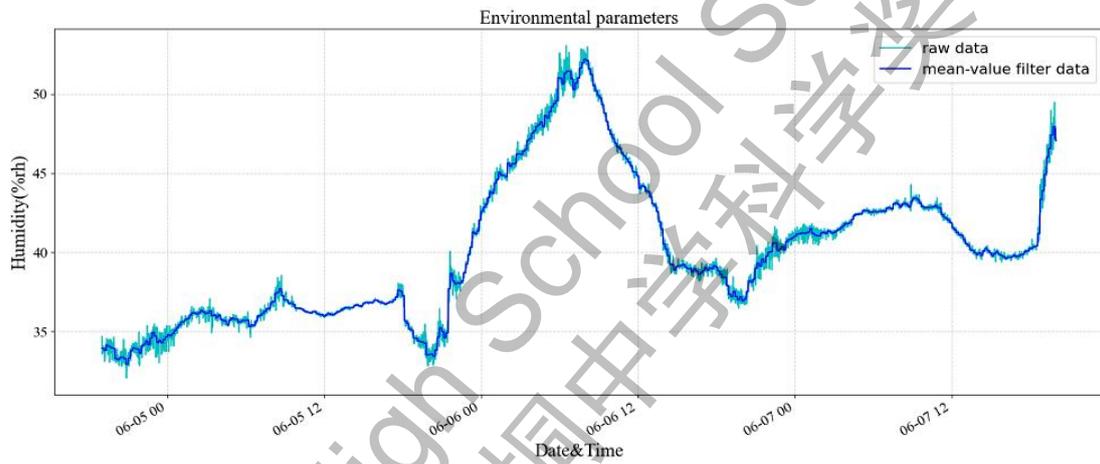


图 4.11(c) 湿度 3 天变化情况

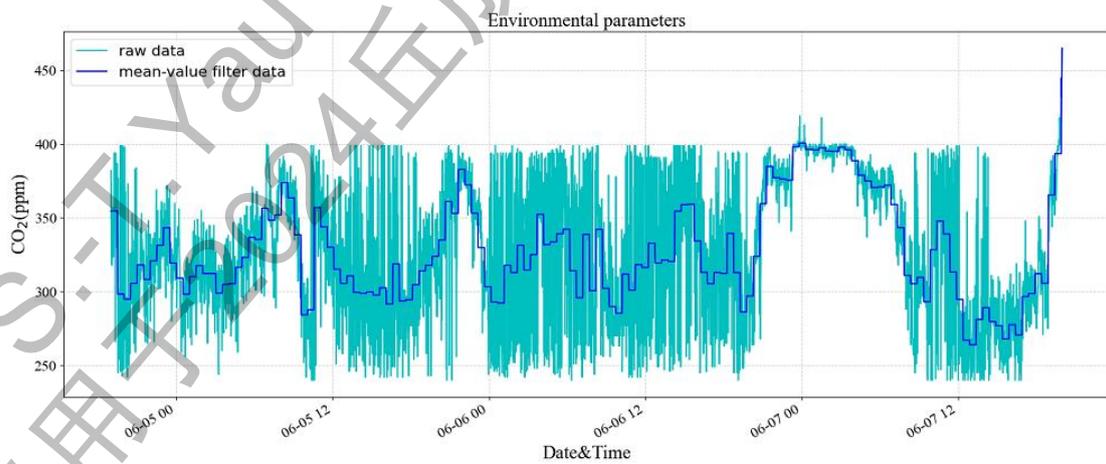


图 4.11(d) CO<sub>2</sub> 3 天变化情况

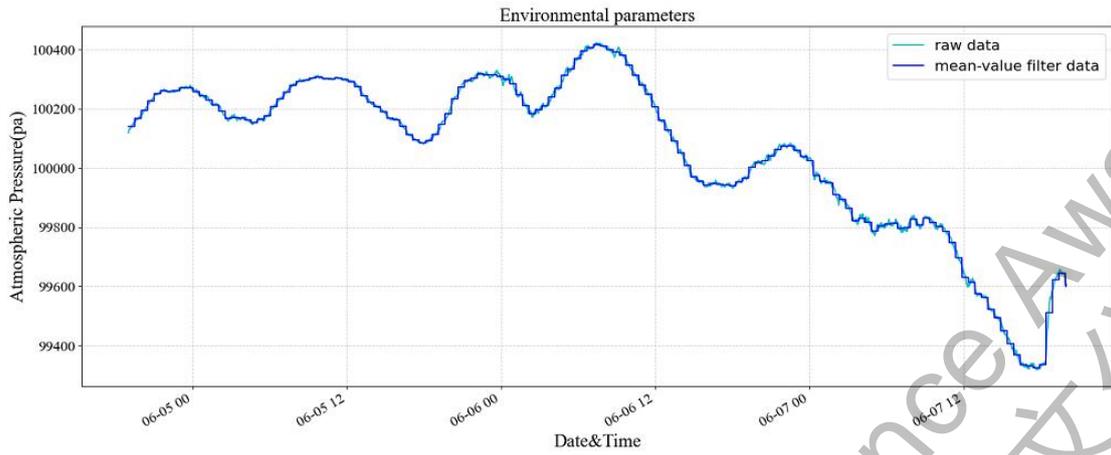


图 4.11(e) 气压 3 天变化情况

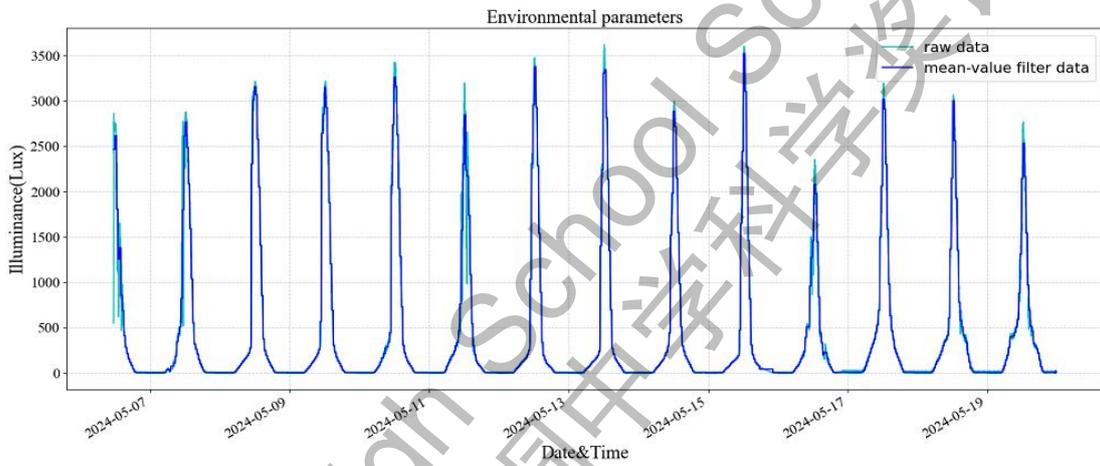


图 4.12(a) 照度 14 天变化情况

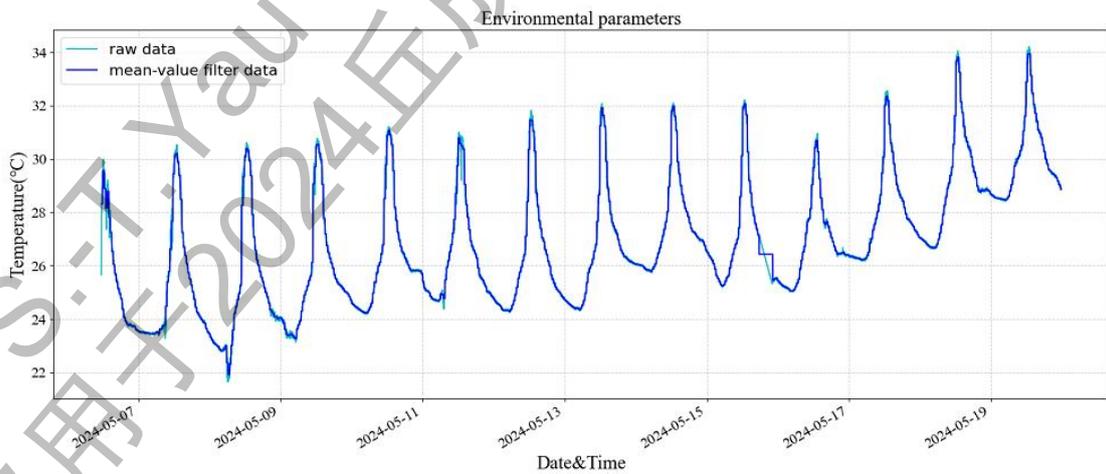


图 4.12(b) 温度 14 天变化情况

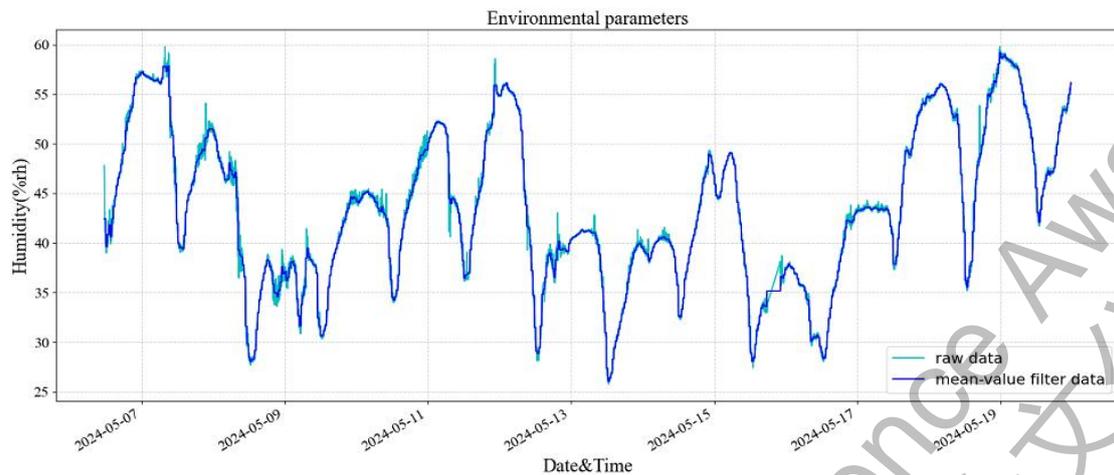


图 4.12(c) 湿度 14 天变化情况

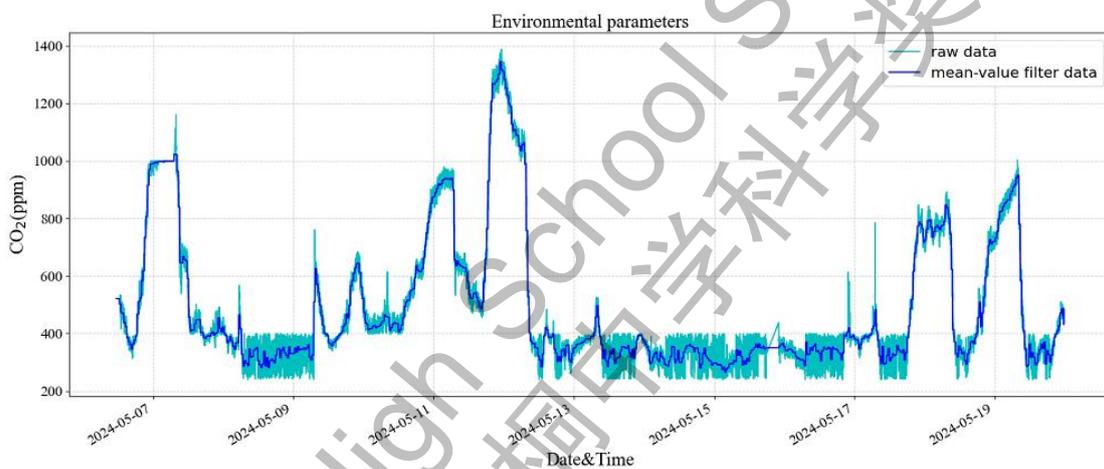


图 4.12(d) CO<sub>2</sub>14 天变化情况

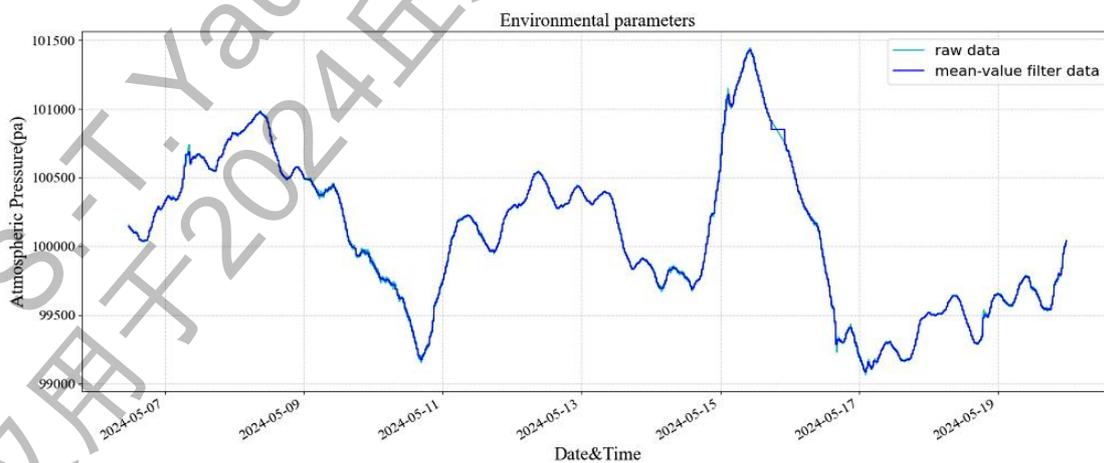


图 4.12(e) 气压 14 天变化情况

## 第五章 网络图像采集系统

在第四章长寿花生长环境参数采集基础上，本章将搭建长寿花图像采集系统，以实现长寿花昼夜图像的定时、清晰采集。需考虑以下原则：①采用 3.3 节介绍的辅助光源实现夜间或光照不足时的图像采集；②采用高分辨率以及光照适应性强的图像采集设备以保证图像清晰度；③拍摄间隔不能太长从而可以完整记录长寿花的生长变化过程；④采用网络传输图像数据以提高传输速度；⑤采用笔记本作为定时采集主控制器并存储大量的图像。

### 5.1 利用旧手机搭建网络图像采集系统

为获取高品质的图像，同时考虑降低投入，本文采用旧手机作为图像采集设备。类似于网络直播，我们在手机端设置一个视频服务器，通过笔记本定时访问视频服务器，就可以获得手机相机拍摄的图像。笔记本通过运行图像采集程序，配合 Timer 定时器，即可实现对长寿花的定时图像采集。手机视频服务器的灵感来源于网络文章《旧手机不要丢，装个 App 能当多功能监控摄像头，能开启 onvif 和 rtsp》<sup>[23]</sup>，笔记本访问视频服务器并存储图像参见网络文章《python 从网络摄像头获取 rtp 视频流并截取图片保存》<sup>[24]</sup>。

#### 5.1.1 系统架构

基于旧手机的网络图像采集系统架构如图 5.1 所示。为充分利用长寿花花期，采用 4 部旧手机同时进行图像采集。笔记本端定时打开辅助光源（见 3.3 节），连接手机端的网络视频服务器，依次采集长寿花图像并存储，最后断开连接并熄灭辅助光源。采集过程约 30s。



图 5.1 图像采集系统架构

### 5.1.2 视频服务器

我们采用沈焘老师编写的 APP——IP Camera 作为手机端的网络视频服务器软件，如图 5.2 所示<sup>[25]</sup>。IP Camera 可以通过内置的 RTSP 和 HTTP 服务器把手机变成无线网络摄像机，能够支持高达 4K 的分辨率和 60FPS 的视频输出。RTSP 协议的优点是可靠且实时性较好，常用于视频直播、语音通话等对实时性要求较高的场景；HTTP 协议优点是数据传输可靠，常用于网页浏览、文件下载等对数据完整性要求较高的场景。考虑到对长寿花图像质量的要求，本文采用 HTTP 协议。如图 5.2，当服务器开启并连接局域网后，按照提示给出的 http 地址即可访问视频。IP Camera 非常适合本文应用，同时它也是免费的，在使用过程中，作者也通过微博获得了沈焘老师的指导，加快了系统的搭建速度。

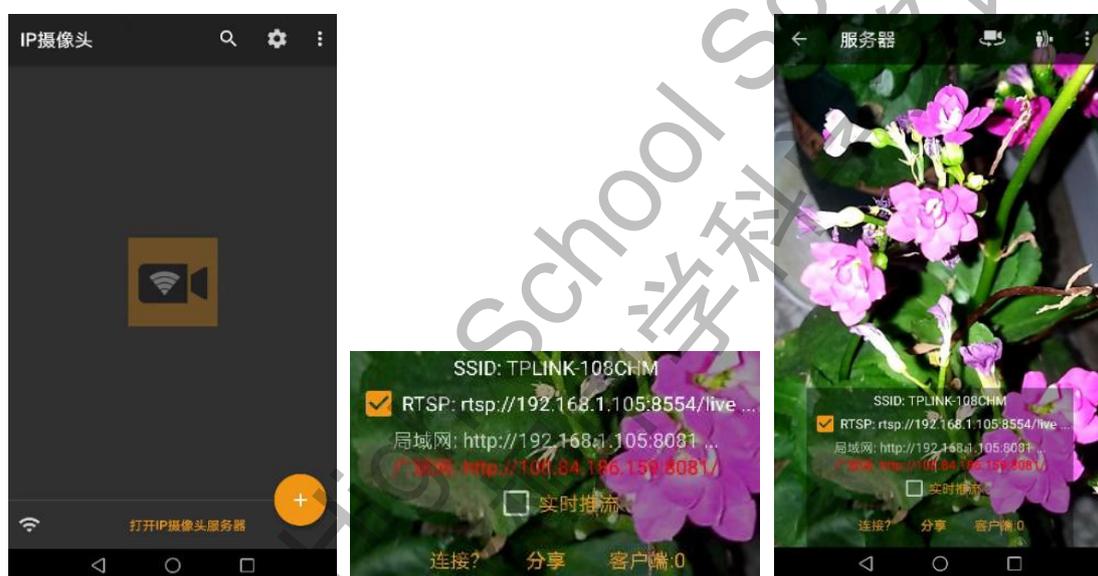


图 5.2 IP Camera 网络视频服务器

### 5.1.3 图像采集

感谢 GitHub，我们找到了图像采集的源代码。我们使用 requests 库和 OpenCV 库，实现了面向网络视频服务器的图像采集。源代码如图 5.3 所示。

Requests 库是一个简洁且功能强大的 HTTP 库，专门设计用于发送各种类型的 HTTP 请求，在 Python 社区中备受欢迎。OpenCV 是一个图像处理 and 计算机视觉软件库，涵盖了很多通用算法，支持跨平台使用。利用 requests 和 OpenCV 库，本文实现了对手机端网络视频服务器的访问及从视频流中定时截取长寿花图像。如图 5.4 所示，为保证图像采集质量，手机、辅助光源、目标长寿花需要选择最优的匹配位置，以使目标长寿花尽量处于图片中心并占有较大面积，同时需考虑目标长寿花不会因向性运动而移出图像。

```

s = requests.Session()
s.mount( prefix: 'http://', HTTPAdapter(max_retries=maxretry))
s.mount( prefix: 'https://', HTTPAdapter(max_retries=maxretry))

try:
    res = s.get(url=flowerlink, stream=True, timeout=40)
    print(res.status_code)

    i = 0

    imageBytes = bytes()
    for data in res.iter_content(chunk_size=300):
        # 输出data 查看每一张图片的开始与结尾: 查找图片的头与尾截取jpg, 并把剩余部分imageBytes做保存
        imageBytes += data
        a = imageBytes.find(b'\xff\xd8')
        b = imageBytes.find(b'\xff\xd9')
        if a != -1 and b != -1:
            jpg = imageBytes[a:b + 2]
            imageBytes = imageBytes[b + 2:]

            bytes_stream = BytesIO(jpg)
            img = Image.open(bytes_stream)
            img = cv2.cvtColor(np.array(img), cv2.COLOR_RGB2BGR)
            #img = cv2.flip(img, -1)

            img1 = cv2.resize(img, dsize=None, fx=1/2, fy=1/2)

            cv2.imshow( winname: 'mjpeg', img1)

    if i == captureGap:
        dt = datetime.datetime.now()
        currenttime = dt.strftime("%Y-%m-%d-%H-%M-%S")
        fileName = flowerdir + currenttime + '.jpg'
        print(fileName)
        cv2.imwrite(fileName, img, params=[cv2.IMWRITE_JPEG_QUALITY, 100])
        break

```

图 5.3 图像采集源程序

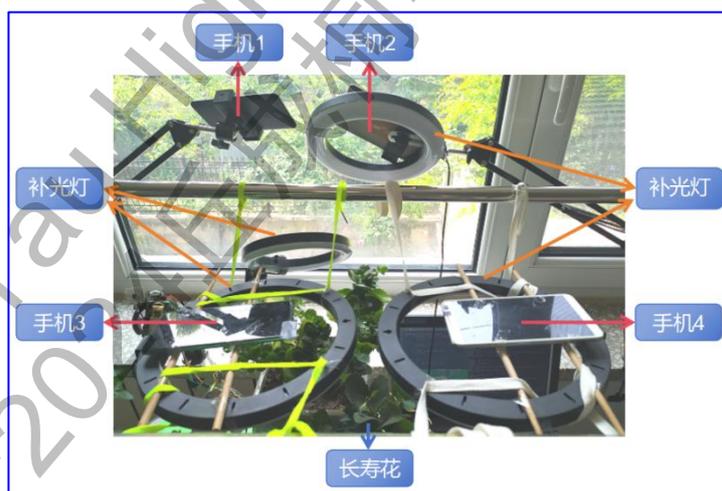


图 5.4 图像采集系统安装位置

## 5.2 图像数据收集情况

2024年3月至今,以5min为采样周期,累计对8盆长寿花共采集图像近7万张,分辨率分别为1920\*1080、1440\*1080、960\*540像素。考虑到手机在阳

光直射情况下的安全问题，前期定期关闭手机使其降温，后期在手机上增加了遮光盖，同时发现 IP Camera 可以设置无网络访问时自动关闭屏幕图像显示，通过以上几种方法，后期可以实现连续 5 天以上的长寿花图像采集，如图 5.5 所示。



图 5.5(a) 2024 年 3 月 29 日 0 点至 3 月 30 日 20 点，时间间隔 4 小时



图 5.5(b) 2024 年 4 月 6 日 0 点至 4 月 7 日 4 点，时间间隔 4 小时



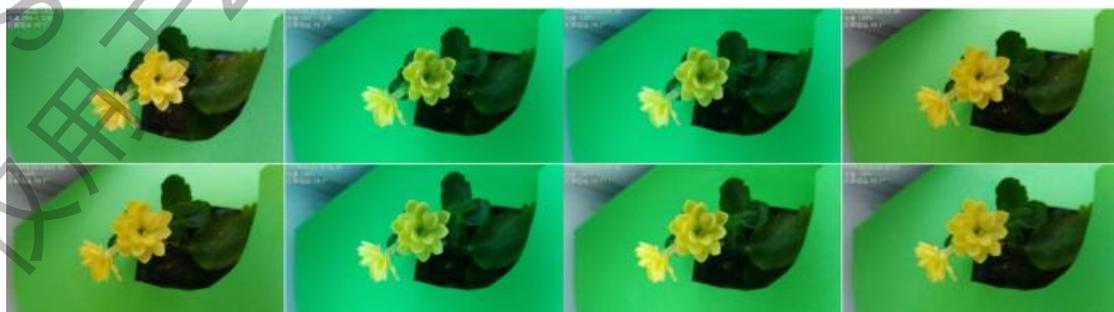
图 5.5(c) 2024 年 4 月 20 日 8 点至 4 月 22 日 16 点，时间间隔 4 小时，部分时段缺失



图 5.5(d) 2024 年 5 月 1 日 0 点至 5 月 3 日 17 点，时间间隔 6 小时



图 5.5(e) 2024 年 5 月 5 日 0 点至 5 月 10 日 0 点，时间间隔 6 小时



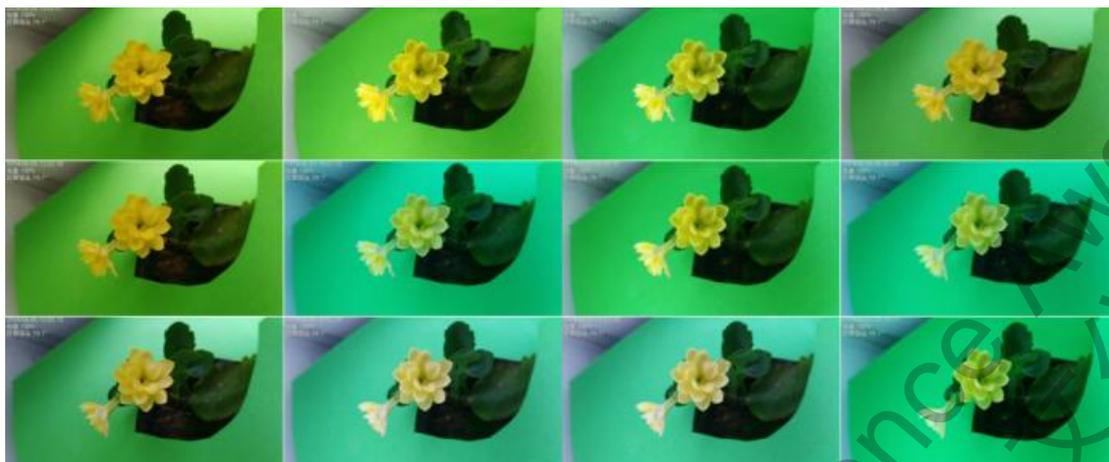


图 5.5(f) 2024 年 6 月 2 日 14 点至 6 月 7 日 3 点，时间间隔 6 小时

### 5.3 时间同步处理

如前文介绍，长寿花环境数据采样周期为 30s，图像采集周期为 5min，两者不同，因此需要考虑环境数据与图像数据之间的时间同步。即以长寿花图像拍摄时间作为目标时刻，可以从环境数据中检索出与该时刻最接近的环境数据，从而获得目标时刻完整的长寿花生长形态（图像）和生长环境参数的对应数据。

本文利用 python 中的 timestamp（时间戳）工具，寻找与目标时刻最接近的相关数据。Python 中的 timestamp 数据类型是指从 1970 年 1 月 1 日午夜（格林尼治标准时间）到所表示时间的秒数，广泛用于日期和时间的计算、转换等处理。Timestamp 支持日期和时间的加减运算，可以方便地计算时间跨度。

我们以采集时间为图像命名，如“2024-03-29-00-00-47.png”代表 2024 年 3 月 29 日 0 时 0 分 47 秒采集的图像，这样通过图像名称即可获得其采集时间，该时间对应的 timestamp 为 1711641647.0s。在环境数据采集过程中，我们同时存储采集时间，如一条环境数据记录为“751,2024-05-09,12:00:24,3097.2,30.33,30.86,100367.97,79,381”，代表第 751 条记录，采集时间为 2024 年 5 月 9 日 12 时 0 分 24 秒，照度为 3097.2Lux，温度为 30.33℃，湿度为 30.86%rh，气压为 100367.97pa，海拔为 79m，CO<sub>2</sub> 为 381ppm，该时间对应的 timestamp 为 1715227224.0s。通过做差，可以求得上述两时间差 3585577.0s，即 41 天另 11 时 59 分 37 秒。可以看到，通过对多个时间与目标时间的时间戳做差后找到最小值，可以轻松获得与目标时间最近的数据记录。程序如图 5.6 所示。

```
def determineData(self):
    global envDataShow

    targetDT = self.date_time.dateTime().toPyDateTime().timestamp()
    count = len(envData)
    #print(targetDT, count)

    tempDT = []
    tm = [0, startDateTime, 0.0]
    for i in range(0, count):
        tm = [i, envData[i][1], QDateTime(envData[i][1]).toPyDateTime().timestamp()]
        tempDT.append(tm)
    #print([row[2] for row in tempDT])

    dtArray = np.array([row[2] for row in tempDT])
    #print(dtArray)
    differences = np.abs(dtArray - targetDT)
    closest_index = np.argmin(differences)
    envDataShow = envData[closest_index]
```

图 5.6 数据时间同步程序

2024 S.-T. Yau High School Science Award  
仅用于2024丘成桐中学科学奖论文公示

## 第六章 YOLOv8 模型建立及训练

YOLO 通常理解为 You Only Live Once，意即生命宝贵，珍惜当下，追求梦想，活出精彩。而在深度学习领域，YOLO 因其只进行一次前向的图像传播就可以获得目标对象的检测信息，因此得名“*You Only Look Once*”<sup>[26]</sup>。YOLO 可以在单个 GPU 或 CPU 上进行训练，具有模型尺寸小、速度快、准确率高、多目标检测和易于训练应用等优点。YOLO 具有庞大的社区，我们在学习和应用的过程中可以获得很多的资源和帮助。本文将采用 YOLO 算法，对长寿花进行检测并将目标长寿花从图像中提取出来（实例分割），从而实现长寿花在长周期生长过程中的形态观测。

### 6.1 YOLOv8 模型

#### 6.1.1 YOLO 发展历程

深度学习的基本原理是通过构建多层神经网络来模拟人类的神经元和神经网络，从而完成对数据的分类、预测和理解。作为深度学习的一种算法，YOLO 自 2015 年出现至 2024 年 6 月已发展至 V10 版本，其发展历史如图 6.1 所示。本文采用 YOLOv8 模型<sup>[27]</sup>。如图 6.2 所示，与前期各版本比较，YOLOv8 模型更小，运算速度更快，结果更加精确，能够同时完成目标检测、实例分割和图像分类等工作，并且可以非常方便地实现运动跟踪、姿态估计等功能。

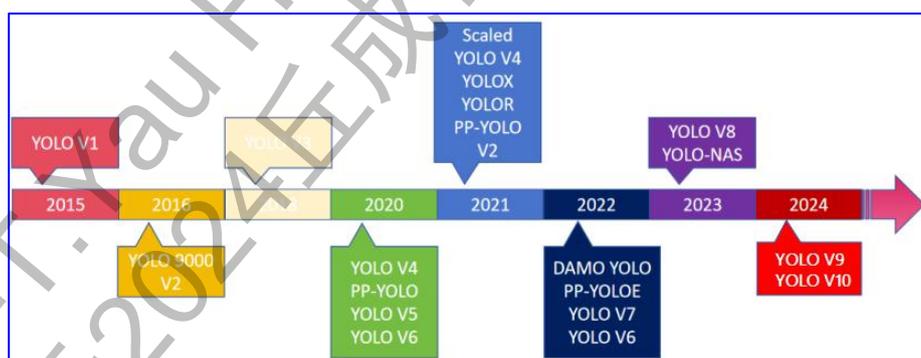


图 6.1 YOLO 发展历史

YOLOv8 提供了 n、s、m、l、x 共 5 种模型。以分割模型为例，YOLO 官方通过在 COCO 数据集上对 80 个类别进行预训练，提供了 5 种模型的性能比较如表 6.1 所示。由表可知，从 n 到 x，5 种模型的参数增多、运算量增大、运算时间加长、准确度提高。综合考虑长寿花分割所需精度、计算机配置及运算时间，本文拟选用 YOLOv8n 模型。

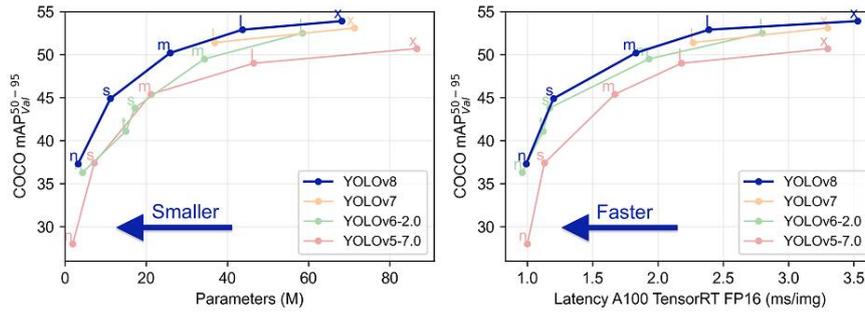


图 6.2 YOLOv8 性能比较

表 6.1 YOLOv8 分割模型性能比较

模型	尺寸 (像素)	mAP <sup>box</sup> 50-95	mAP <sup>mask</sup> 50-95	速度		参数 (M)	运算量 FLOPs (B)
				CPU ONNX (ms)	A100 TensorRT (ms)		
YOLOv8n-seg	640	36.7	30.5	96.1	1.21	3.4	12.6
YOLOv8s-seg	640	44.6	36.8	155.7	1.47	11.8	42.6
YOLOv8m-seg	640	49.9	40.8	317.0	2.18	27.3	110.2
YOLOv8l-seg	640	52.3	42.6	572.4	2.79	46.0	220.5
YOLOv8x-seg	640	53.4	43.4	712.1	4.02	71.8	344.1

### 6.1.2 YOLOv8 网络结构

YOLOv8 网络结构如图 6.3 所示。其中，主干网络（Backbone）用于对输入图片进行特征提取，特征融合层网络（Neck）是用于对主干网络输出的特征图进行特征融合，头部网络（Head）则根据类别数来设计生成特定的特征图。

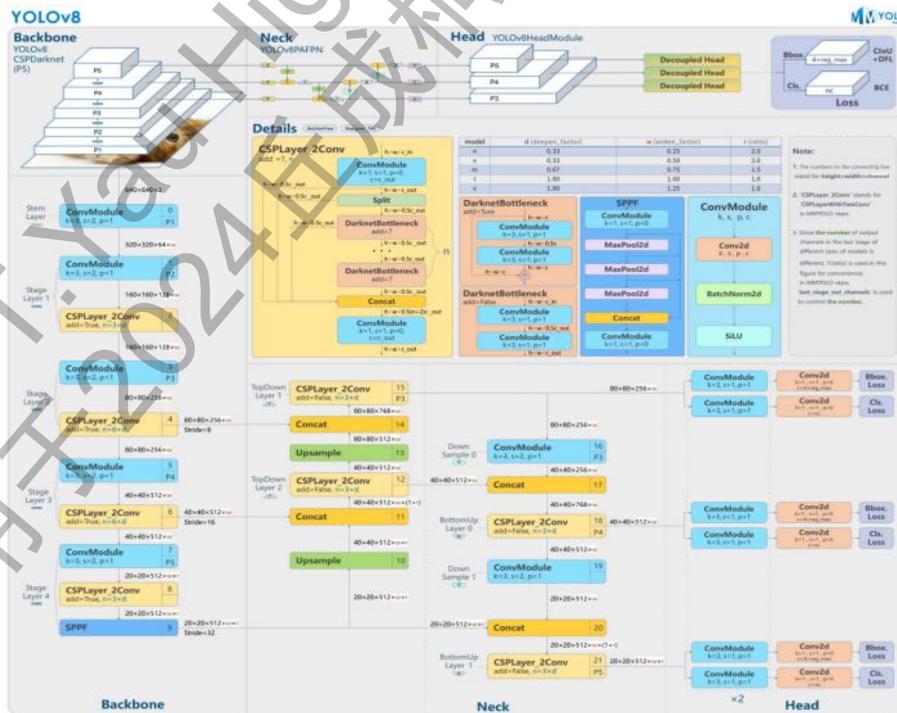


图 6.3 YOLOv8 网络结构

### 6.1.3 YOLOv8 评价指标

为评价在目标分类、目标检测、图像分割等计算机视觉任务中的预测结果是否准确，YOLOv8 模型采用以下评价指标<sup>[28]</sup>。

#### (1) IoU (Intersection over Union, 交并比)

如图 6.4 所示，IoU 通过计算预测边界框和真实边界框的交集与并集的比值来判断两个边界框的重合程度，从而判断预测位置是否准确。当 IoU 越接近于 1，代表两个边界框重合越多，即预测的位置与真实位置越接近；当 IoU 越接近于 0，代表两个边界框重合越少，即预测的位置越偏离真实位置。

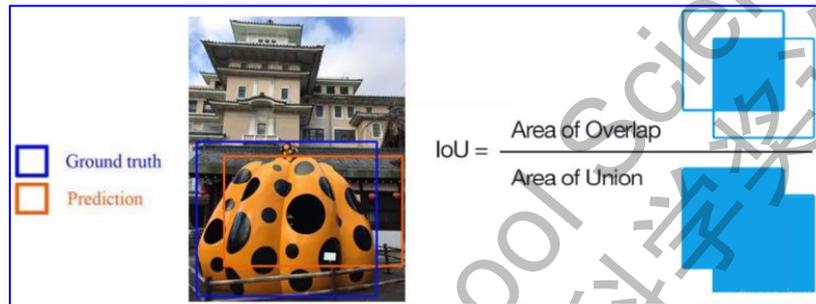


图 6.4 IoU 计算方法

IoU 可直观表达位置预测的准确性，还可用于非极大值抑制 (Non-Maximum Suppression, NMS)。NMS 的工作原理是首先根据预测边界框的置信度对它们进行排序，然后从置信度最高的边界框开始遍历，将与当前边界框的 IoU 大于某个阈值的边界框移除，从而帮助选择最佳的边界框。

#### (2) Precision (精确率)、Recall (召回率)、Confidence (置信度)

Precision 也叫查准率，衡量的是所有预测为正例的结果中，预测正确 (即为真正例) 的比例，即评估预测得准不准。Recall 也叫查全率，衡量的是实际的正例有多少被模型预测为正例，即评估预测找的全不全。当预测结果与真实值匹配且  $IoU \geq 0.5$  即表示正确 True，我们定义 T = True、F = False、P = 目标、N = 非目标。则，预测结果 TP 为真目标 (真正例)，FP 为假目标 (假正例)，FN 为假非目标 (假反例)，TN 为真非目标 (真反例)，如图 6.5 所示，式 6.1 为 precision、6.2 为 recall 的计算方法。

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (6.1)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6.2)$$

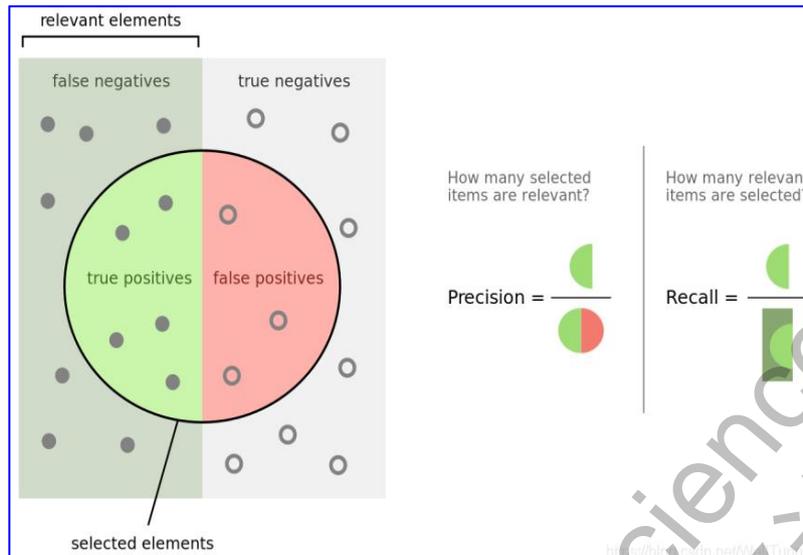


图 6.5 precision、recall 计算方法

通常，precision 高往往对应的 recall 低，反之亦然。定义可以更好体现模型整体优劣的 F1 如式 6.3 所示。

$$F1 = \frac{2}{\frac{1}{precision} + \frac{1}{recall}} = \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall} \quad (6.3)$$

Confidence 为置信度。YOLOv8 模型识别一个物体过程中，是以概率的方式表达物体属于某一个分类的可能性。设 confidence 为某个阈值，当概率超过这个阈值就确定物体为某一分类。通常 confidence 阈值较低时，很多置信度低的样本被认为是真，因此 precision 低、recall 高；而 confidence 阈值较高时，置信度高的样本才能被认为是真，类别检测率更准确，因此 precision 高、recall 低。F1-Confidence 曲线可以较好地表达分类的效果。

### (3) AP (Average Precision)、mAP (mean Average Precision)

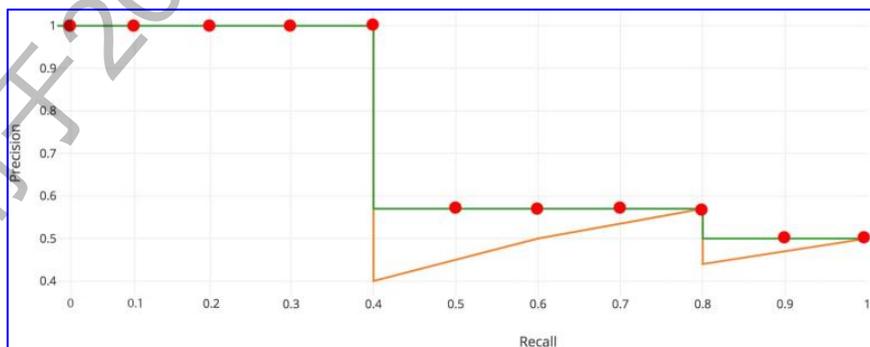


图 6.6 PR 曲线

如图 6.6 所示，以 recall 为横坐标，precision 为纵坐标，绘制 PR 曲线后对于所有 recall 用最大 precision 替换当前精度进行平滑，计算全部 recall 值对应最大 precision 值的平均值（即平滑后 PR 曲线下面的面积）可得 AP。

如共有 N 个类别，在获得每个类别 AP 的基础上，可以计算如式 6.4 所示的 mAP。通过平衡查准和查全，并考虑了 FP 和 FN，mAP 可以作为更加合理的评价指标。

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (AP)_i \quad (6.4)$$

综上，假设有 N 个类别，给定一组 IoU 阈值（如 0.5、0.95），在每个阈值下，求所有类别的 AP，平均后可得这个 IoU 阈值下的 mAP（如 mAP@0.5 表示 IoU 阈值为 0.5 时的 mAP）。

#### 6.1.4 长寿花昼夜生长图像 YOLOv8 分割模型训练流程

为对目标长寿花进行准确的实例分割，本文将把第五章采集的长寿花昼夜生长图像作为自定义数据集，并在此基础上训练 YOLOv8 分割模型，并用于后期多目标跟踪和实例分割。

在自定义数据上训练 YOLOv8 分割模型的步骤如下：①收集数据，②标注数据，③划分数据集（训练集、验证集和测试集），④参数配置，⑤训练模型。以下分别介绍。

## 6.2 数据集准备

### 6.2.1 收集数据

在前期长寿花昼夜生长环境数据以及图像收集的基础上，根据以下原则确定长寿花数据集：

（1）为寻找长寿花昼夜开合规律，需尽可能收集多种长寿花数据，以增加结果的普适性。

（2）为研究长寿花的开合，需考虑数据所涵盖的整个周期中，目标长寿花图像清晰可见。

（3）为精确获得目标长寿花的生长形态，采用连续拍摄的图像作为数据集将更有利于准确提取（分割）目标长寿花。

（4）在可接受的运算量和运算时间的前提下，尽可能保留更多的图像数据，以充分展现长寿花的细微生长形态变化。

基于以上原则，确定如表 6.2 所示的 7 个长寿花数据集。后续研究将围绕这 7 个数据集展开。需要注意的是，可能存在部分时间环境数据缺失或图像数据缺失的情况，研究需要充分考虑其可能带来的影响。

表 6.2 长寿花数据集

数据集	长寿花	周期	目标数	图像数量	分辨率	图例
1	白紫色 YP	2024/3/28 6:25~ 2024/3/31 7:22	1	1193	960*540	
2	红黄色 RY	2024/4/5 21:41~ 2024/4/7 6:23	4	1013	1440*1080	
3	紫色 P	2024/4/20 7:04~ 2024/4/22 21:27	3	542	1920*1080	
4	红色 R1	2024/4/30 22:51~ 2024/5/3 16:57	2	1041	1920*1080	
5	红色 R2	2024/5/4 17:32~ 2024/5/10 00:03	9	1695	1920*1080	
6	粉色 Pi	2024/5/16 22:25~ 2024/5/18 22:20	7	1044	1920*1080	
7	黄色 Y	2024/6/2 13:43~ 2024/6/7 03:19	2	2014	1920*1080	

### 6.2.2 标注数据

在对标注有目标位置和类别信息的图像数据集学习基础上, YOLO 等深度学习模型将具有目标识别能力<sup>[29]</sup>。

针对表 6.2 中的 7 个数据集, 我们分别进行标注。以“红色 R2”数据集为例, 如图 6.7 所示, 采用标注工具 LabelMe 对目标长寿花进行标注<sup>[30]</sup>。因后期需进行实例分割, 故采用 LabelMe 中的多边形工具对目标长寿花边界进行绘制, 并标注为不同的类别, 此处我们将 9 朵目标长寿花标注为“1”、“2”、“3”……“9”等 9 类物体。为充分展现长寿花的细微生长形态变化, 我们每隔 2 小时取一张图像, 即在 1695 张图像中共取 65 张图像进行标注。图 6.7 分别展示了 5 月 4 日 17:32 和 5 月 8 日 12:00 的图像, 可以看出光照对图像质量的影响很大, 部分长寿花因感性运动从图像中消失, 目标长寿花也存在运动或遮挡等情况。

标注后, 我们得到 json 格式的标签文件, 而 YOLOv8 训练需要 txt 格式的标签文件。采用图 6.8 所示的 python 程序可以实现 json 到 txt 格式文件的转换<sup>[31]</sup>。



图 6.7(a) LabelMe 标注数据 (2024/5/4 17:32)



图 6.7(b) LabelMe 标注数据 (2024/5/8 12:00)

```
def json_to_txt(jsonfilePath, resultDirPath, ):
    """
    jsonfilePath: LabelMe标注好的*.json文件所在文件夹
    resultDirPath: 转换后的*.txt保存文件夹
    classList: 数据集中的类别标签
    """
    class_names = []

    jsonfileList = glob.glob(osp.join(jsonfilePath, "*.json"))

    for jsonfile in tqdm(jsonfileList, desc='Processing'):

        with open(jsonfile, "r", encoding='UTF-8') as f:
            file_in = json.load(f)

            # 4. 读取文件中记录的所有标注目标
            shapes = file_in["shapes"]

            # 5. 使用图像名称创建一个txt文件, 用来保存数据
            with open(resultDirPath + "\\\" + jsonfile.split("\\\")[1].replace(\"_old\": \".json\", \"_new\": \".txt\"), \"w\") as file_handle:
                # 6. 遍历shapes中的每个目标的轮廓
                for shape in shapes:
                    if shape[\"label\"] not in class_names:
                        class_names.append(shape[\"label\"])
                    # 7. 根据json中目标的类别标签, 从classList中寻找类别的ID, 然后写入txt文件中
                    file_handle.writelines(str(class_names.index(shape[\"label\"])) + \" \")

                    # 8. 遍历shape轮廓中的每个点, 每个点要进行图像尺寸的缩放, 即x/width, y/height
                    for point in shape[\"points\"]:
                        x = point[0] / file_in[\"imageWidth\"] # mask轮廓中一点的x坐标
                        y = point[1] / file_in[\"imageHeight\"] # mask轮廓中一点的y坐标
                        file_handle.writelines(str(x) + \" \" + str(y) + \" \") # 写入mask轮廓点

                    file_handle.writelines(\"\\n\")
                file_handle.close()
            f.close()

    with open(resultDirPath + '\\\" + 'classes.txt', 'w') as f:
        for i in class_names:
            f.write(i + '\\n')
```

图 6.8 json 转 txt 程序

### 6.2.3 划分数据集

深度学习的数据集可划分为训练集、验证集和测试集，常见的比例是 8:1:1 或 7:1.5:1.5，其中训练集占大部分，也可不设置测试集。训练集和验证集划分时，需考虑以下指导原则：①数据集较小时，训练集所占比例应更大，以确保模型有足够的数据进行学习；②划分数据集前随机清洗数据，防止数据集中的特定信息影响模型的性能；③确保训练集、验证集可以代表整个数据集的不同方面。采用图 6.9 所示的 python 程序可以实现数据集的划分。以“红色 R2”数据集为例，数据集共 65 张图像，划分后训练集含 59 张图像，验证集含 6 张图像。

```
import os, shutil
from sklearn.model_selection import train_test_split

#注意：用json_polyjson_8_txt.py生成的txt标签目录里有一个classes.txt文件，需要去把它删掉

val_size = 0.1
test_size = 0.1
postfix = '.jpg'
imgpath = 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/image'
txtpath = 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/txt'

os.makedirs(name='D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/images/train', exist_ok=True)
os.makedirs(name='D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/images/val', exist_ok=True)
os.makedirs(name='D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/images/test', exist_ok=True)
os.makedirs(name='D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/labels/train', exist_ok=True)
os.makedirs(name='D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/labels/val', exist_ok=True)
os.makedirs(name='D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/labels/test', exist_ok=True)

listdir = [i for i in os.listdir(txtpath) if 'txt' in i]
train, test = train_test_split(*args=listdir, test_size=test_size, shuffle=True, random_state=0)
train, val = train_test_split(*args=train, test_size=val_size, shuffle=True, random_state=0)
print(f'train set size:{len(train)} val set size:{len(val)} test set size:{len(test)}')

for i in train:
    shutil.copy('{}({})'.format('@@'imgpath, i[:-4], postfix), 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/images/train/{}'.format('@@'i[:-4], postfix))
    shutil.copy('{}({})'.format('@@'txtpath, i), 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/labels/train/{}'.format(i))

for i in val:
    shutil.copy('{}({})'.format('@@'imgpath, i[:-4], postfix), 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/images/val/{}'.format('@@'i[:-4], postfix))
    shutil.copy('{}({})'.format('@@'txtpath, i), 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/labels/val/{}'.format(i))

for i in test:
    shutil.copy('{}({})'.format('@@'imgpath, i[:-4], postfix), 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/images/test/{}'.format('@@'i[:-4], postfix))
    shutil.copy('{}({})'.format('@@'txtpath, i), 'D:/PycharmProjects/secondProject/json2txt/dataset/labels/test/{}'.format(i))
```

图 6.9 数据集划分程序

## 6.3 模型训练及结果分析

YOLOv8 模型的工作流程为：①输入图像经过特征提取网络，得到图像的特征表示；②将特征图送入检测网络，生成包含目标物体位置和类别信息的检测结果；③利用非极大值抑制（NMS）等技术对检测结果进行后处理，获得最终的目标检测结果。

### 6.3.1 参数配置

仍以表 6.2 中“红色 R2”数据集为例，在“yolov8-seg.yaml”文件中，设置物体种类数量参数 nc=9，训练时从该文件默认加载 YOLOv8n 模型参数；在“flower-seg.yaml”文件中，设置物体种类名称“0”、“1”……“8”分别为“f1”、“f2”……“f9”。表 6.3 为 YOLOv8 训练部分参数设置，在此基础上即可训练模型。

表 6.3 YOLOv8 训练部分参数设置

参数	设置	说明	备注
model	yolov8-seg.yaml	物体种类数、YOLOv8n 训练	不使用预训练模型
data	flower-seg.yaml	数据文件的路径，物体种类	定义 9 类物体

epochs	300	训练周期	-
patience	0	没有明显改善则停止训练	不提前停止
batch	20	每批图像数	-
imgsz	640	输入图像尺寸	-
device	cpu	运行设备	用 cpu 训练
optimizer	SGD	使用的优化器	-
lr0	0.01	初始学习率	-
lrf	0.01	最终学习率 (lr0*lrf)	-
hsv_h、hsv_s…… copy_paste 等数据增强参数	系统默认值	通过数据增强提升泛化能力	数据增强

### 6.3.2 训练结果评价

YOLOv8n 模型训练结束，我们根据 6.1.3 节列出的指标，对模型训练结果进行分析。YOLOv8 也给出了非常直观的评价展示方式。如前文介绍，以“红色 R2”数据集为例，将 9 朵目标长寿花标注为 9 类物体，建立数据集共 65 张图像，其中 59 张为训练集，6 张为验证集。以表 6.3 中参数进行分割模型训练，最终结果如下。

#### (1) 目标检测训练结果评价

如图 6.10 所示，(a) 图为精确度-置信度曲线，由图可知  $\text{confidence} > 0.05$  时， $\text{precision} > 0.8$ ；(b) 图为召回率-置信度曲线，由图可知  $\text{confidence} < 0.9$  时， $\text{recall} > 0.8$ ；(c) 图为精确度-召回率曲线， $\text{mAP}@0.5 = 0.995$ ；(d) 图为 F1-置信度曲线，由图可知  $\text{confidence} = 0.852$  时，9 类物体(即 9 朵目标长寿花)  $\text{F1} = 0.99$ 。总体效果良好。

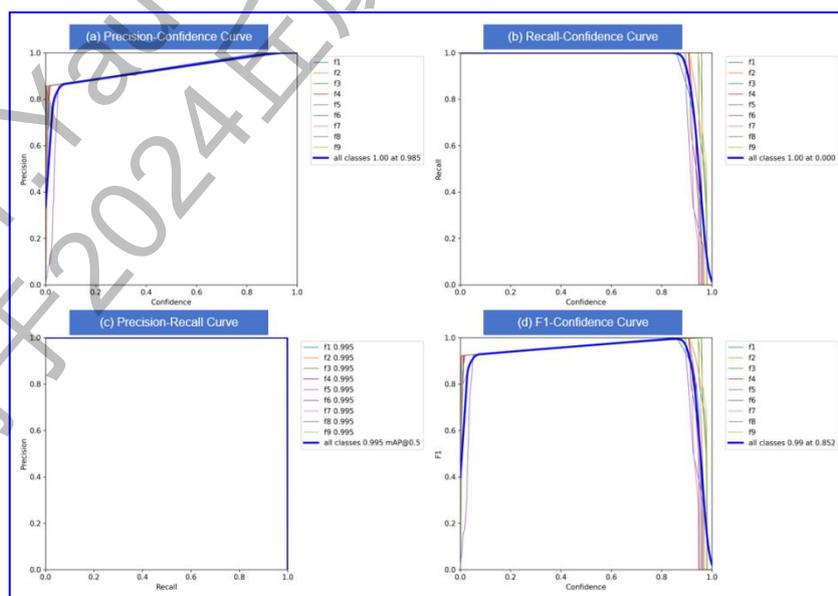


图 6.10 长寿花目标检测训练结果评价曲线

## (2) 混淆矩阵及标签

如图 6.11 所示, (a)、(b) 图为混淆矩阵及标准化混淆矩阵, 可以看出, 9 个分类均在对角线上, 未发生误分类, 效果良好; (c)、(d) 图为标签分布及标签相关性图, 可以看出 9 个分类的实例数量、空间分布情况及不同类别间的关系。

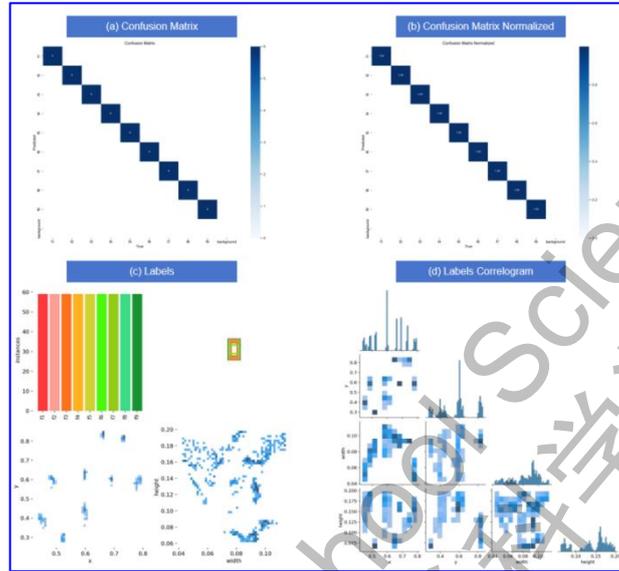


图 6.11 长寿花混淆矩阵及标签

## (3) 实例分割训练结果评价

如图 6.12 所示, (a) 图为实例分割掩膜精确度-置信度曲线, 由图可知  $\text{confidence} > 0.05$  时,  $\text{precision} > 0.8$ ; (b) 图为实例分割掩膜召回率-置信度曲线, 由图可知  $\text{confidence} < 0.9$  时,  $\text{recall} > 0.8$ ; (c) 图为实例分割掩膜精确度-召回率曲线,  $\text{mAP}@0.5 = 0.995$ ; (d) 图为实例分割掩膜 F1-置信度曲线, 由图可知  $\text{confidence} = 0.852$  时, 9 类物体 (即 9 朵目标长寿花)  $\text{F1} = 0.99$ 。总体效果良好。

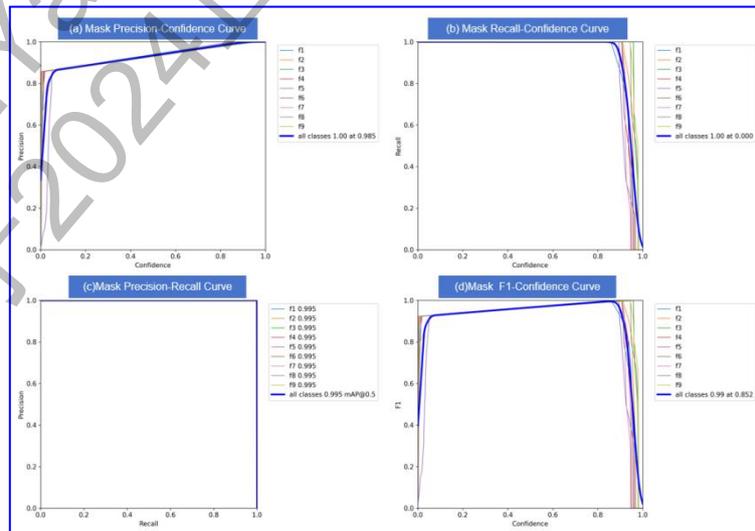


图 6.12 长寿花实例分割训练结果评价曲线

#### (4) 训练和验证迭代过程指标

如图 6.13 所示, 图(a)为定位损失 (box\_loss)、特征点损失 (df1\_loss)、分割损失 (seg\_loss)、分类损失 (cls\_loss) 随训练次数的变化情况; 图(b) 为检测精确度 (precision)、召回率 (recall)、mAP50 (mAP@0.5)、mAP50-95 (mAP@0.5-0.95) 随训练次数的变化情况。由图可知, 经过 300 个周期 (epoch) 的训练, 各指标均收敛且效果良好。

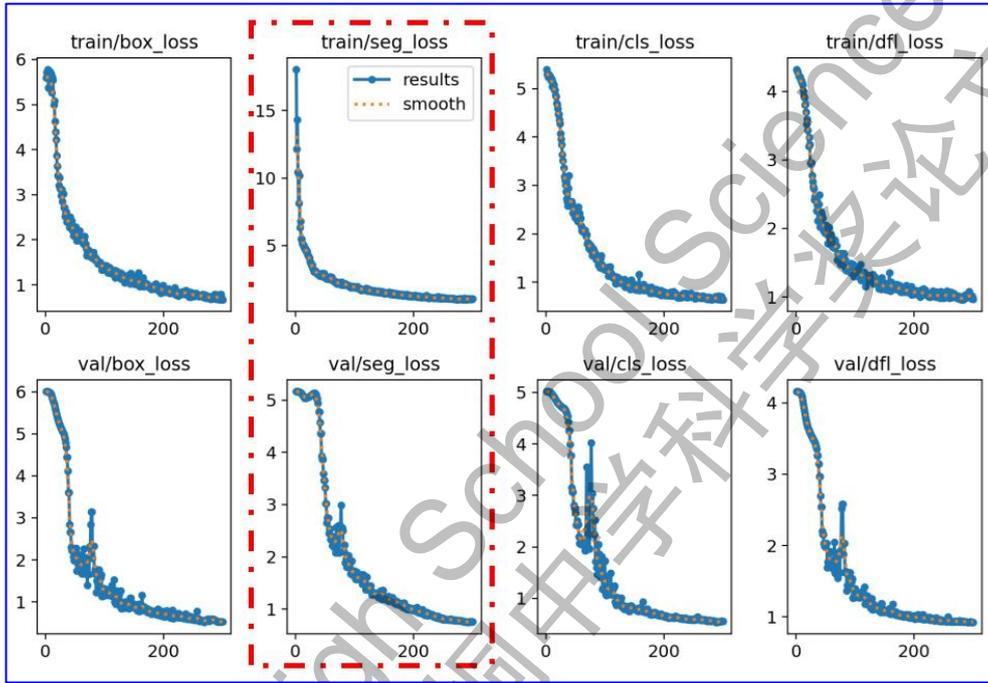


图 6.13(a) 损失函数随训练/验证周期 (epoch) 变化曲线

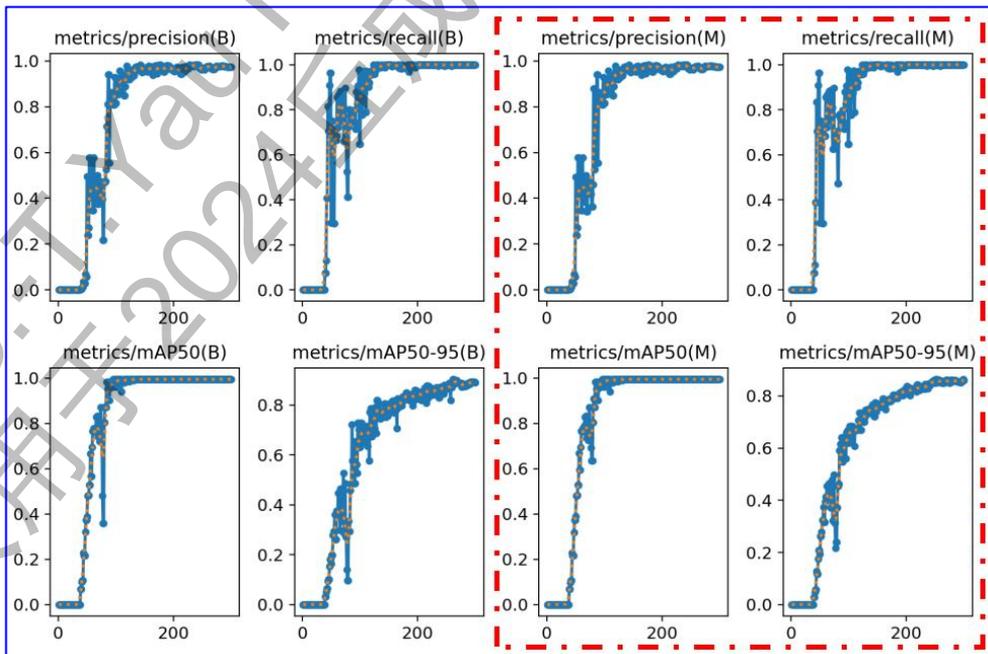


图 6.13(b) 评价指标随训练周期 (epoch) 变化曲线

## 6.4 验证结果

采用训练的结果对“红色 R2”验证集 6 张图像进行验证，主要参数设置为：每批处理 1 张图像 (batch=1)，置信度 conf=0.5 (根据 F1-置信度曲线)，NMS 阈值 iou=0.5，每张图像最大检测数量 max\_det=300，验证结果如图 6.14(a) 所示。图 6.14(b)、6.14(c)、6.14(d)、6.14(e)、6.14(f)、6.14(g) 分别展示了“白紫色 YP”、“红黄色 RY”、“紫色 P”、“红色 R1”、“粉色 Pi”、“黄色 Y”数据集验证结果。

综上，在“红色 R2”数据集上进行的长寿花目标检测、实例分割 YOLOv8n 模型训练，均取得了良好的效果。这与 YOLOv8 模型强大的学习能力有关，同时也得益于本文应用场景重点关注长寿花的生长形态变化，建立的数据集在图片质量、目标长寿花选择、标注以及数据增强等方面所做的较为细致的工作。



图 6.14(a) “红色 R2”数据集，2024/5/6 00:01 标注图像、预测图像对比



图 6.14(b) “白紫色 YP”数据集，2024/3/28 08:00 标注图像、预测图像对比



图 6.14(c) “红黄色 RY”数据集，2024/4/6 07:00 标注图像、预测图像对比



图 6.14(d) “紫色 P”数据集，2024/4/20 11:03 标注图像、预测图像对比



图 6.14(e) “红色 R1”数据集，2024/5/1 14:02 标注图像、预测图像对比



图 6.14(f) “粉色 Pi”数据集，2024/5/17 08:56 标注图像、预测图像对比



图 6.14(g) “黄色 Y”数据集，2024/6/5 22:00 标注图像、预测图像对比

## 第七章 长寿花图像多目标跟踪方法

第六章利用 YOLOv8n 模型实现了目标长寿花的检测及分割。但我们发现，当使用训练模型对不同时间图像进行处理时，虽然 YOLOv8n 模型仍可以完成检测和分割任务，但无法确定不同图像里目标长寿花之间的对应关系，即前一幅图像中的 A 长寿花可能是后一幅图像中的 B 长寿花。因此，需要引入多目标跟踪机制，对于连续时间拍摄的图像，为检测到的目标指定一个“对象 ID”，在后续图像中如果检测到相同的对象，都分配相同的对象 ID，从而实现目标跟踪，利于后期提取特定长寿花的生长形态特征。

### 7.1 YOLOv8 多目标跟踪方法

多目标跟踪 (Multiple Object Tracking, 简称 MOT)，是在视频或图像序列中检测并跟踪多个目标，并为每一个目标分配唯一的标识符 (ID)，以便保持其在时间上的连续性和一致性。在此过程中，通常目标的数量是不确定的，因此需要在不同帧之间动态地完成目标的识别和追踪。MOT 技术广泛应用于智能监控、自动驾驶、行为识别等领域<sup>[32]</sup>，具有重要的意义。

YOLOv8 支持 BoT-SORT 和 ByteTrack 两种跟踪器。BoT-SORT 可在目标因遮挡等原因丢失后再次出现时完成跟踪，而 ByteTrack 可以满足监控等对处理速度要求高的场景<sup>[33]</sup>。BoT-SORT 跟踪器将运动和外观特征、相机运动补偿和卡尔曼滤波状态向量等方法集成到 ByteTrack 中，有效增强了追踪的鲁棒性。如图 7.1 所示，在 2022 年 BoT-SORT 提出时，其性能超越了其他跟踪器，排名第一<sup>[34]</sup>。本文选用 BoT-SORT 跟踪器。

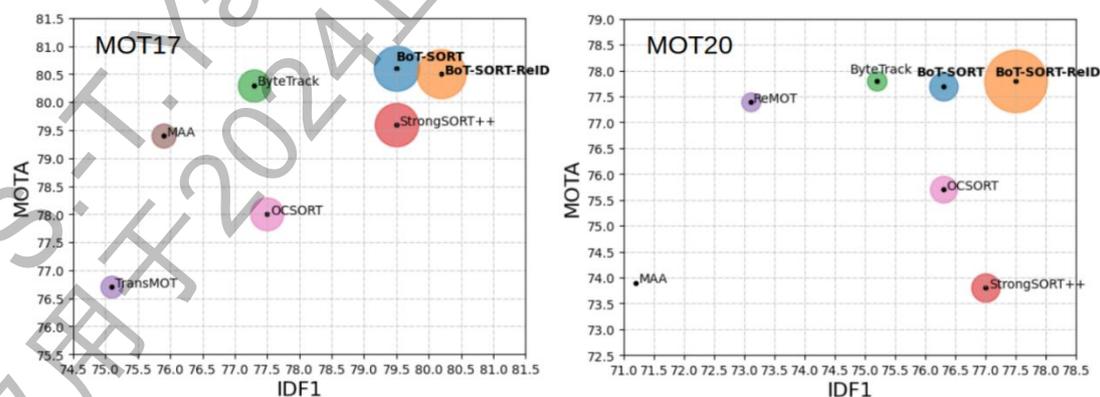


图 7.1 BoT-SORT 与其他跟踪器的多目标跟踪指标 (MOTA) 比较

## 7.2 BoT-SORT 跟踪器配置及跟踪效果分析

### 7.2.1 参数配置

BoT-SORT 跟踪器参数在 `botsort.yaml` 文件中设置，均使用默认值，具体说明见表 7.1。

表 7.1 BoT-SORT 跟踪器参数设置

参数	设置	说明
<code>tracker_type</code>	<code>botsort</code>	设置跟踪器的类型，此处为 BoT-SORT。
<code>track_high_thresh</code>	0.5	首次关联的高阈值，用于确定有效跟踪目标。
<code>track_low_thresh</code>	0.1	再次关联的低阈值，即便较低的置信度也可看作有效目标。
<code>new_track_thresh</code>	0.6	初始化新跟踪目标的阈值，当检测对象与所有现有轨迹均不匹配时使用。
<code>track_buffer</code>	30	跟踪缓冲的帧数。
<code>match_thresh</code>	0.8	轨迹匹配阈值，判断两个轨迹是否对应同一目标。
<code>gmc_method</code>	<code>sparseOptFlow</code>	全局运动补偿的方法，此处使用稀疏光流法。
<code>proximity_thresh</code>	0.5	两个目标距离靠近程度的判断阈值。
<code>appearance_thresh</code>	0.25	两个目标形貌相似程度的判断阈值。
<code>with_reid</code>	<code>FALSE</code>	指定是否使用 Re-Identification 模型来辅助目标识别。

仍以“红色 R2”数据集为例，将其 YOLOv8 中跟踪预测相关参数设置见表 7.2。

表 7.2 YOLOv8 跟踪预测相关参数设置

参数	设置	说明	备注
<code>model</code>	<code>best.pt</code>	YOLOv8n 训练得到最优模型	
<code>tracker</code>	<code>botsort.yaml</code>	跟踪器设置	使用 BoT-SORT
<code>source</code>	<code>Image/test</code>	待跟踪预测图像文件路径	
<code>persist</code>	<code>True</code>	在连续图像间持续跟踪	保证 ID 一致
<code>conf</code>	0.5	根据 F1-置信度曲线	高精确度、召回率
<code>iou</code>	0.5	NMS 用 IoU 阈值	
<code>show_labels</code>	<code>True</code>	在图中显示目标标签	
<code>show_conf</code>	<code>True</code>	在图中显示目标置信度	
<code>show_boxes</code>	<code>True</code>	在分割预测中显示边界框	
<code>retina_masks</code>	<code>True</code>	使用高分辨率的分割掩码	

### 7.2.2 跟踪效果

“红色 R2”数据集，共 9 朵目标长寿花，5 天零 6 小时共 1695 张图像。经测试，该数据集基于 YOLOv8n 模型的多目标跟踪效果良好，识别率为 100%。选择部分典型图像如图 7.2 所示。其中，图 7.2(a) 为起始图像，9 朵目标长寿花均正常跟踪，但 f2 的置信度为 0.69，如 `conf` 参数设置高于 0.69，f2 会漏检；图 7.2(b) 为中午 12 点图像，虽阳光强烈，但跟踪效果良好；图 7.2(c) 为午夜 0 点

图像，也是终止图像，各目标长寿花以高置信度实现跟踪。从三幅图可以看出，BoT-SORT 跟踪器跟踪预测效果良好，同时也可以看出长寿花在不同的时间点存在明显的“绽放”和“收缩”现象。

“红色 R2”数据集中各目标长寿花均为连续、缓慢变化，虽部分存在遮挡现象，但总体情况相对简单。选取另外一组“紫色 P”数据集，共 3 朵目标长寿花（其中 2 朵在观测期间开放），共 2 天 14 小时 542 张图像（因设备原因，中间缺少 12 小时图像）。经测试，YOLOv8n 模型仍可以实现该数据集的多目标跟踪。图 7.3 为间断 12 小时先后两幅图像的跟踪效果。

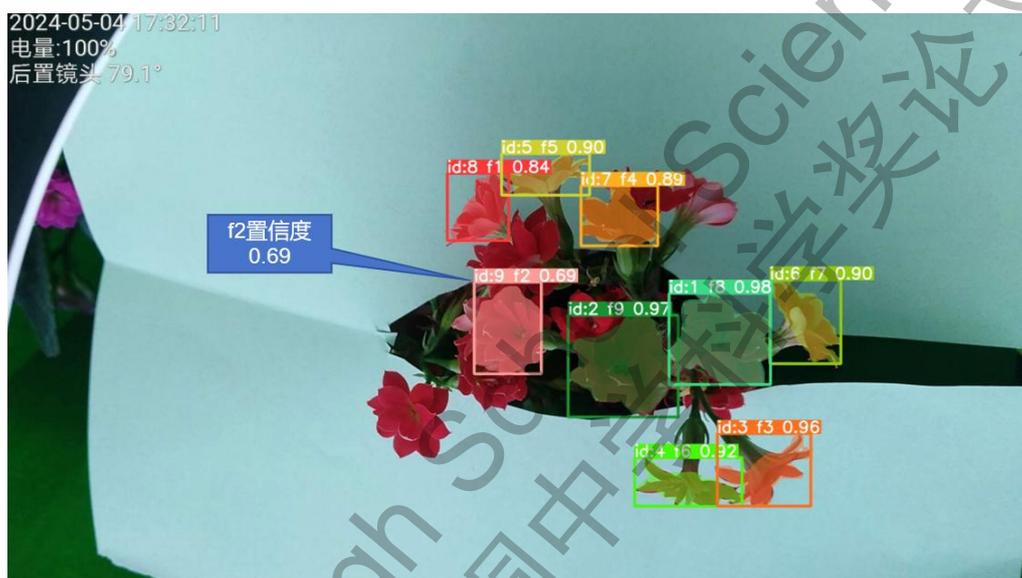


图 7.2(a) 2024/5/4 17:32 多目标跟踪效果

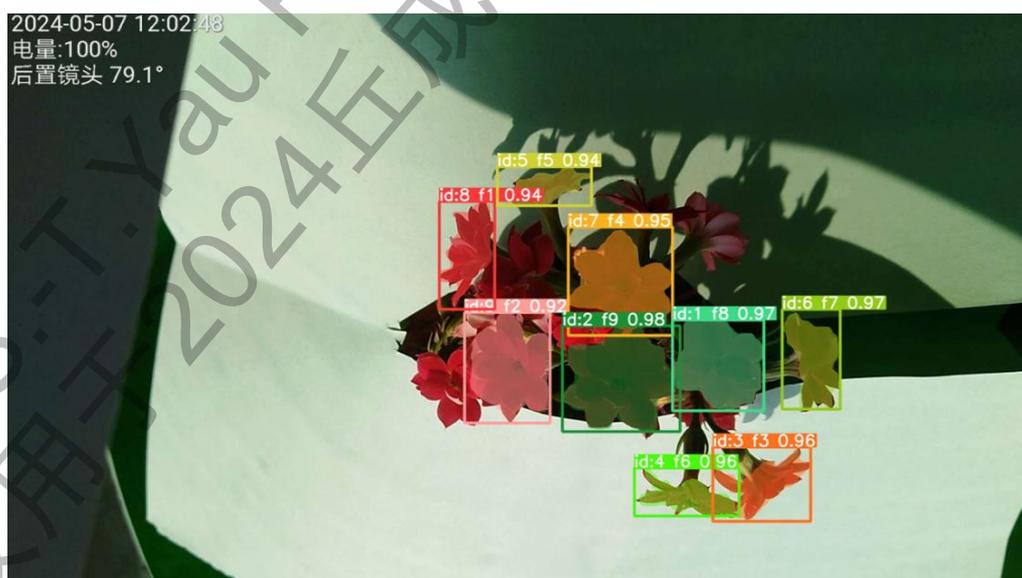


图 7.2(b) 2024/5/7 12:02 多目标跟踪效果

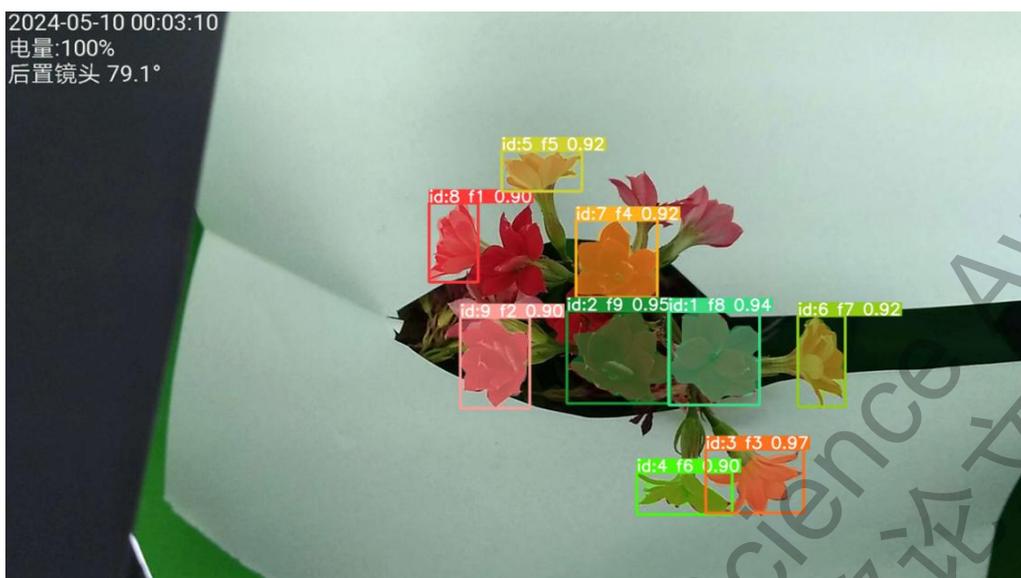


图 7.2(c) 2024/5/10 00:03 多目标跟踪效果



图 7.3 “紫色 P”数据集间断 12 小时图像的多目标跟踪效果

### 7.3 长寿花昼夜开放形态可视化处理

为更好展示长寿花昼夜生长形态变化，并为下一步计算目标长寿花面积做好准备，本文利用 python 的开源计算机视觉库——OpenCV，对跟踪分割后的图像做了进一步的可视化处理。一是将目标分割结果以不同颜色掩码显示在黑色背景上，二是将不同颜色掩码与原图的灰度图像叠加，生成图像如图 7.4 所示。



图 7.4(a) “白紫色 YP”数据集昼夜开放形态可视化

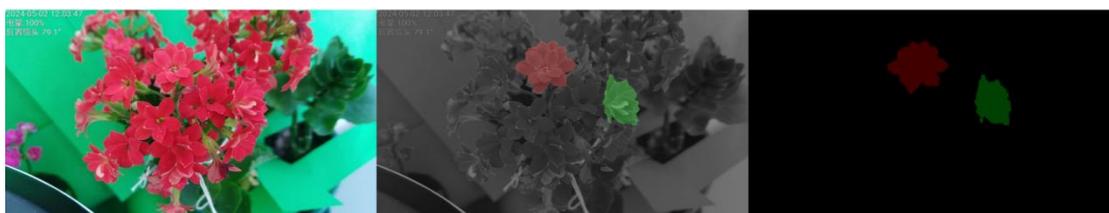


图 7.4(b) “红色 R1”数据集昼夜开放形态可视化



图 7.4(c) “紫色 P”数据集昼夜开放形态可视化



图 7.4(d) “粉色 Pi”数据集昼夜开放形态可视化

## 7.4 长寿花面积计算

在完成长寿花生长过程跟踪、实例分割和形态提取的过程中，我们已经获得了每朵目标长寿花的轮廓关键点坐标。利用 2.4 节方法可计算长寿花的面积。此处“面积”是指像素面积，如需获得真实面积还需要进一步标定。

以“红色 R2”数据集为例，如图 7.2 所示，9 朵目标长寿花近似可以分为 3 类：①花朵正面图像（如 f2、f4、f9），可以观察到较为完整的花朵形态，花朵的绽放和收缩可以通过其面积的变化表示；②花朵侧面图像（如 f1、f3、f5、f6、f7），仅能观察到花朵的侧面形态，花朵绽放和收缩时其面积变化较小，无法通过其面积的变化表示花朵形态的变化；③花朵正面图像（如 f8），可以观察到完整的花朵形态但其变化不大，因数量少，忽略此类情况。针对第②种情况，经过观察，我们可以通过其检测包围盒对角线的长度近似表达花朵形态的变化。

9 朵长寿花面积如图 7.5(a) 所示；f2、f4、f8、f9 长寿花面积如图 7.5(b) 所示；f1、f3、f5、f6、f7 长寿花对角线长度如图 7.5(c) 所示。可以看出，除 f8 外，采用面积或对角线长度方式可以较好地表达各目标长寿花生长昼夜形态变化情况。

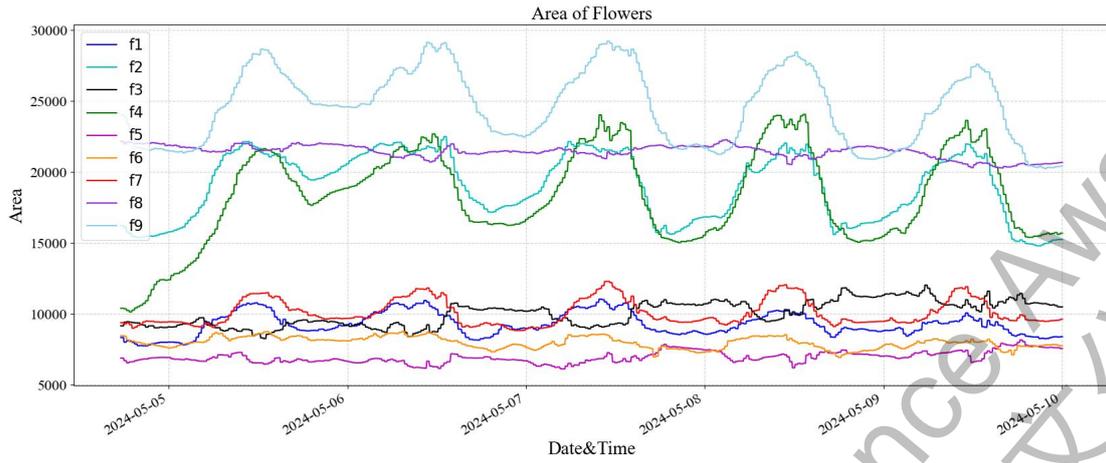


图 7.5(a) “红色 R2” 数据集 9 朵长寿花面积变化情况

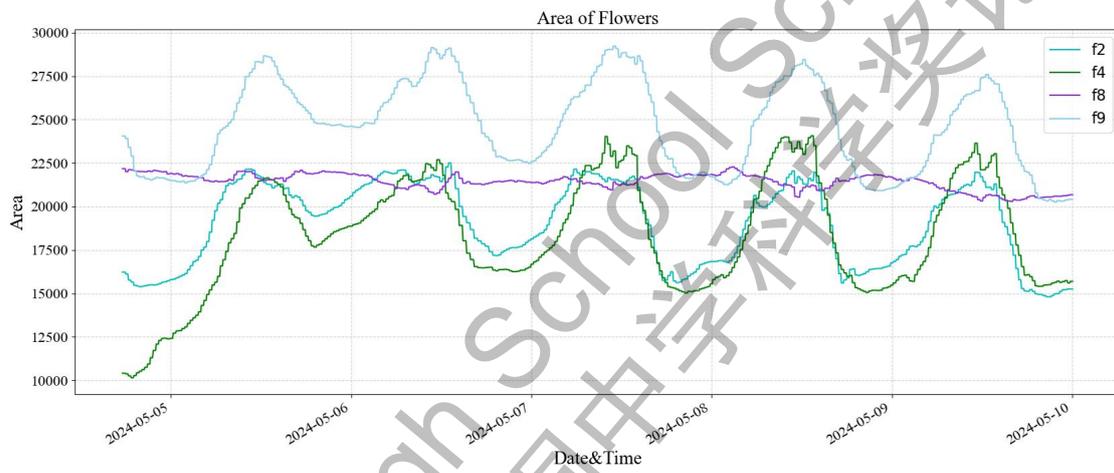


图 7.5(b) “红色 R2” 数据集 4 朵正面图像长寿花的面积变化情况

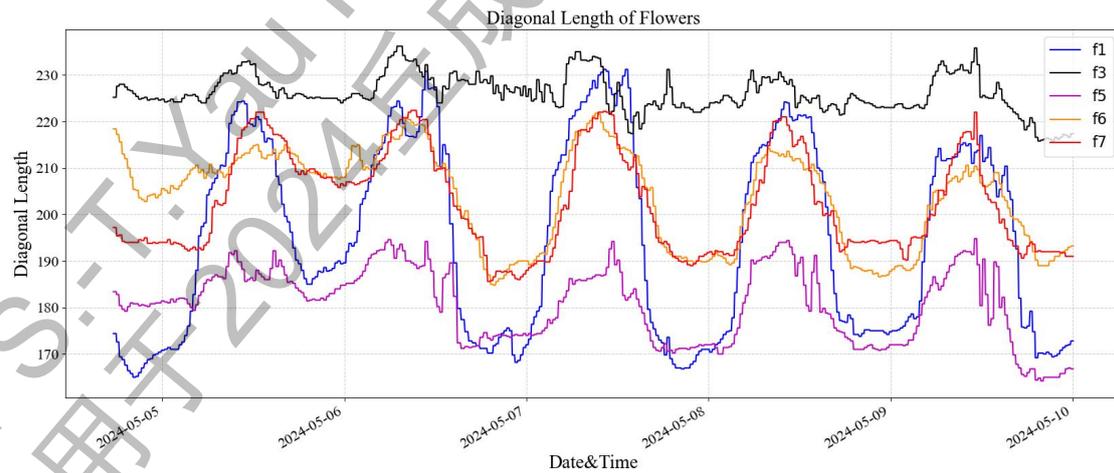


图 7.5(c) “红色 R2” 数据集 5 朵侧面图像长寿花对角线长度变化情况

## 第八章 长寿花开放昼夜形态变化观察实验

通过前七章介绍，我们可以获得长寿花开放昼夜形态变化的相关参数及获取方法如表 8.1 所示。基于获取的数据，本章将开展不同品种长寿花开放昼夜形态变化观察实验及数据分析，并最终获得结论。

表 8.1 长寿花开放昼夜形态变化相关参数及获取方法

序号	设备	方法	参数
1	GY-39 传感器	串口通信上传数据至笔记本	笔记本每 30s 记录一次照度、温度、湿度、气压、海拔等环境数据
2	JX-CO <sub>2</sub> -102 传感器	串口通信上传数据至笔记本	笔记本每 30s 记录一次 CO <sub>2</sub> 浓度环境数据
3	旧手机	IP Camera 视频服务器接受笔记本访问	笔记本每 2~5min 保存一次长寿花图像
4	笔记本	YOLOv8n 多目标跟踪及实例分割	提取目标长寿花分割图像并计算其面积/检测框对角线长度，以表示其形态变化

### 8.1 长寿花开放形态昼夜周期性变化观察实验

#### 8.1.1 “白紫 WP” 长寿花——24 小时实验

取“白紫 WP”长寿花数据集 24 小时图像采集时间段为 2024 年 3 月 28 日 11:59 至 3 月 29 日 12:01，共 371 幅图像。图 8.1 所示为起始、中点和结束图像。数据集中共 1 个目标，为正面图像，可以用分割面积表示其生长形态变化。因此，“白紫 WP”长寿花重点观察目标①的生长形态随环境因素变化情况。



图 8.1(a) “白紫 WP” 长寿花 24 小时内起始时刻（3 月 28 日 11:59）图像



图 8.1(b) “白紫 WP”长寿花 24 小时内中点时刻（3 月 29 日 0 点）图像



图 8.1(c) “白紫 WP”长寿花 24 小时内结束时刻（3 月 29 日 12:01）图像

图 8.2 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“白紫 WP”正面图像长寿花面积的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度变化与长寿花面积变化趋势高度相关；温度也与长寿花面积变化有较好的相关性；湿度是否有相关性需进一步观察；气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等参数与长寿花面积变化无明显联系。

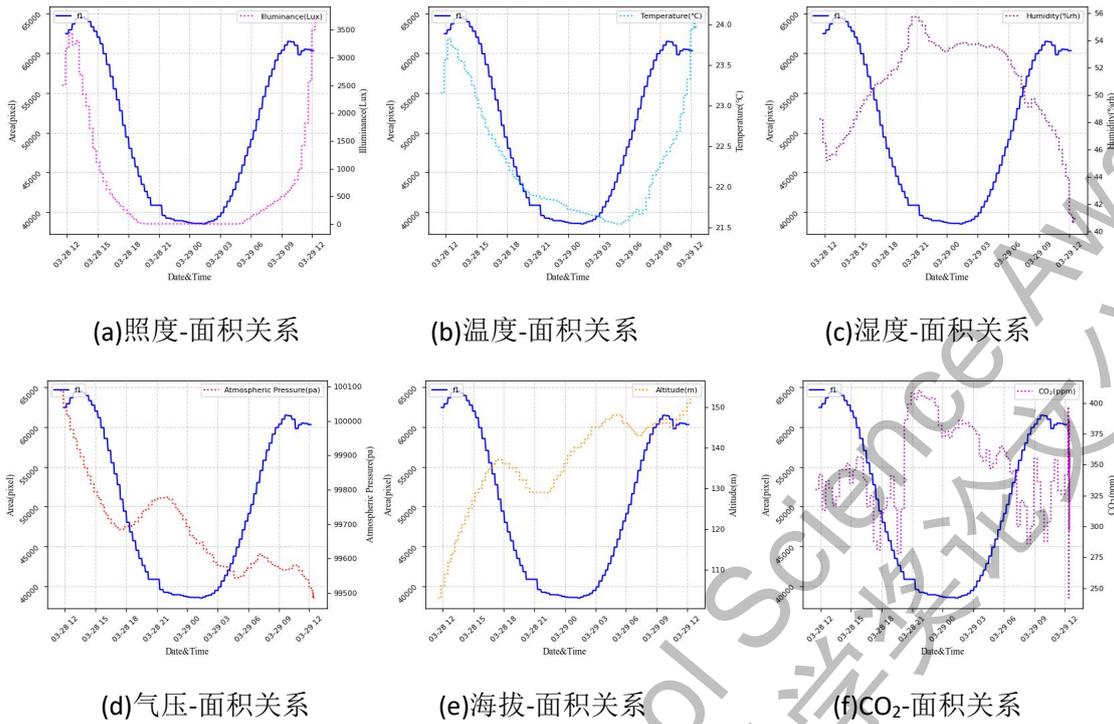


图 8.2 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>对“白紫 WP”正面长寿花面积影响

图 8.3 给出了照度对“白紫 WP”长寿花昼夜生长形态（以面积表示）的影响情况。该图可以清晰观察到两者之间的相关性。

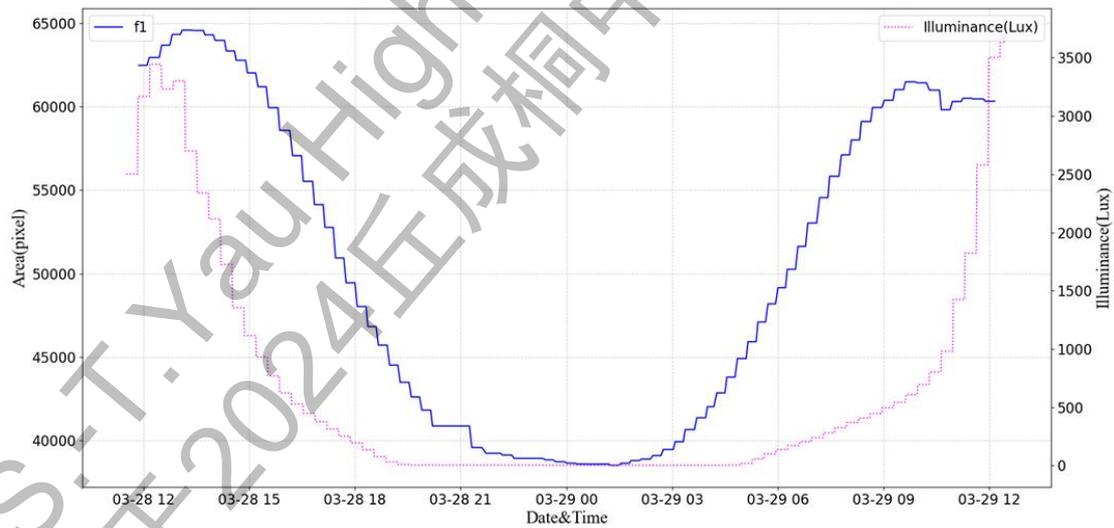


图 8.3 照度对“白紫 WP”正面长寿花面积影响

### 8.1.2 “红黄色 RY”长寿花——24 小时实验

取“红黄色 RY”长寿花数据集 24 小时图像采集时间段为 2024 年 4 月 6 日 0 点至 4 月 7 日 0 点，共 722 幅图像。图 8.4 所示为 24 小时内的 8 幅图像，较完整地表示了 4 朵目标长寿花的昼夜生长过程。由图可知，数据集中共 4 个目标，近似均可看作正面图像。由周边花蕾及 4 朵目标长寿花图像可知，目标均处于成

长期。因此，“红黄色RY”长寿花重点观察成长过程中，目标①②③④的生长形态随环境因素变化情况。



图 8.4 “红黄色RY”长寿花 24 小时图像

图 8.5 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“红黄色 RY”正面图像长寿花面积的影响。可以看出，长寿花生长仍存在开合现象，但周期小于 24 小时，这很可能是由于“红黄色 RY”正处于快速生长期所致，因此需要慎重考虑“红黄色 RY”实验结果是否有参考意义。同时，我们也需要进一步延长实验时间以获取更有价值的信息。

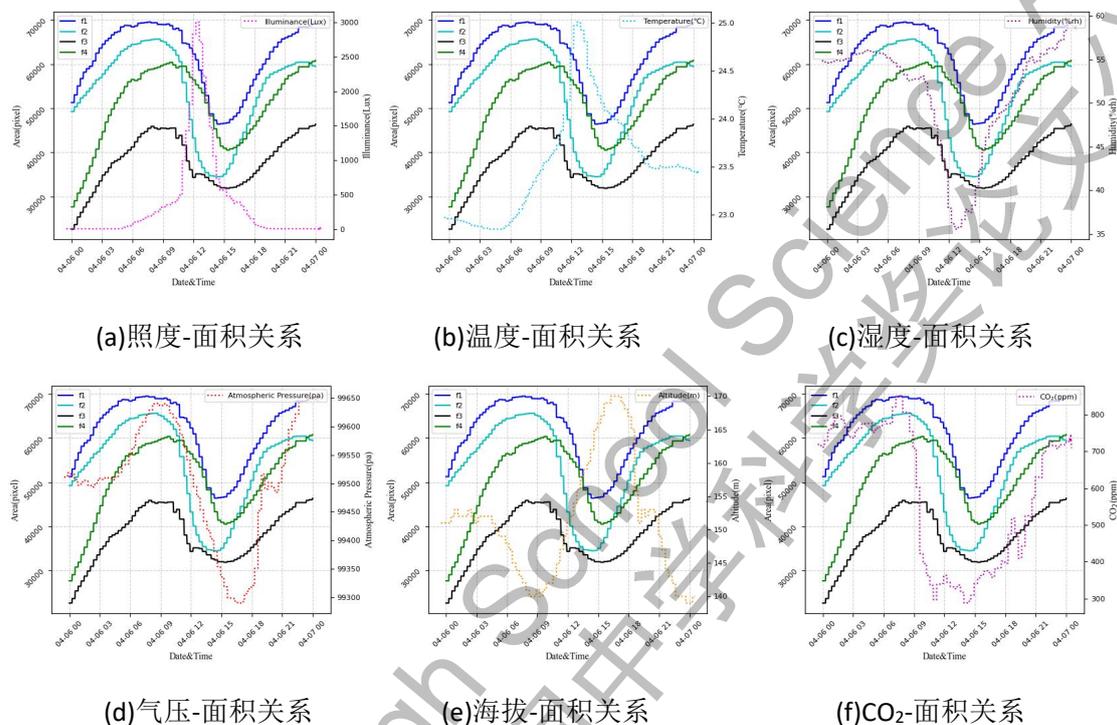


图 8.5 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 对“红黄色 RY”正面长寿花面积影响

图 8.6 仍然给出了照度对“红黄色 RY”长寿花昼夜生长形态（以面积表示）的影响情况。

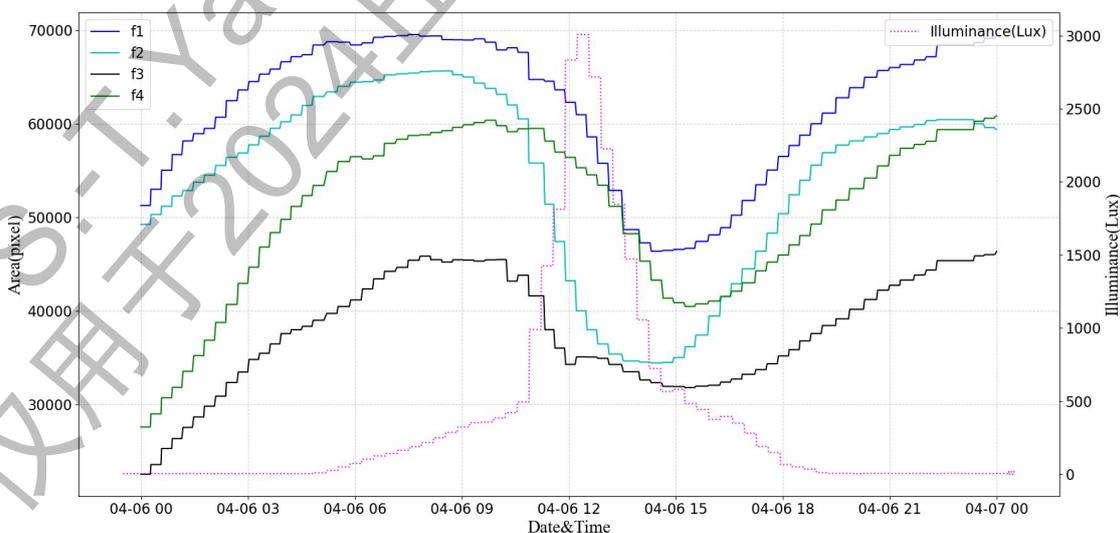


图 8.6 照度对“红黄色 RY”正面长寿花面积影响

### 8.1.3 “红色 R1” 长寿花——2\*24 小时实验

取“红色 R1”长寿花数据集 2\*24 小时图像采集时间段为 2024 年 5 月 1 日 9:30 至 5 月 3 日 9:30，共 764 幅图像。图 8.7 所示为面积最大和最小时间点的图像。数据集中共 2 个目标，①为正面图像，可以用分割面积表示其生长形态变化；②为侧面图像，可以用检测框对角线长度表示其生长形态变化。因此，“红色 R1”长寿花重点观察目标①②的生长形态随环境因素变化情况。



图 8.7(a) “红色 R1” 长寿花 2\*24 小时内面积最大时刻（5 月 2 日 7:58）图像



图 8.7(b) “红色 R1” 长寿花 2\*24 小时内面积最小时刻（5 月 2 日 16:26）图像

图 8.8 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“红色 R1”正

面图像长寿花面积的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度、温度变化与长寿花面积变化有一定的相关性；湿度、CO<sub>2</sub>是否有相关性需进一步观察；气压、海拔与长寿花面积变化无明显联系。

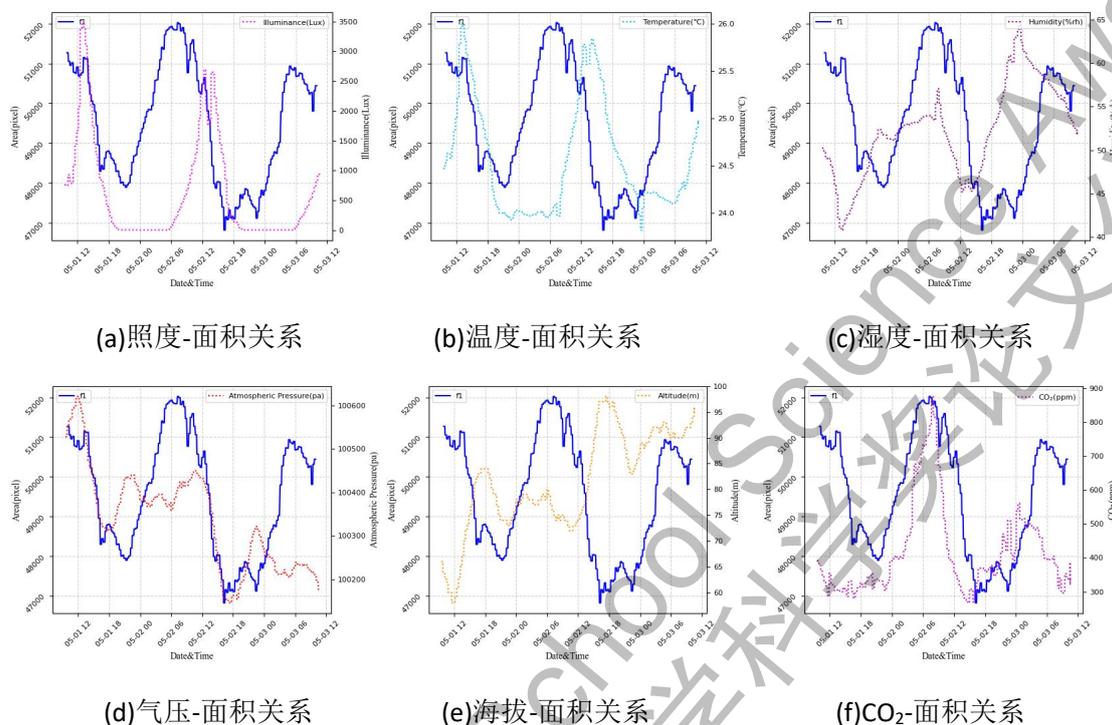


图 8.8 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>对“红色 R1”正面长寿花面积影响

图 8.9 给出了照度对“红色 R1”正面长寿花昼夜生长形态（以面积表示）的影响情况。

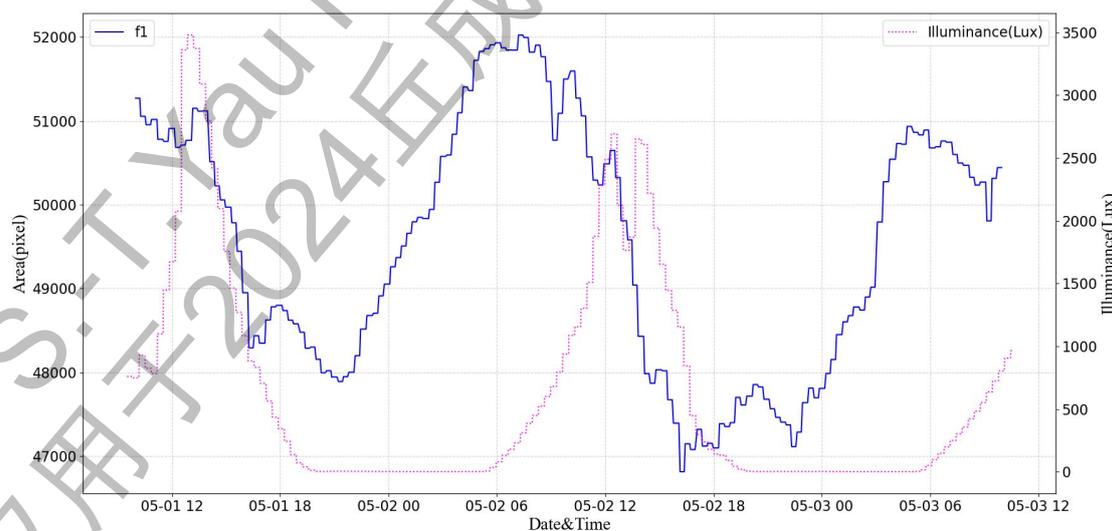


图 8.9 照度对“红色 R1”正面长寿花面积影响

图 8.10 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>等环境参数对“红色 R1”侧

面图像长寿花检测框对角线长度的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度、温度变化与长寿花对角线长度变化有一定的相关性；湿度、CO<sub>2</sub>是否有相关性需进一步观察；气压、海拔与长寿花对角线变化无明显联系。

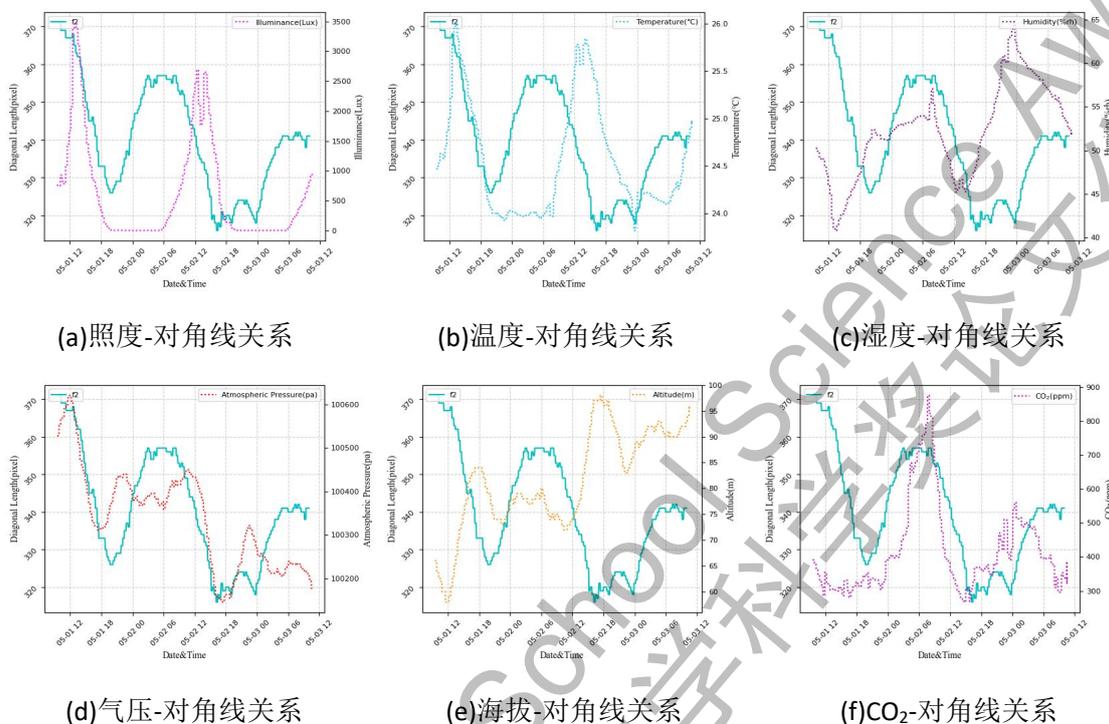


图 8.10 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>对“红色 R1”侧面长寿花对角线影响

图 8.11 给出了照度对“红色 R1”长寿花昼夜生长形态（以检测框对角线长度表示）的影响情况。

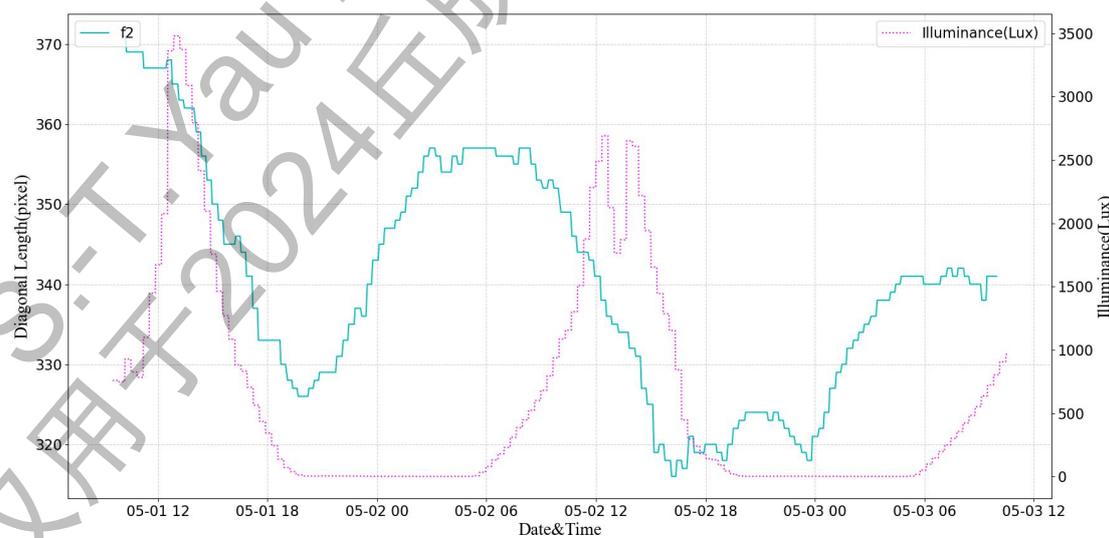


图 8.11 照度对“红色 R1”侧面长寿花对角线长度影响

#### 8.1.4 “粉色 Pi” 长寿花——3\*24 小时实验

取“粉色 Pi”长寿花数据集 3\*24 小时图像采集时间段为 2024 年 5 月 16 日 22:25 至 5 月 19 日 23:33，共 1044 幅图像。图 8.7 所示为 5 月 17 日 0 点、12 点，5 月 18 日 0 点、12 点，5 月 19 日 0 点、12 点、23:20 的图像。数据集中共 7 个目标，①为正面图像，可以用分割面积表示其生长形态变化；②③④⑥为侧面图像，可以用检测框对角线长度表示其生长形态变化；⑤⑦介于两者之间，经分析数据，也列为侧面图像。由数据集图像观察可知，目标⑥后期生长缓慢是因为花期临近结束，故形态变化小。因此，“粉色 Pi”长寿花重点观察除⑥外其他目标的生长形态随环境因素变化情况。





图 8.12 “粉色 Pi”长寿花 3\*24 小时图像

图 8.13 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“粉色 Pi”正面图像长寿花面积的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度变化与长寿花面积变化趋势高度相关；温度也与长寿花面积变化有较好的相关性；湿度需继续观察；气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等参数与长寿花面积变化无明显联系。

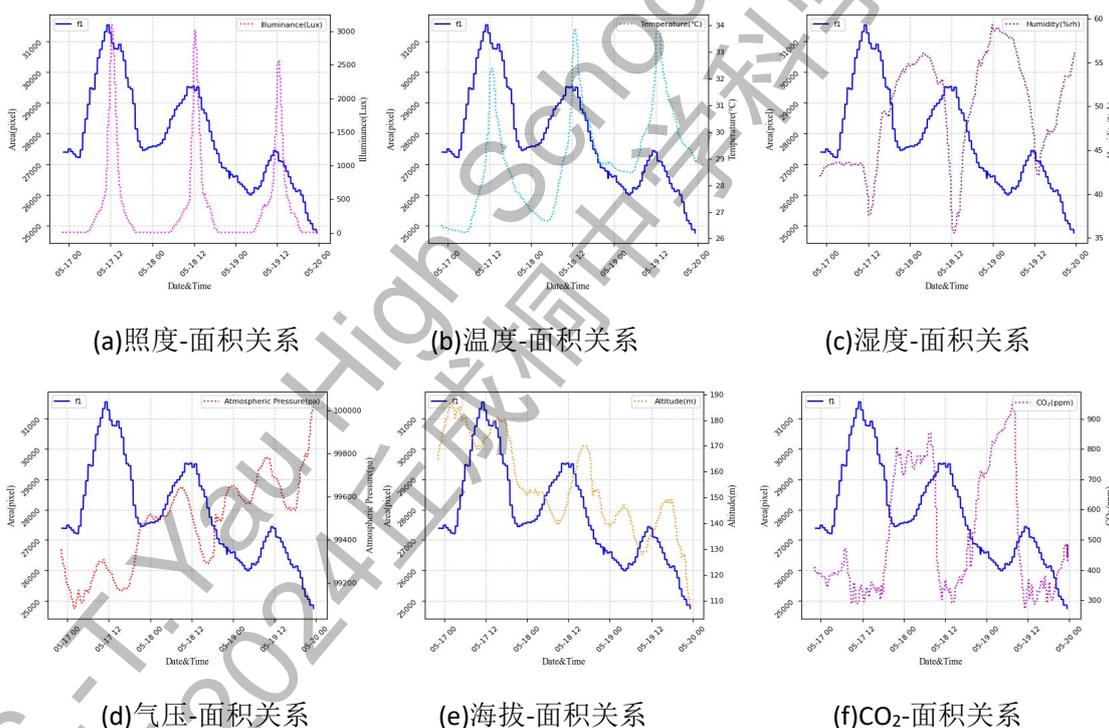


图 8.13 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 对“粉色 Pi”正面长寿花面积影响

图 8.14 给出了照度对“粉色 Pi”长寿花昼夜生长形态（以面积表示）的影响情况。该图可以清晰观察到两者之间的相关性。

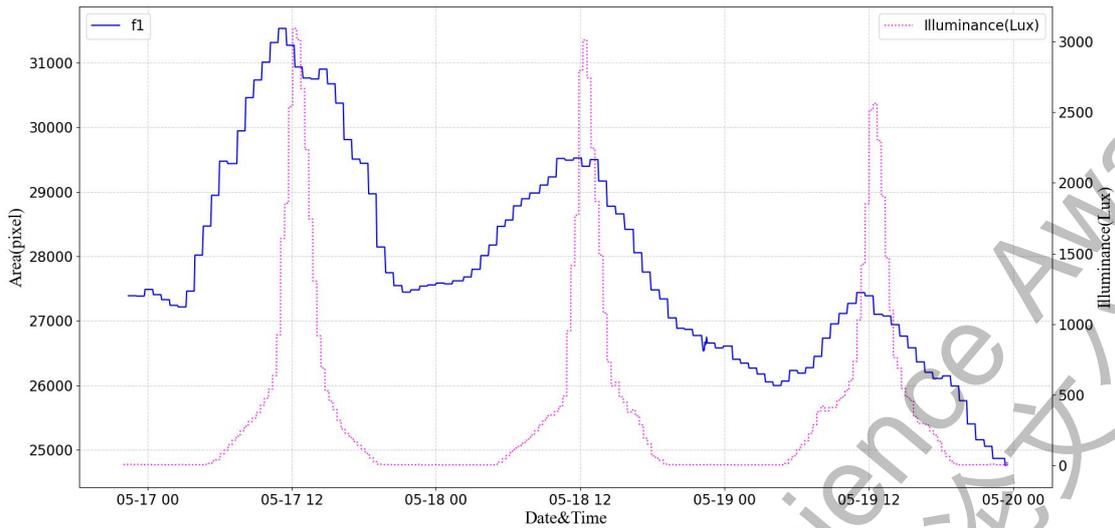


图 8.14 照度对“粉色 Pi”正面长寿花面积影响

图 8.15 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“粉色 Pi”侧面图像长寿花检测框对角线长度的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度变化与长寿花对角线变化趋势高度相关；温度也与长寿花对角线变化有较好的相关性；湿度需继续观察；气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等参数与长寿花对角线变化无明显联系。

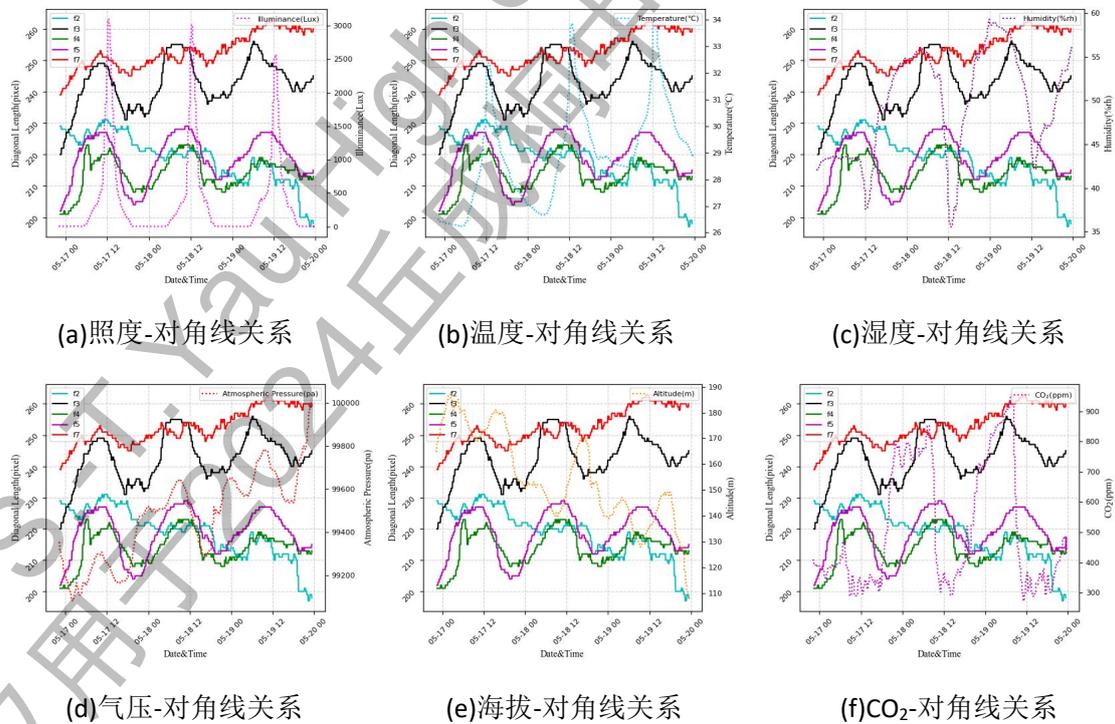


图 8.15 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 对“粉色 Pi”侧面长寿花对角线影响

图 8.16 给出了照度对“粉色 Pi”长寿花昼夜生长形态（以检测框对角线长

度表示)的影响情况。

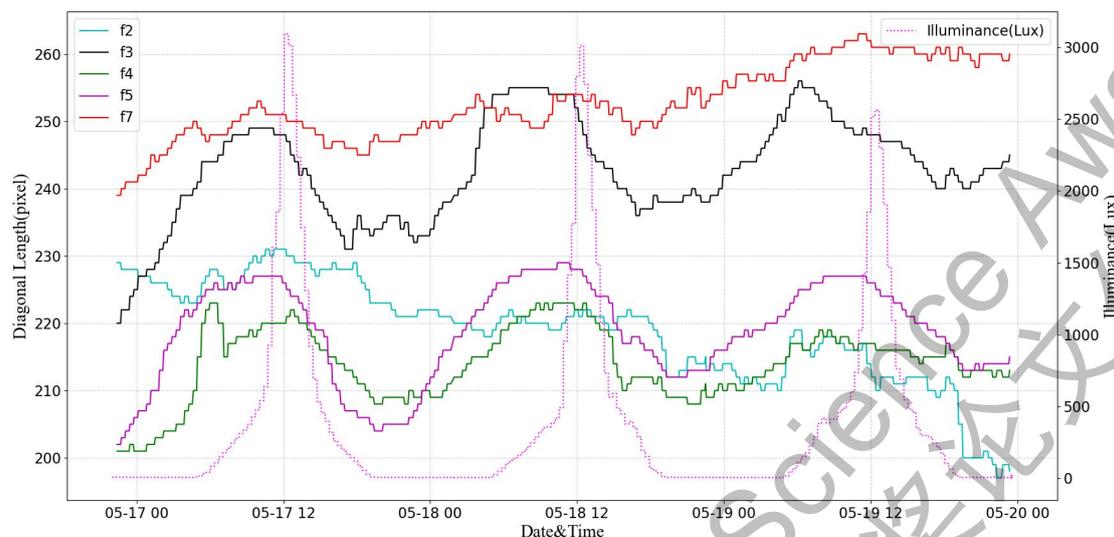


图 8.16 照度对“粉色 Pi”侧面长寿花对角线长度影响

### 8.1.5 “红色 R2”长寿花——5\*24 小时实验

取“红色 R2”长寿花数据集图像采集时间段为 2024 年 5 月 4 日 17:32 至 5 月 10 日 00:03, 共 1695 幅图像。图 8.17 所示为起始和结束图像。数据集中共 9 个目标, 其中目标①、②、⑦、⑨是正面图像, 可以用分割面积表示其生长形态变化; 目标③、④、⑤、⑥、⑧是侧面图像, 可以用检测框对角线长度表示。另, 目标①全程面积变化较小, 可能是由于其运动导致姿态变化, 在一定程度上抵消了图像中面积的变化。因此, “红色 R2”长寿花重点观察除目标①外的其他全部目标的生长形态随环境因素变化情况。

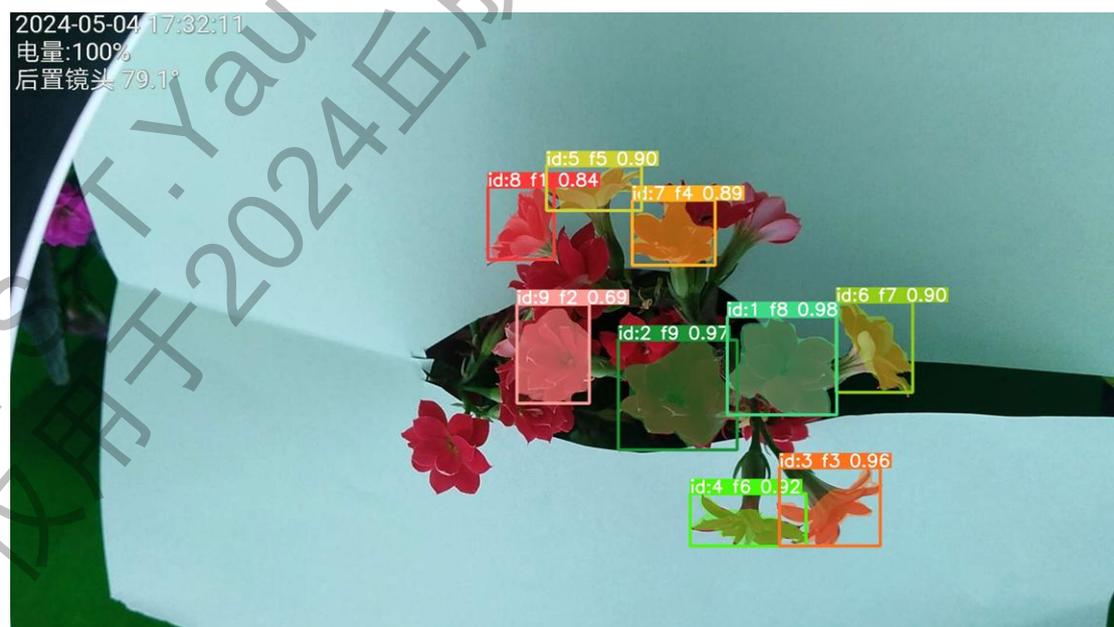


图 8.17(a) “红色 R2”长寿花 5\*24 小时内起始时刻 (5 月 4 日 17:32) 图像

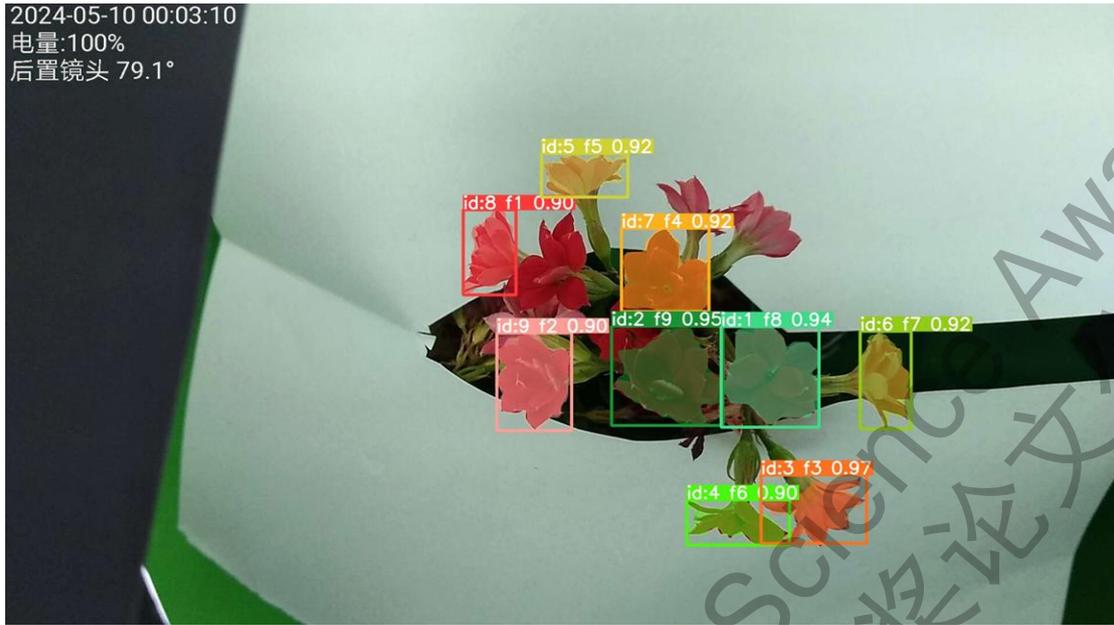


图 8.17(b) “红色 R2” 长寿花 5\*24 小时内结束时刻（5 月 10 日 0:03）图像

图 8.18 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“红色 R2”正面图像长寿花面积的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度变化与长寿花面积变化趋势高度相关；温度也与长寿花面积变化有较好的相关性；湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等参数与长寿花面积变化无明显联系。5 月 5 日光照强度较低是为避免手机受太阳直射发热而将长寿花及实验系统远离窗口导致，数据表明虽光强减弱，但长寿花周期性开合现象依然发生；5 月 5 日至 7 日 CO<sub>2</sub> 浓度数值明显偏高是由于传感器参数配置问题导致，因此该数据不应采信。

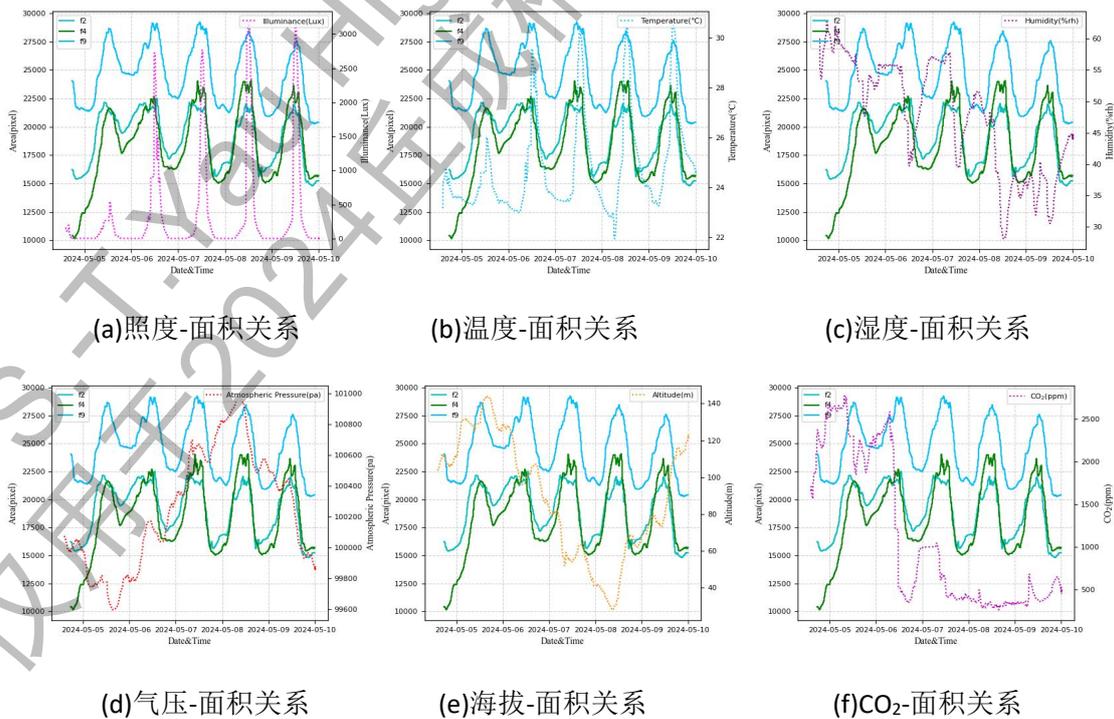


图 8.18 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 对“红色 R2”正面长寿花面积影响

图 8.19 给出了照度对“红色 R2”长寿花昼夜生长形态（以面积表示）的影响情况。该图可以清晰观察到两者之间的相关性。

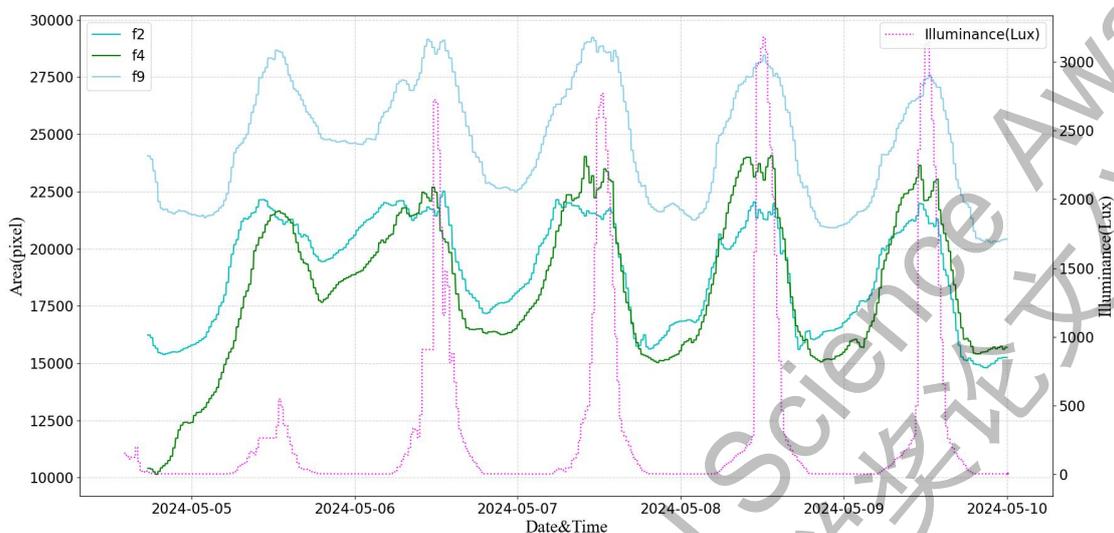
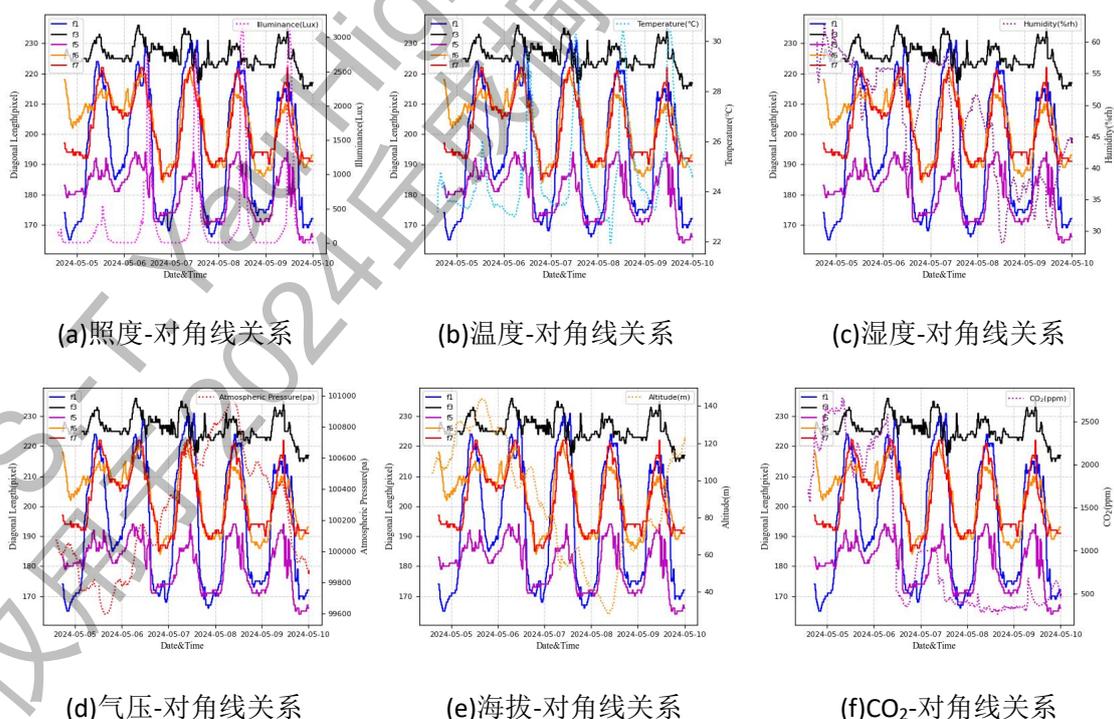


图 8.19 照度对“红色 R2”正面长寿花面积影响

图 8.20 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“红色 R2”侧面图像长寿花检测框对角线长度的影响。可以看出，长寿花生长存在昼夜周期性开合现象；光照强度变化与长寿花面积变化趋势高度相关；温度与长寿花面积变化有较好相关性；湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等参数与长寿花面积变化无明显联系。



(a)照度-对角线关系

(b)温度-对角线关系

(c)湿度-对角线关系

(d)气压-对角线关系

(e)海拔-对角线关系

(f)CO<sub>2</sub>-对角线关系

图 8.20 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 对“红色 R2”侧面长寿花对角线影响

图 8.21 给出了照度对“红色 R2”长寿花昼夜生长形态（以检测框对角线长度表示）的影响情况。该图可以清晰观察到两者之间的相关性。

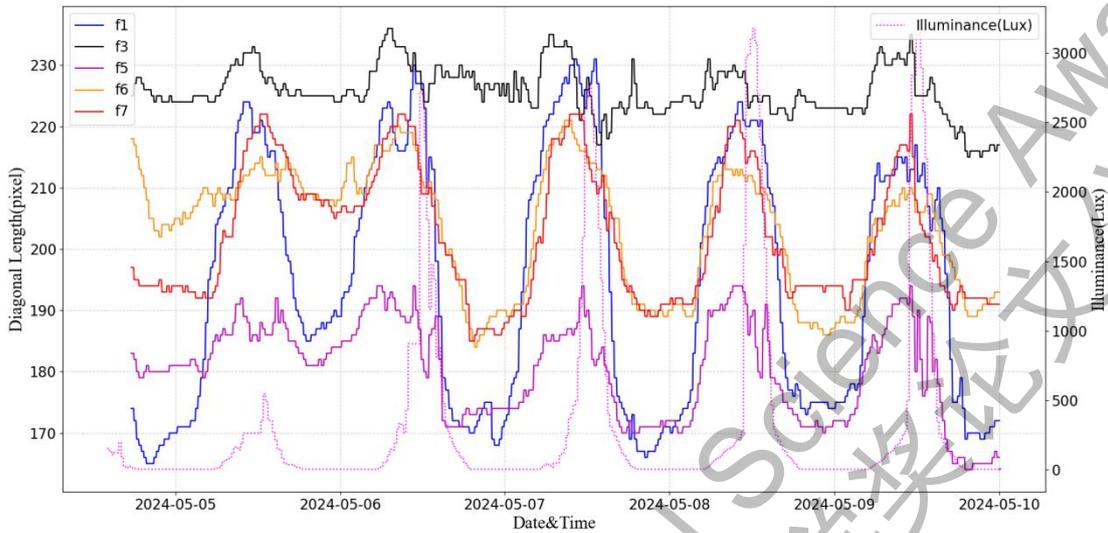


图 8.21 照度对“红色 R2”侧面长寿花对角线长度影响

#### 8.1.6 “黄色 Y”长寿花——5\*24 小时实验

取“黄色 Y”长寿花数据集图像采集时间段为 2024 年 6 月 2 日 13:43 至 6 月 7 日 03:19，共 2014 幅图像。图 8.22 所示为起始、结束图像以及期间各天 0 点、12 点图像。数据集中共 2 个目标，目标①是正面图像，可以用分割面积表示其生长形态变化；目标②是侧面图像，可以用检测框对角线长度表示。由数据集图像观察可知，目标②后期生长缓慢是因为花期临近结束，故形态变化小。因此，“黄色 Y”长寿花重点观察目标①的生长形态随环境因素变化情况。



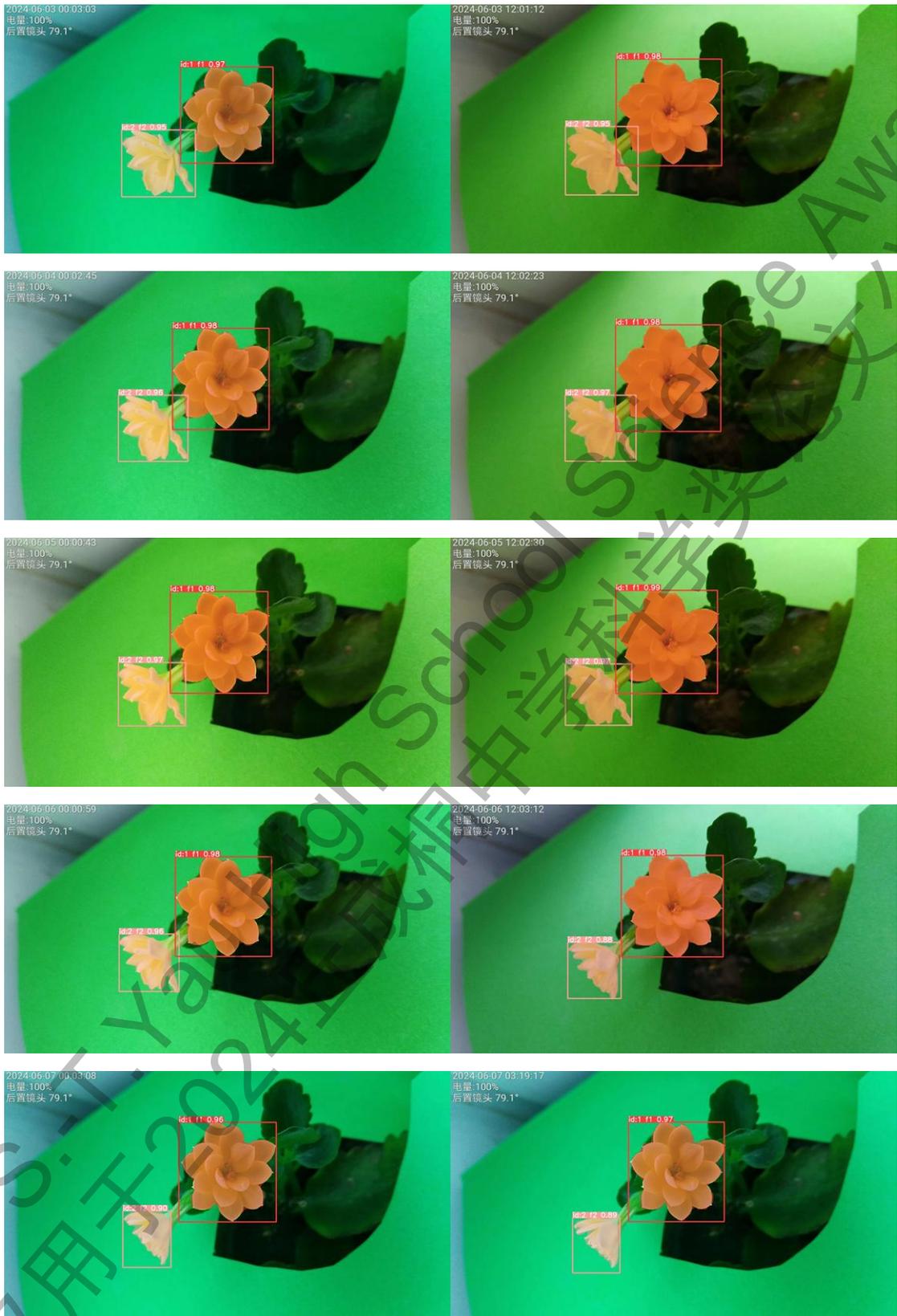


图 8.22 “黄色 Y” 长寿花 5\*24 小时图像

图 8.23 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub> 等环境参数对“黄色 Y”正面图像长寿花面积的影响。可以看出，光照强度变化与长寿花面积变化趋势高度

相关；温度也与长寿花面积变化有较好的相关性；湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>等参数与长寿花面积变化无明显联系。

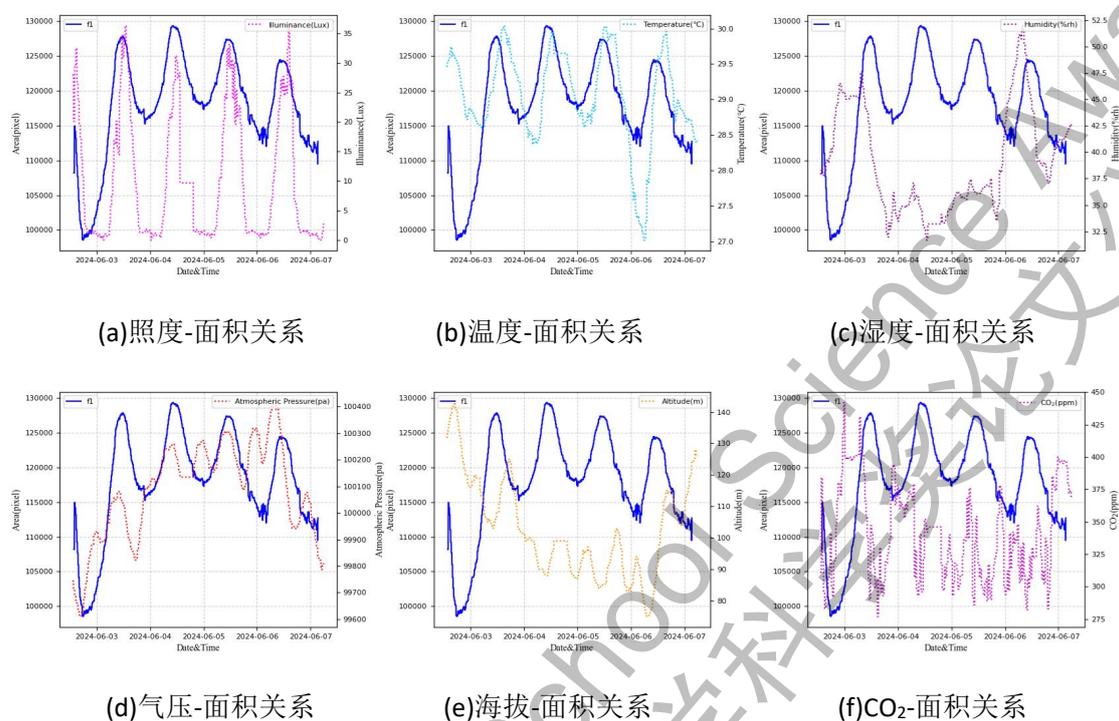


图 8.23 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>对“黄色 Y”正面长寿花面积影响

图 8.24 给出了照度对“黄色 Y”长寿花昼夜生长形态（以面积表示）的影响情况。该图可以清晰观察到两者之间的相关性。

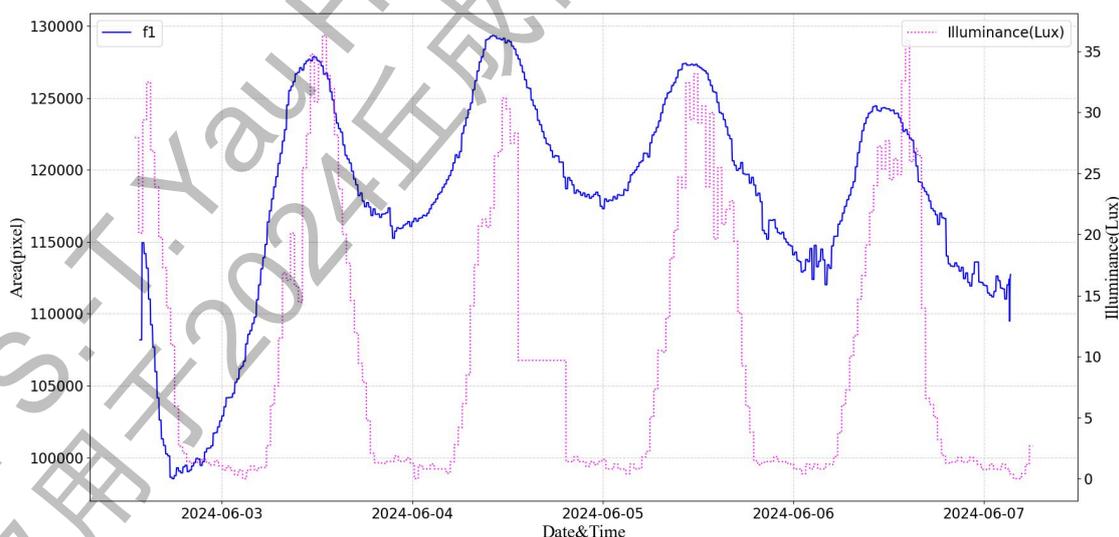


图 8.24 照度对“黄色 Y”正面长寿花面积影响

图 8.25 为照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>等环境参数对“黄色 Y”侧面图像长寿花对角线长度的影响。可以看出，虽然该目标长寿花花期临近结束，

但在前几天，光照强度变化仍与长寿花对角线长度变化趋势有较强的相关性；温度也与长寿花对角线长度变化有较强的相关性；湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>等参数则与长寿花对角线长度变化无明显联系。

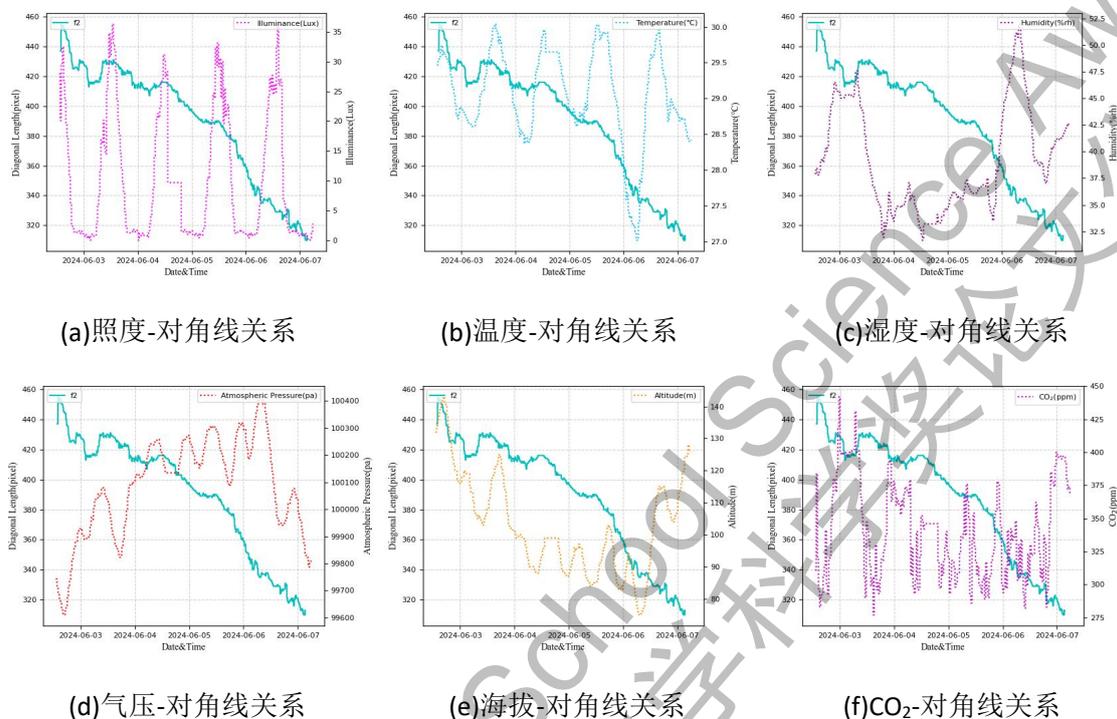


图 8.25 照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>对“黄色 Y”侧面长寿花对角线影响

图 8.26 给出了照度对“黄色 Y”长寿花昼夜生长形态（以对角线长度表示）的影响情况。该图能够在一定程度上观察到两者之间的相关性。

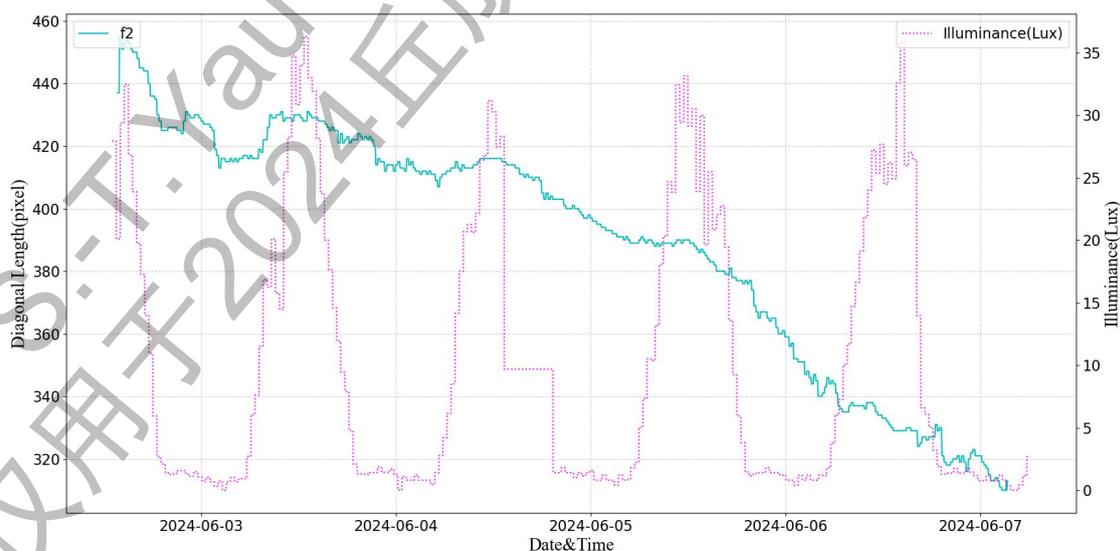


图 8.26 照度对“黄色 Y”侧面长寿花对角线影响

## 8.2 数据分析

上述 6 个长寿花生长形态观察实验的数据汇总如表 8.2 所示。由表可知，在本文所设定的实验条件下，长寿花生长形态昼夜开合现象与光照强度、环境温度有较大相关性，与环境湿度、大气压力、海拔以及 CO<sub>2</sub> 浓度无关联性。以下逐一分析。

表 8.2 长寿花昼夜生长形态观察实验数据汇总表

数据集	观察周期 (天)	目标数量 (朵)	周期开合现象	特殊情况	形态指标	环境参数-昼夜开放形态相关性 (√:相关, ×:不相关, ?:不确定)					
						照度	温度	湿度	气压	海拔	CO <sub>2</sub>
白紫 WP	1	1	有	无	面积	√	√	?	×	×	×
红黄 RY	1	4	有	正在长大	面积	?	?	?	?	?	?
红色 R1	2	2	有	无	面积	√	√	?	×	×	?
					对角线	√	√	?	×	×	?
粉色 Pi	3	7	有	⑥号临近花期结束	面积	√	√	?	×	×	×
					对角线	√	√	?	×	×	×
红色 R2	5	9	有	CO <sub>2</sub> 数据错误	面积	√	√	×	×	×	-
					对角线	√	√	×	×	×	-
黄色 Y	5	2	有	②号临近花期结束	面积	√	√	×	×	×	×
					对角线	√	√	×	×	×	×

### 8.2.1 照度、温度

由表 8.2 及 8.1 节实验可知，光照强度、环境温度与长寿花生长形态昼夜周期性开合现象都有较大相关性。是两者的共同作用，还是某一项发挥了主导作用？

对于光照强度，根据 2.1 节分析可以推断光照强度的周期性变化，即光周期，应该是长寿花发生昼夜周期性绽放和收缩现象的主要原因。8.1 节共 6 组实验，除“红黄色 RY”组因目标花朵处于初花期正在逐渐长大，导致其开合周期小于 24 小时外，其余 5 组实验长寿花昼夜形态变化均近似以 24 小时为周期，且与光照强度昼夜变化具有强关联性。

对于环境温度，我们知道，长寿花适合的生长温度为 15~25℃，夏季温度应低于 30℃，冬季室温在 12~15℃<sup>[35]</sup>。即在适宜的温度条件下，长寿花均可以正常生长。本文中 6 组实验，温度范围依次为 [21.5, 24.1]℃、[22.8, 25.0]℃、[23.8, 26.0]℃、[26.2, 34.0]℃、[21.9, 30.6]℃、[27.0, 30.0]℃。根据实验数据，在不同温度情况下，长寿花均存在周期性开合现象。6 组实验中，温度也随着昼夜及光照的周期性变化而呈现周期性升降，这是导致我们在各组实验中“温度-面积关系”或“温度-对角线关系”图中也观察到长寿花生长形态和温度变化具

有关联性的原因。其实质依然反映了光照强度对长寿花昼夜周期性开合的影响。

### 8.2.2 湿度

环境湿度与温度变化有一定关系，但其与长寿花昼夜周期性开合没有直接的关联性。湿度的变化会影响植物的蒸腾作用和光合作用。长寿花适合生长在湿度范围在 50%rh 至 70%rh 之间较为潮湿的环境中。

### 8.2.3 气压、海拔

大气压力和海拔是相互关联的，它们与长寿花昼夜周期性开合没有直接的关联性。在我国南方或北方，长寿花都可以良好地生长，尤其是在北方地区，由于室内温度相对适宜，冬季也可以正常养殖。

### 8.2.4 CO<sub>2</sub> 浓度

对于 CO<sub>2</sub> 浓度，它与长寿花昼夜周期性开合没有直接的关联性。当环境 CO<sub>2</sub> 体积分数升高到 1%~10%时，植物的呼吸作用会被明显抑制。本文中，长寿花在室内靠窗生长，且定期开窗通风，所测得的 CO<sub>2</sub> 浓度通常低于 900ppm。

## 8.3 实验结论

《植物生理学》对植物蒸腾作用、光合作用、呼吸作用三大基本生理过程受光照、温度的影响进行了详细介绍<sup>[6]</sup>。如图 8.27 所示，我们再次列出“红色 R2”、“黄色 Y”两个 5 天的实验结果。基于本文实验结果及植物生理学知识，我们可以得出结论——在本文条件下，光照强度的周期性变化是导致长寿花生长形态昼夜周期性变化的主要因素。

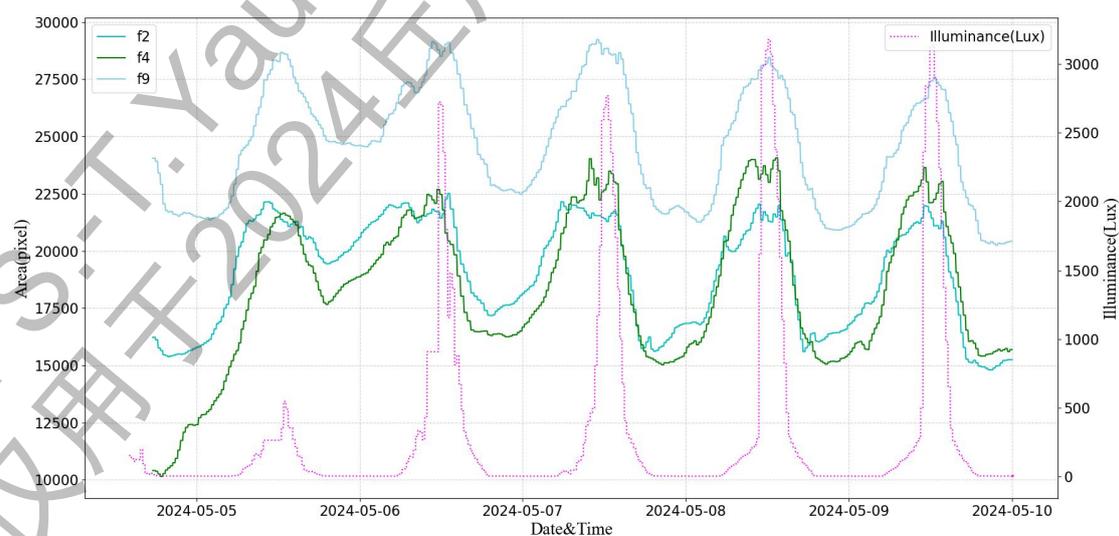


图 8.27(a) 照度对“红色 R2”正面长寿花面积影响

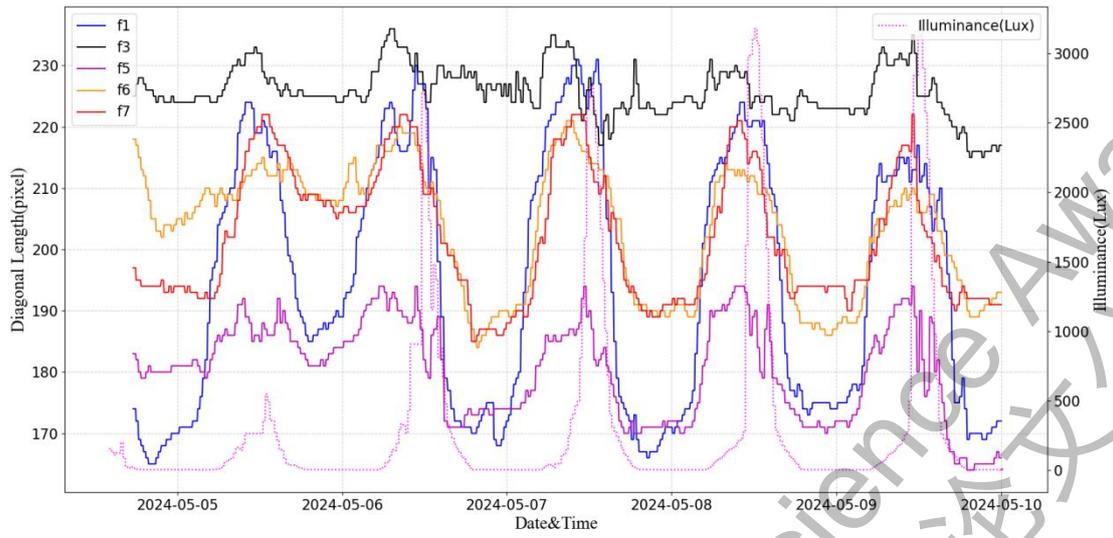


图 8.27(b) 照度对“红色 R2”侧面长寿花对角线长度影响

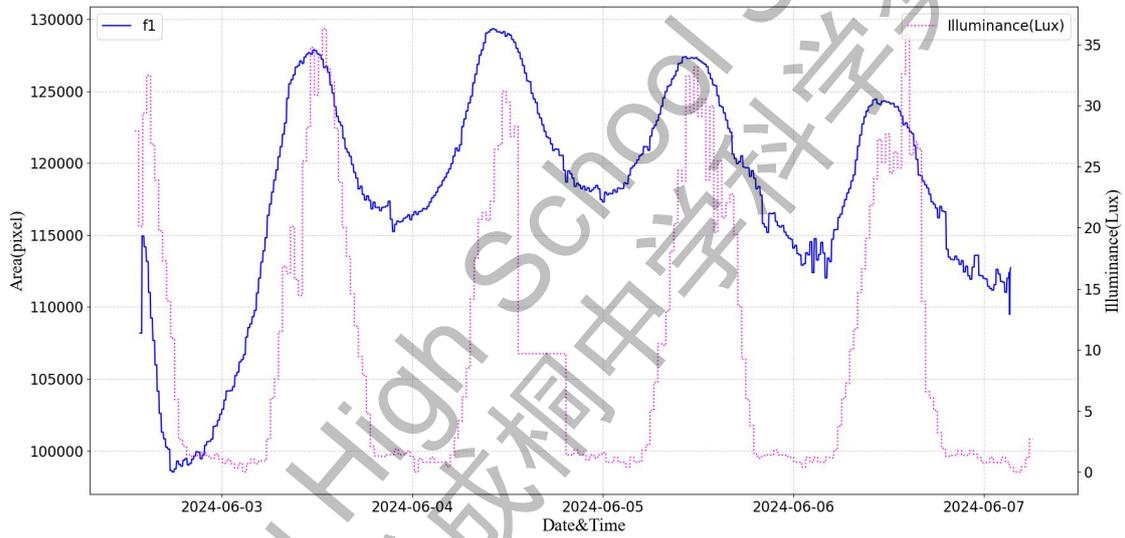


图 8.27(c) 照度对“黄色 Y”正面长寿花面积影响

## 第九章 讨论

通过查阅资料、系统设计、实验研究，我们确定在本文实验条件下，长寿花生长形态昼夜周期性变化主要是由于光照强度周期性变化引起的。我们进一步深入讨论本文研究的创新以及未来可能的提升、应用。

### 9.1 研究意义及创新点

本文以家养长寿花为研究对象，设计并搭建长周期 (>3 天) 长寿花生长环境参数及昼夜生长形态采集系统，建立了“时刻—生长形态—环境参数”之间的定量关系并最终确定了光照强度为长寿花生长形态昼夜周期性变化的主要影响因素。本文创新点如下。

(1) 搭建了一套以“传感器+手机视频服务器”作为联网设备，以笔记本作为采集主控制器的“长周期植物生长环境参数及昼夜生长形态采集系统”，辅以可控照明，实现了长寿花多维度生长信息的昼夜定期、高质量、长周期采集。

(2) 制定了利用自主采集数据建立长寿花生长信息（照度、温度、湿度、气压、海拔、CO<sub>2</sub>、图像）数据库的方法，并通过数据增强方式进一步丰富了深度学习图像信息，通过滤波算法有效提升了环境信息的可用性。

(3) 基于 YOLO 自训练模型，采用多目标跟踪及实例分割方法，克服长寿花自身生长以及由向性运动及感性运动带来的位置移动问题，实现了目标长寿花生长形态关键指标（分割面积/检测框对角线长度）的有效提取。

(4) 与多数研究重点关注长寿花完整成长过程不同，本文立足研究长寿花开放形态在昼夜 24 小时内的可量化细微变化，并基于实验分析及文献调研，提出了光照强度是长寿花生长形态昼夜周期性变化的主要影响因素。

### 9.2 系统如何进一步提升

本文展示了长寿花 1~5 天昼夜生长形态变化及环境参数情况，考虑到未来可能的应用，系统还可以在以下方面进一步提升。

#### 9.2.1 功能

(1) 获取更多信息。根据图 2.5，为更细致准确研究花卉生长影响因素，我们可以增设土壤（氮磷钾/pH 值/电导率/温度/湿度）、叶绿素、风速/风向等传感器，还可以增加花卉整体和不同角度图像，并保留其他传感器的接入能力。

(2) 丰富软件功能。增加多品种、全周期的花卉生长过程数据库建立；株高、冠幅、分枝、花蕾、色泽、形态等花卉生长关键信息统计分析；花卉生长态

势判断、病虫害自动识别；浇水、增肥、通风、施药等控制功能。

### 9.2.2 精度

(1) 数据预处理。采用 Pandas 等数据处理模块自动补充部分因传感器故障缺失的数据；对图像做更精细的标注。

(2) 算法提升。尝试更多的滤波算法以提升环境数据精度；采用 YOLO 系列其他模型提升分割精度；采用 Meta 的 Segment Anything Model 等方法提升分割精度；采用 YOLO-Pose 方法，提取花瓣关键点，用以评价花朵姿态变化和开合状况。

### 9.2.3 速度

(1) 降低采样频率。考虑花卉生长是缓变过程，可以降低环境数据的采样频率，以减少数据量。

(2) 减少训练样本。考虑花卉生长是缓变过程，在保证识别率和精度前提下，可以尝试减少训练样本数量以缩短训练时间。

### 9.2.4 可靠性

(1) 传感器。使用更可靠的传感器；在软件中增加异常处理。

(2) 旧手机。使用专业的图像采集设备；在软件中增加异常处理。

### 9.2.5 适用性

(1) 减少连线。通过采用无线传输方式，减少传感器连线数量。

(2) 便于现场使用。采用支持深度学习的嵌入式设备，代替现有“传感器+旧手机+笔记本+网络通讯”模式，利于现场布设。

### 9.2.6 原理解释

2024 年, W. W. 研究了离体长寿花叶片正面、背面花青素含量和成分受光照影响而发生变化的情况<sup>[11]</sup>。长寿花的昼夜周期性变化, 是否也与其正面、背面某些成分随光照强度不同发生变化所导致? 这需要更加深入的研究。

## 9.3 潜在的应用

本文尝试利用传感器和人工智能技术, 分析和寻找影响长寿花生长形态昼夜周期性变化的主要环境因素。该应用可以抽象为①固定的环境、②明确的目标、③可定义的变化(缓变/突变)。当满足以上条件时, 利用相关技术均有望获得较好的结果。以下列出几种潜在应用。

### 9.3.1 植物生长档案系统

本文 2.1 节引用了中国科学院植物研究所李敏教授在植物识别领域相关的工

作及未来展望<sup>[17]</sup>。我们所做的工作，符合李教授提出的“为每一个重要的植物物种建立一个独特的档案，促进全球、长期、动态的植物多样性监测和保护网络，并配备智能识别机制”的未来愿景。将本文相关技术从长寿花拓展到“重要的植物物种”，建立专业的“植物生长档案系统”，是作者未来努力的方向。

### 9.3.2 “植物宠物”

与动物相比，植物的观赏性多而互动性少。在获取植物信息基础上，我们可以把植物作为一个拟人化交互的载体，将真正有生命的植物和 ChatGPT 等聊天工具结合，增加植物的互动性、娱乐性和科普性，成为植物宠物。结合图像信息，我们还可以实现远程虚拟化交互。围绕植物宠物，我们还可以拓展养殖指导、病虫害治疗、短期托管以及网络销售等服务。

### 9.3.3 动物生长档案系统

对于固定环境养殖的动物，如鱼、龟、鸟、兔、猫、狗等，完全可以按照本文的方法构建生长档案系统。也可以打造动物宠物的“增强版交互系统”，即在数据采集和模型训练的基础上，结合不同动物的特点，为其实现拟人化的交互效果。

### 9.3.4 老幼、病人监护

对于新生儿、老人或卧床病人，利用本文的技术，在保护隐私的前提下，也可以实现特定的姿态、动作识别，结合环境信息，我们可以实现针对性地协助和支持。同时也可以保留部分幼儿珍贵的成长记录。

### 9.3.5 固定场所危险源识别

对于固定场所，通过建立适合的危险源监测模型，可以有效辨识特定的危险源并发出预警。

以上应用，均可以在现有长寿花昼夜生长形态变化观察系统架构的基础上，通过调整传感器，加载新的训练模型，结合使用场景的特点和规则进行推理实现。

## 9.4 收获与成长

经过6个月的努力，我们回答了开篇的4个问题，本文的研究也告一段落。回想过去的工作，不禁有些疑惑。我们是不是“把简单的事情搞复杂了”？如图9.1所示，要想得到本文的结论，是否只用一支笔、一张纸、一把直尺和一块表就可以完成，还是需要搭建本文的系统？

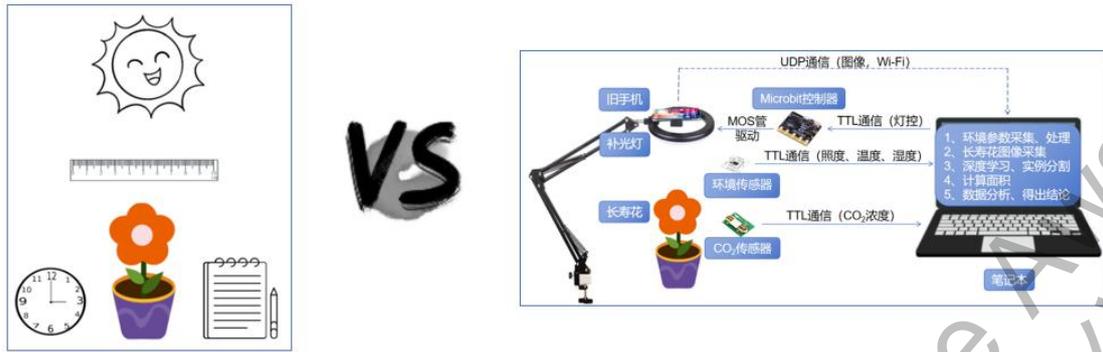


图 9.1 人工测量 VS 本文系统

#### 9.4.1 科技发展

在文献调研过程中，我们分别找到了最早 1954 年，最晚 2024 年研究光周期对长寿花生长影响的论文，在这 70 年的时空跨越过程中，研究目标、深度、方法、工具等都发生了巨大的变化，也印证了人类探索未知奥秘的决心和能力。

传感器、计算机、人工智能等技术的飞速发展，赋予了我们太多的可能性，使我们有机会拓宽视野和加深认知。本文也正是基于这些技术实现了长寿花昼夜生长形态变化过程参数的全程测量。

在实验过程中，我们也曾尝试利用摄像机 24 小时拍摄图像并在后期人工处理图片，还曾经利用手持式叶绿素分析仪进行测量，无奈测量精度、测量工作强度、后期处理工作强度以及系统的可复制性都大大限制了实验的进行。利用新的科学技术，虽然做了一定的工作，但本文设计了一种可复制的体系，既达到了实验的目的，又可以根据需求有效拓展，一劳永逸。

7 月 2 日，中国科学技术协会发布了 2024 十大前沿科学问题，第四项是中国农学会提出的“作物高光效的生物学基础”，其意义在于“通过揭示作物高光效的生物学基础，创建高光效育种技术，提升光合作用效率，从根源上提升粮食单产具有巨大潜力，对保障我国粮食安全具有重大意义。”我看到相关的报道，虽然并不理解具体的研究内容，但内心备受鼓舞。希望未来我也能有机会参与类似的研究，为人类谋福祉。

#### 9.4.2 严谨认真

老师经常提醒学数学“步骤要严谨，解题要认真”。在本文实验的过程中，我更深切体会到严谨认真的态度是研究的基础，更是成功的保障。每一个实验设计，每一根接线，每一行代码，每一笔标注，每一次计算，每一个图注……每一个环节，如果不严谨、不认真，最终很难有正确的结果。

#### 9.4.3 直面困难

实验过程遇到了很多困难，经过努力最终逐一解决。

(1) 环境数据最初是基于 Microbit 平台直接采集 DHT11 温湿度传感器、BH1750 光照传感器、BMP280 气压传感器数据。Microbit 平台简单易用，但传感器数据经常莫名其妙发生错误，甚至丢失数据，无法完成长时间数据采集。经过咨询指导老师，调研后选择了 GY-39 传感器，彻底解决了问题。

(2) CO<sub>2</sub> 传感器发生故障，采集到的浓度明显偏高，在厂家的指导下重新设置参数，数据恢复正常。

(3) Python 编程虽然我有一定基础，但对整个系统实现来说还远远不够。《Python 快速入门与实战》、《Python OpenCV 从入门到精通》等书籍的学习，使我逐渐找到了编程的感觉。特别是百度提供的代码自动生成功能，大大提高了编程的速度，也让我再次感觉到人工智能巨大的潜力。

(4) 人工智能、YOLO 算法对我是巨大的挑战。在老师的指导下，我阅读了《YOLO 目标检测》，同时在 Github、csdn 网站上搜索了大量的实例资料。当实验结束，虽然算法深层次的内容我仍无法了解，但感觉 YOLO 模型作为工具使用是非常容易上手的。

#### 9.4.4 坚持到底

漫长的 6 个月，家里的长寿花一盆接一盆都凋谢了，而我在搭建系统、编写程序、开展实验、数据分析中不断地成长。感谢老师给我的帮助，感谢家人给我的鼓励，能让我坚持到底，最终取得了比较理想的结果。

#### 9.4.5 享受快乐

短暂的 6 个月，长寿花从含苞待放到花团锦簇，再到凋零磨灭，每天的开合更像是一次长达 24 小时的呼吸，让我在时间的流逝中感受到了生命，而我的实验更像是对生命的记录，我在其中也享受到认真做好一件事的快乐。

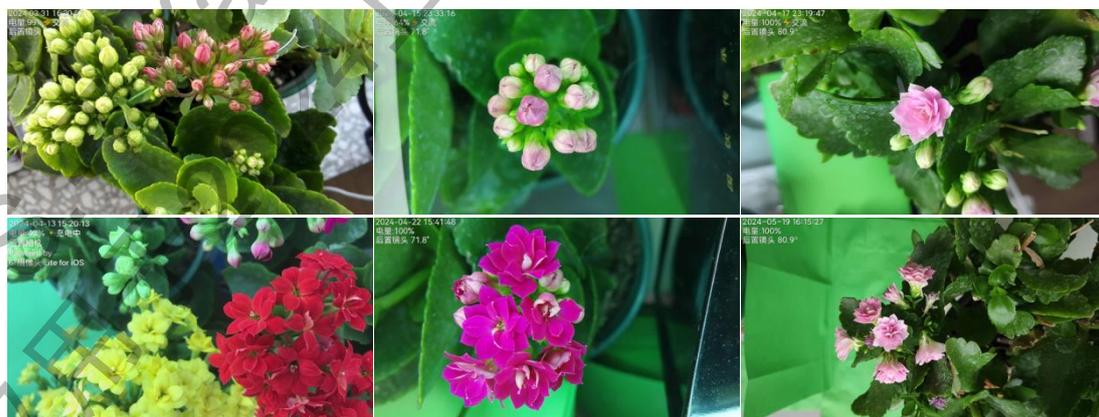


图 9.2 记录生命

## 参考文献

- [1] 中国花卉报. 人见人爱的长寿花, 寓意吉祥[EB/OL], [https://mp.weixin.qq.com/s?\\_biz=MjM5MjE2MjUONQ==&mid=2651402624&idx=2&sn=7f4e95fbf0e4f93e130aba2d3363c930&chksm=bd57e61e8a206f08433e6465c1c04521c1aa9364228f8946799cb71ccf732a9fcfbdf7640767&scene=27](https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MjM5MjE2MjUONQ==&mid=2651402624&idx=2&sn=7f4e95fbf0e4f93e130aba2d3363c930&chksm=bd57e61e8a206f08433e6465c1c04521c1aa9364228f8946799cb71ccf732a9fcfbdf7640767&scene=27)
- [2] 中国科学院植物研究所. 中国植物志——长寿花[EB/OL], <https://www.iplant.cn/info/Kalanchoe%20blossfeldiana>
- [3] 百度百科. CAM植物志[EB/OL], [https://baike.baidu.com/item/CAM%E6%A4%8D%E7%89%A9/447167?fr=ge\\_alainfo/Kalanchoe%20blossfeldiana](https://baike.baidu.com/item/CAM%E6%A4%8D%E7%89%A9/447167?fr=ge_alainfo/Kalanchoe%20blossfeldiana)
- [4] 李俊璋, 秦源等. 景天酸代谢植物分子生物学研究进展及应用潜力[J]. 园艺学报, 2022, 49(12): 2597-2610
- [5] 百度百科. CAM植物[EB/OL], [https://baike.baidu.com/item/CAM%E6%A4%8D%E7%89%A9/447167?fr=ge\\_ala](https://baike.baidu.com/item/CAM%E6%A4%8D%E7%89%A9/447167?fr=ge_ala)
- [6] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012
- [7] Spear I., Thimann K. V., Interrelation between CO<sub>2</sub> metabolism and photoperiodism in Kalanchoe. II. Effect of Prolonged Darkness and High Temperatures[J]. Plant Physiology, 1954, V29(5):414-417
- [8] Carvalho S. M. P., Almeida J., et al. Modelling visual quality of Kalanchoe blossfeldiana: influence of cultivar and pot size[J]. Plant Sciences, 2008
- [9] Amaki W., Kunii M., Effects of light quality on the flowering responses in Kalanchoe blossfeldiana[J]. Acta Hort. 1107. ISHS 2015, DOI 10.17660/ActaHortic. 2015.1107.38
- [10] 王羽, 鲁峻宏等. LED光周期对重瓣长寿花生长发育及生理特性的影响[J]. 照明工程学报, 2023, 34(5): 24-29
- [11] Wiczkowski W., Saniewski M., et al. Exposure to Light of the Abaxial versus Adaxial Side of Detached Kalanchoe blossfeldiana Leaves Affects Anthocyanin Content and Composition Differently[J]. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25, 2875. <https://doi.org/10.3390/ijms25052875>
- [12] Suarez-Lopez P., Wheatley K., et al. CONSTANS mediates between the circadian clock and the control of flowering in Arabidopsis[J]. Nature, 2001, 410: 1116-1120
- [13] 房迈莼, 王小菁等. 光对植物生物钟的调节[J]. 植物学通报, 2005, 22(2): 207-214
- [14] 柯美玉, 陈栩. 光对睡莲开花生物钟的调控作用研究[J]. 中国园艺文摘, 2018, 5: 21-25
- [15] 张家硕, 魏华等. 生物钟调控植物生长发育的研究进展[J]. 植物生理学报, 2022, 58(1): 3-12
- [16] 刘蓉. 糖果鸢尾花开放和闭合时间的遗传规律和生物钟调控[D]. 北京: 北京林业大学, 2022
- [17] Xie G., Li M., et al. FlowerMate 2.0: Identifying plants in China with artificial intelligence[J]. The Innovation, 2024, V5(4): 1-3
- [18] CSDN. 计算机视觉中的实例分割算法[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [19] CSDN. 多目标跟踪 MOT(Multiple Object Tracking)最全综述[EB/OL], <https://blog.csdn.net>

- [20]知乎. 几何图形面积公式的发展简史,从“海伦公式”到“高斯公式”[EB/OL], <https://zhuanlan.zhihu.com>
- [21]CSDN. GY39 气压, 温湿度, 光照强度传感器[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [22]百度文库. 红外二氧化碳模组传感器使用说明书 JX-CO2-102[EB/OL], <https://wenku.baidu.com>
- [23]什么值得买. 旧手机不要丢, 装个 App 能当多功能监控摄像头[EB/OL], <https://post.smzdm.com/p/a5k124z3/>
- [24]博客园. python 从网络摄像头获取 rstp 视频流并截取图片保存[EB/OL], <https://www.cnblogs.com/kn-zheng/p/17931967.html>
- [25]沈焱. IP Camera for Android[EB/OL], <https://www.shenyaocn.com>
- [26]电子发烧友. 目标检测算法 YOLO 的发展史和原理[EB/OL], <https://www.elecfans.com>
- [27]Ultralytics. YOLO[EB/OL], <https://docs.ultralytics.com>
- [28]CSDN. 深度学习评估指标之目标检测——(yolov5 可视化训练结果以及 result.txt 解析)[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [29]CSDN. 使用 YOLOv8 训练自己的【目标检测】数据集[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [30]CSDN. YOLOV8 实例分割——详细记录环境配置、自定义数据处理到模型训练与部署[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [31]CSDN. YOLOv8-分割训练 txt 标签-json 标签转 txt 标签[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [32]CSDN. YOLOv8 项目实践——目标检测、实例分割、姿态估计、目标追踪算法原理及模型部署[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [33]CSDN. 超详细概述 YOLOV8 实现目标追踪任务全解析[EB/OL], <https://blog.csdn.net>
- [34]ArVix. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking[EB/OL], <https://arxiv.org/pdf/2206.14651>, 2022
- [35]吴志刚. 长寿花盆栽培管理及花期调控技术[J]. 现代园艺, 2019(17) : 57-58

## 致谢

本文选题来源于我对日常生活的观察，并获得了所在学校——济南外国语学校科技兴趣小组活动的支持。

元旦前后，我家的长寿花都会开放。过去我只是观赏，今年偶然观察到长寿花在一天内有绽放和收缩的现象，便想找到其中的原因。通过网络搜索，我惊奇地发现长寿花所属的 CAM 植物，竟然可以在夜间吸收  $\text{CO}_2$ ，这更加引起了我的兴趣。当我咨询学校科技兴趣小组刘延青老师时，刘老师向我推荐了潘瑞炽教授撰写的《植物生理学》，通过阅读我了解到植物的生物钟和光周期现象可能是长寿花开合现象的原因。刘老师又建议我采用定量的方法找出花朵开合的规律和影响因素。当我抛弃人工测量转而搭建基于传感器的采集系统时，刘老师向我推荐了中国科学院植物研究所李敏教授采用人工智能方法开展植物鉴定的相关资料，更加坚定了我做好研究的信心。为在众多环境因素中找出主要影响因素，我设计了由短（24 小时实验）至长（5\*24 小时实验）的实验方案，并在刘老师的提醒下，根据花期对不同品种长寿花进行了实验，最终获得了 6 组有效的数据集。当我看到传感器数据因噪声影响“千沟万壑”而不知所措时，数学张杰老师指导我采用算数平均滤波方法轻松解决。后期当我积累的数据和图像写满硬盘时，张老师又耐心地帮我梳理数据，特别是指导我如何分析并最终找到其中的规律。感谢两位老师在论文写作过程中给予的不厌其烦地指正，得以让我有机会整理出本文。

“理想和现实是一对矛盾，他们的关系既对立又统一”。研究过程非常好地诠释了这句《政治》课本里的话。感谢我的父母，是他们在春节前用最短的时间帮我淘宝到所需的传感器，储备了更多的长寿花，后期又借到了足够多的手机，为我争取了宝贵的时间；是他们在测量系统不稳定的时候，无论早晚一次次帮我重新启动；更是他们对我的鼓励，以及前期对我学习编程的支持，让我有信心、有能力完成这次历时半年的研究。

还要感谢 IP Camera 的作者沈垚，您免费分享的视频服务软件让旧手机成为连续获得高质量图像的简易工具；感谢 CSDN 博主 Mr-MegRob，按照您分享的系列微博，我竟然轻松实现了图像分割，也让我充分认识到人工智能方法可以像工具一样亲民易用。

最后，要感谢我的合作伙伴、研究对象——长寿花，你们在 2024 年的风采我已经记录，来年盛开再见。