

分类号: S23

密级: 公开

学号: 20222109031

单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



基于深度学习的茉莉花开放程度识别系统研究

学位申请人

田征瑞

指导教师

赵岩教授

董春旺研究员

申请学位门类级别

专业硕士

学科、专业名称

机械

研究方向

农机装备工程

所在学院

机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2025年08月

分类号: S23

密级: 公开

学号: 20222109031

单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



基于深度学习的茉莉花开放程度识别系统研究

学位申请人	田征瑞
指导教师	赵岩教授
	董春旺研究员
申请学位门类级别	专业硕士
学科、专业名称	机械
研究方向	农机装备工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2025年08月

**Research on Jasmine Blossom Openness Recognition System Based on
Deep Learning**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Engineering

By

Tian Zheng-Rui

(Agricultural Machinery Equipment Engineering)

Dissertation Supervisor: Prof. Zhao Yan; Prof. Dong ChunWang

Aug,2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：田征瑞

时间：2025年08月10日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：田征瑞

时间：2025年08月10日

导师签名：袁岩

时间：2025年08月10日

摘要

随着农业智能化与自动化技术的快速发展，基于计算机视觉的茉莉花开放程度精准识别成为优化茶叶生产工艺、提升产品质量的关键环节。然而，茉莉花开放阶段（闭合、半开、全开）的形态特征差异细微，且受复杂光照条件、花苞密集分布及动态生产环境干扰，传统人工检测方法存在效率低、主观性强及误判率高等问题。为此，本研究提出一种改进的深度学习模型，结合双级路由注意力机制（BRA）、广义特征金字塔网络（GFPN）与多尺度检测头优化策略，构建了一套高效、鲁棒的茉莉花开放程度识别系统，并完成实际工业场景下的部署验证。本文的主要工作如下：

（1）研究首先构建了高泛化性茉莉花图像数据集（5000 张图像，22000 个样本），涵盖四种开放阶段及多维度变量（光照强度、拍摄角度、花苞密度）。通过自适应直方图均衡化（CLAHE）与高斯滤波增强图像质量，并采用分层抽样策略划分训练集、验证集与测试集（8:1:1）。基于 YOLOv8-seg 框架，引入 BRA 模块动态分配空间与通道特征权重，强化花瓣边缘曲率与花蕊可见性等关键判别特征；设计 GFPN 网络实现多路径跨尺度特征融合，提升模型对密集遮挡与小目标检测的适应性；增设第四检测头扩展特征图分辨率，优化极小目标的定位精度。

（2）本文在构建的数据集上对模型进行消融实验和对比实验，实验结果表明，BGF-YOLO 在测试集上的平均精度（mAP@0.5）达 0.82，较基线模型提升 2%，其中微开与半开阶段的误分类率从 10%降至 5%。在模拟密集场景下，模型 mAP@0.5 提升至 0.87，漏检率与误检率分别降低至 2%和 3%。热力图可视化分析表明，模型注意力显著集中于花瓣张开角度与花蕊暴露程度等开放程度判别区域，验证了特征提取机制的有效性。

（3）为验证系统的工业适用性，本研究于广西横县茉莉花茶厂完成实际生产部署。硬件系统集成高分辨率工业相机（MER2-503-36U3C）、可调光源及嵌入式工控设备，软件系统通过动态分辨率调整与多线程优化实现实时检测（响应时间 ≤ 0.8 s）。在复杂光照（自然光、强逆光）、密集花苞分布（200-300 个/m²）及传送带速度波动场景下，系统平均检测精度（mAP@0.5）为 0.82。可减少人工成本，提升检测效率。

本研究提出的基于改进 YOLOv8-seg 的茉莉花开放程度识别模型及其配套系统，为茉莉花茶生产的智能化与标准化提供了技术支撑，同时为农业场景下的细粒度目标识别与实时检测任务提供了方法论参考。

关键词：茶叶生产；深度学习；茉莉花；窖制；识别系统

Abstract

With the rapid development of agricultural intelligence and automation technology, accurate recognition of jasmine flower opening degree based on computer vision has become a key link to optimize the tea production process and improve product quality. However, the morphological characteristics of jasmine flowers in the opening stage (closed, half-open, and fully open) have subtle differences and are subject to the interference of complex lighting conditions, dense distribution of buds, and dynamic production environment, so the traditional manual detection methods have problems such as low efficiency, high subjectivity, and high misjudgment rate. To this end, this study proposes an improved deep learning model, which combines the bi-level routing attention mechanism (BRA), generalized feature pyramid network (GFPN) and multi-scale detection head optimization strategy, to construct a set of highly efficient and robust jasmine openness recognition system, and complete the deployment validation in real industrial scenarios. The main work of this thesis is as follows:

(1) The research firstly constructs a highly generalized jasmine image dataset (5000 images, 22000 samples), covering four opening stages and multi-dimensional variables (light intensity, shooting angle, bud density). The image quality was enhanced by adaptive histogram equalization (CLAHE) with Gaussian filtering, and a stratified sampling strategy was used to divide the training, validation and test sets (8:1:1). Based on the YOLOv8-seg framework, the BRA module is introduced to dynamically allocate spatial and channel feature weights to strengthen key discriminative features such as petal edge curvature and pistil visibility; the GFPN network is designed to achieve multi-path cross-scale feature fusion to improve the model's adaptability to dense occlusion and small target detection; the fourth detection head is added to extend the feature map resolution and optimize the localization accuracy of very small targets.

(2) In this thesis, we conduct ablation experiments and comparison experiments on the model on the constructed dataset, and the experimental results show that the average accuracy of BGF-YOLO on the test set (mAP@0.5) reaches 0.82, which is a 2% improvement over the baseline model, in which the misclassification rate of the micro-open and half-open phases is reduced from 10% to 5%. In the simulated dense scenario, the leakage and misclassification rates are reduced to 2% and 3%, respectively. The heat map visualization analysis shows that the model's attention is significantly focused on the openness discrimination regions such as petal opening angle and stamen exposure, which verifies the effectiveness of the feature extraction mechanism.

(3) In order to verify the industrial applicability of the system, this study was completed in the actual production deployment in Guangxi Hengxian Jasmine Tea Factory. The hardware system integrates a high-resolution industrial camera (MER2-503-36U3C), a tunable light source and an embedded industrial control device, and the software system realizes real-time detection (response time ≤ 0.8 s) through dynamic

resolution adjustment and multi-thread optimization. Under complex lighting (natural light, strong backlight), dense bud distribution (200-300 buds/m²) and conveyor belt speed fluctuation scenarios, the average detection accuracy of the system (mAP@0.5) is 0.82. It can reduce labor costs and improve detection efficiency.

Translated with DeepL.com (free version)The jasmine openness recognition model based on improved YOLOv8-seg and its supporting system proposed in this study provide technical support for the intelligence and standardization of jasmine tea production, and at the same time provide a methodological reference for fine-grained target recognition and real-time detection tasks in agricultural scenarios.

Keywords: Tea production; deep learning; jasmine; curing; recognition system

目录

摘要.....	I
Abstract	II
第 1 章 绪论	1
1.1 课题背景及研究的目的和意义.....	1
1.1.1 茉莉花茶的制作工艺与文化价值.....	1
1.1.2 研究意义.....	3
1.2 国内外研究现状.....	4
1.2.1 基于传统机器学习的花类识别研究.....	5
1.2.2 基于深度学习的花类识别研究.....	7
1.3 本文的主要研究内容.....	11
1.3.1 研究目标.....	11
1.3.2 研究方法.....	12
第 2 章 茉莉花图像采集和预处理	14
2.1 茉莉花不同开放程度.....	14
2.2 茉莉花图像数据采集.....	14
2.2.1 采集地点选择.....	14
2.2.2 采集时间安排与环境条件.....	15
2.2.3 采集设备及其技术规格.....	15
2.2.4 数据采集方法与多样性设计.....	15
2.3 茉莉花图像数据预处理.....	16
2.3.1 图像标注流程.....	16
2.3.2 数据集划分策略.....	17
2.4 数据质量评估与分析.....	17
2.4.1 图像质量分析.....	17
2.4.2 样本分布统计.....	17
2.4.3 数据增强技术.....	18
2.5 本章小结.....	18
第 3 章 基于改进 YOLOv8-seg 的茉莉花开放程度识别模型	20
3.1 YOLOv8-seg 实例分割算法.....	20

3.1.1 网络结构.....	21
3.1.2 工作原理.....	22
3.2 注意力机制.....	23
3.2.1BRA.....	23
3.2.2MCA.....	25
3.2.3 Non-local.....	27
3.3 不同注意力机制识别性能对比.....	29
3.4 用于多级特征融合的增强 GFPN.....	30
3.5 增强型探测头.....	31
3.6 基于改进 YOLOv8 的茉莉花开放程度识别模型构建.....	32
3.6.1 算法初始化参数和开发环境.....	32
3.6.2 模型构建试验.....	32
3.7 基于改进 YOLOv8 的茉莉花开放程度识别模型试验结果分析.....	34
3.7.1 评价指标分析.....	34
3.7.2 置信度分析.....	35
3.7.3 模型对比分析.....	36
3.7.4 不同模型可视化分析.....	36
3.8 本章小结.....	38
第 4 章 茉莉花开放程度识别系统.....	40
4.1 茉莉花开放程度识别系统硬件设计.....	40
4.1.1 系统功能需求.....	40
4.1.2 系统架构设计.....	41
4.2 硬件设备选型.....	42
4.2.1 相机与镜头选型.....	42
4.2.2 光源确定.....	44
4.2.3 硬件设备连接.....	45
4.3 茉莉花开放程度识别系统软件设计.....	46
4.3.1 代码实现功能.....	46
4.3.2 界面设计.....	47
4.3.3 模型格式转换.....	48
4.4 工厂生产实地验证.....	49
4.5 本章小结.....	51
第 5 章 结论与展望.....	52
5.1 结论.....	52

5.2 展望.....	53
参考文献.....	54
致谢.....	55
个人简介.....	56

第 1 章 绪论

1.1 课题背景及研究的目的和意义

1.1.1 研究背景

茉莉花茶，作为中国传统名茶的代表之一，以其清雅的香气和独特的口感享誉全球。其历史可追溯至宋代，距今已有千年以上的发展历程。在中国茶文化中，茉莉花茶不仅是一种饮品，更是一种文化的传承和情感的寄托^[1]。茉莉花茶的制作工艺凝聚了世代茶人的智慧与匠心，其中窈制环节是赋予其独特风味的核心步骤。

窈制，即将新鲜的茉莉花与茶叶在特定的温湿度条件下混合，使茶叶充分吸收花香，形成“茶引花香，花增茶味”的和谐风味。窈制过程通常需要多次反复进行，每次窈制的时间和花茶比例都需要精确控制，以确保花香与茶香的完美融合。根据《中华茶史》和相关文献记载，优质的茉莉花茶往往需要经过 3 至 7 次窈制，耗时数日甚至数周，工艺复杂且要求极高。

茉莉花茶不仅是一种日常饮品，还具有很高的文化和经济价值。在中国，茉莉花茶常用于礼品赠送、商务招待和家庭聚会，象征着优雅与和谐。近年来，随着国际市场的拓展，茉莉花茶的出口量持续增长，成为中国茶产业的重要组成部分。据中国茶叶流通协会的数据，2024 年中国茉莉花茶的年产量约为 15.3 万吨，占花茶总产量的 70% 以上，如图 1-1 所示。市场规模超过 50 亿元人民币。然而，随着消费者对花茶品质的要求不断提高，传统的制作工艺面临着严峻的挑战。

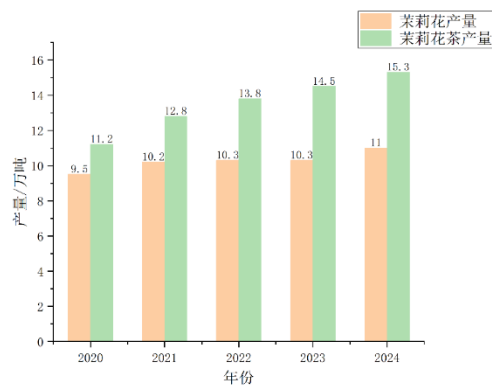


图 1-1 中国近年茉莉花及茉莉花茶产量

Figure 1-1 Production of Jasmine and Jasmine Tea in China in Recent Years

茉莉花开放程度是窈制过程中一个至关重要的因素。茉莉花在采摘后，其开放过程是一个动态变化的过程。如图 1-2 所示。从紧闭的花苞到微绽的嫩蕊，再到半开的花朵，直至完全盛放，每一个阶段都蕴含着不同的香气浓度和品质特征。研究表明，茉莉花在开放至五至七成时，其香气物质（如芳樟醇、苯甲醇等）的释放达到峰值，此时进行窈制，能使茶叶最大程度地吸附花香，茶香与花香相得益彰，达到最佳的品质效果。

然而，若茉莉花开放不足，香气未能充分释放，窈制后的花茶香气淡薄，难以满足消费者的感官需求；反之，若开放过度，花香已过盛放期，不仅香气减弱，还可能带来苦涩味，影响花茶的整体品质。此外，开放过度的茉莉花在窈制过程中容易产生霉变或腐败，进一步降低产品的安全性。因此，准确判断茉莉花的开放程度，不仅关系到花茶的香气和口感，还直接影响产品的市场竞争力。



图 1-2 茉莉花不同开放程度

Figure 1-2 Different degrees of blooming of jasmine flowers

传统茉莉花开放程度的判别主要依赖人工目视观察与触觉经验，尽管该方法在特定历史阶段具备实践意义，但其固有缺陷已难以适应现代农业生产的精准化与规模化需求。具体局限性体现在以下方面：

(1) 主观认知偏差显著

人工检测高度依赖操作者经验，主观性强，判断标准存在显著异质性。不同操作者对开放阶段（如“微开”与“半开”）的判别差异显著，直接影响窈制时机的选择，导致成品品质可控性差。此外，触觉判断则易受环境湿度、操作者手部状态等外部因素干扰，也降低了检测结果的可靠性和一致性。

(2) 效率与规模化需求不匹配

人工检测效率难以满足现代化生产线的吞吐量要求。尤其在茉莉花盛花期，单日需

处理花苞数量庞大,传统方法需要人工跟随整个养花期,随时检查养花状态,费时费力,导致劳动力成本居高不下,制约了产能提升。

(3) 环境适应性不足

复杂生产环境对人工检测的干扰效应显著。例如,低照度条件下视觉灵敏度下降,高湿度环境削弱触觉反馈精度,长时间作业引发的生理疲劳亦加剧误判风险。此外,花苞表面分泌物或机械损伤可能进一步干扰判断的准确性。

(4) 标准化与数据化能力缺失

传统方法缺乏客观量化指标与结构化数据支持,导致生产工艺标准化程度低。经验传承的非系统性使得质量控制难以实现可追溯性与可重复性,阻碍工艺优化与产业升级。

综上所述,传统人工检测方法在主观性、效率、环境鲁棒性及数据化能力等方面存在系统性缺陷,亟需通过自动化与智能化技术实现方法论的革新,以支撑茉莉花茶产业的可持续发展。

1.1.2 研究意义

首先,本研究将深度学习技术应用于茉莉花开放程度的检测,丰富了深度学习在农业和食品加工领域的应用场景。茉莉花开放程度检测是一个典型的分类问题,涉及对花朵形态、颜色、纹理等多维特征的分析。通过本研究,可以探索深度学习模型在处理此类复杂图像任务时的有效性和优势,为相关研究提供理论支持和实践参考。

其次,本研究将推动计算机视觉技术在植物生长状态监测中的应用。茉莉花开放过程是一个动态的生物学现象,其图像特征随时间变化而变化。通过构建针对性的数据集和模型,本研究不仅能够实现对静态图像的分类,还能为动态过程的监测提供思路,促进计算机视觉在农业智能化中的深度融合。

最后,本研究将为深度学习模型的优化和创新提供契机。针对茉莉花图像的特殊性,如花朵密集、重叠、光照变化等挑战,本研究将探索相应的图像处理和模型优化策略,如数据增强、特征融合、注意力机制等,以提升模型的鲁棒性和准确性。这些探索将为深度学习模型的理论发展和方法创新贡献力量。

在实践层面,本研究开发的茉莉花开放程度检测系统将带来多方面的益处。

首先,系统能够显著提高检测效率和准确性。相较于人工判断,自动化检测系统能够在短时间内处理大量图像,实时输出检测结果,极大地提升了生产效率。同时,基于深度学习模型的客观性,系统能够减少人为误差,确保检测结果的稳定性和一致性。

其次,系统有助于优化茉莉花茶的生产工艺。通过实时监测茉莉花的开放程度,系统能够为工人提供精准的翻花和窨制时机提示,避免因开放程度不当而导致的品质下降。

这不仅能够提升花茶的香气和口感，还能减少因误判造成的资源浪费，降低生产成本。

此外，系统的应用将推动茉莉花茶产业的智能化转型。随着劳动力成本的上升和市场竞争的加剧，传统的手工制作方式已难以满足现代消费者的个性化、高品质需求。本研究开发的自动化检测系统，为茉莉花茶产业引入了先进的科技手段，有助于提升企业的技术水平和市场竞争力，推动产业的可持续发展。

最后，本研究的成果还可推广至其他花卉或农作物的生长状态检测中，如玫瑰花开放程度、果实成熟度等，为农业生产的智能化管理提供技术支持，助力乡村振兴和农业现代化。

1.2 国内外研究现状

近年来，深度学习技术的突飞猛进使得计算机视觉图像识别技术已渗透至社会各领域。具体应用包括但不限于：交通运输行业车牌自动识别系统^[2]、金融安防领域广泛部署的面部微表情分析技术^[3]、以及医疗诊断中的智能肿瘤检测方案^[4]。花卉分类任务作为图像识别领域的一个分支研究渊源已久。其中最为典型的是牛津大学 Zisserman 研究团队取得了突破性进展，他们整理了两个经典数据集，OxfordFlower17 和 OxfordFlower102。这些数据集中的花卉均为英国日常生活中常见的种类，花卉在图像中占据主要部分，便于分析。包含了不同角度和光线条件下的日常常见花卉图像，部分花卉类别内部存在较大差异，增加了研究的挑战性和代表性，这些特性使得 OxfordFlower17 和 OxfordFlower102 成为花卉图像识别与分类研究的重要资源，为研究人员提供了优质的训练数据。

在国际上，每年举办的计算机视觉顶会（如 ECCV、ICCV、CVPR）上，都会涌现出大量针对花卉图像识别的创新算法。这些算法推动了技术的快速发展，涵盖从特征提取到分类的各个环节。国内花卉识别研究虽起步相对滞后，但近年来呈现加速发展态势。现有花卉识别体系主要分为：基于传统机器学习的分析框架和基于深度学习的端到端识别系统。

基于传统机器学习的分析框架在图像预处理阶段：采用直方图阈值法、边缘检测算子（如 Canny 算子）或区域生长算法实现花卉区域分割。在特征工程阶段，通过人工设计的特征描述符（如 LBP 纹理特征、HSV 颜色直方图、Hu 矩形状特征）提取花卉外观特征；在分类决策阶段，采用支持向量机(SVM)（核函数多选用 RBF）、K 近邻算法(KNN)（距离度量通常采用欧式距离）或随机森林等分类器进行品种判别。

基于深度学习的端到端识别系统，采用卷积神经网络(CNN)架构（如 ResNet、EfficientNet）自动学习多层次特征表示，通过迁移学习策略（如 ImageNet 预训练+微调）解决小样本训练问题，引入注意力机制（如 SE 模块、CBAM）增强花卉关键区域的特

征响应。

当前研究面临的主要技术挑战包括：环境干扰因素，复杂背景噪声（如枝叶交错、多目标遮挡），光照条件变异（强光/弱光引起的色彩失真），成像视角差异（俯拍/侧拍导致的几何形变）；算法鲁棒性问题，特征表示对成像条件变化的敏感性，细粒度分类中的类间相似性问题，模型轻量化与识别精度的平衡这些挑战导致现有系统在实际场景中的泛化性能受限，因此开发具有以下特性的新一代识别系统成为研究重点，多模态特征融合能力，光照不变性特征表示，轻量化部署架构，小样本学习机制。

1.2.1 基于传统机器学习的花类识别研究

传统机器学习框架下的花卉识别算法主要包含三个关键处理阶段：1.图像分割处理，从复杂背景的原始图像中精确分离花卉目标区域，该步骤为后续分析提供预处理基础；2.特征工程阶段，采用人工设计的特征描述符提取花卉多模态特征（包括色彩直方图、LBP 纹理特征、形状轮廓描述子）；3.通过特征融合算法（如主成分分析 PCA），构建复合特征表示；4.分类决策过程：将优化后的特征向量输入支持向量机（SVM）等分类器，完成最终的品种识别任务。

Nilsback 团队^[5]运用经典处理框架，通过图像分割技术获取花卉的色彩特征、纹理特征及形态特征，并将多特征融合结果导入支持向量机(SVM)分类模型。该方法在 Oxford102-Flower 基准测试集上取得 72.8%的基准识别准确率，验证了传统特征工程的有效性。

针对复杂背景干扰问题，Yuning 等^[6]开发的 BiCoS 联合分割算法实现了更精确的花朵区域提取。该创新性分割方案使 Oxford102-Flower 数据集上的分类准确率提升至 80.0%水平，较传统方法性能提升达 7.2 个百分点。

Angelova 研究组^[7]提出的双阶段处理架构取得显著突破：首先通过底层区域检测定位潜在目标域，继而实施全对象分割。这种细粒度识别策略在 Oxford102-Flower 数据集上获得 80.66%的识别精度，较前序研究提升 0.66 个百分点。

Das 等人^[8]早在上世纪 90 年代便开始探索花卉图像分割任务。他们提出了一种基于知识驱动反馈的自动迭代分割算法，主要利用花卉图像中的颜色和空间信息。该算法结合了 ISCC-NBS 颜色系统和 XWindow 颜色名称的自然语言颜色分类法，通过分析图像的颜色特征和空间分布，从复杂背景中分离出花朵区域。算法采用迭代方式，不断优化分割结果。该方法设计简单，易于实现，适合早期计算资源有限的场景。但是该算法对花卉在图像中的位置要求较高，花朵需处于较为固定的区域，否则分割效果会显著下降。提取的特征较为单一，仅依赖颜色和基本空间信息，难以应对多样化的花卉形态和复杂背景，导致整体效果不佳。这种方法在早期研究中具有一定开创性，但由于特征提取能

力有限，难以满足实际应用中多样化场景的需求，效果相对较差。

Saitoh 等人^[9]提出了一种基于自然环境中数码相机拍摄的花卉图像的自动分割方法，称为归一化成本方法。以下是该算法的核心内容：边界检测，使用智能剪刀（Intelligent Scissors, IS）算法，通过在花卉图像上选取两个像素点，计算两者之间梯度匹配的最短路径长度，提取花朵的边界。区域分割，结合 k-means 聚类算法对背景区域进行建模，从而将花朵和叶片从背景中分离出来。研究人员在包含 600 张图片的数据集上进行了测试（覆盖 30 个花卉物种，每种 20 张）。实验表明，边界提取成功率达到 97%，花朵识别率达到 90%。该算法在边界提取方面表现出色，能够较准确地勾勒花卉轮廓。对于自然环境拍摄的图像具有一定适应性。但是算法要求花卉位于图像正中心。如果花卉位置偏离中心，分割和识别效果会大幅下降。现实生活中采集的花卉图像往往位置随机，难以满足中心位置的要求，因此该方法在实际场景中的实用性受限。该方法在实验室环境下取得了较高的成功率，但在真实场景中，由于对花卉位置的严格要求，应用价值受到较大限制。

Nilsback 和 Zisserman 等人^[10]在 Saitoh 研究的基础上，开发了一套花卉识别系统，针对花卉这一视觉相似性较高的类别，通过提出“视觉词汇”概念进行分类。他们利用花卉图像的颜色、纹理和形状三种视觉特征构建系统，具体方法如下：颜色特征提取，使用 HSV 色彩空间描述花卉颜色。在特征提取流程中，首先对训练图像的像素级 HSV 空间值执行 k-means 聚类分析，构建颜色词典以提升模型泛化性能。形状特征方面，采用尺度不变特征变换（SIFT）描述符进行提取，重点优化以下参数：网格间距参数 M、SIFT 特征支持区域范围和视觉词汇聚类数量。通过向量量化技术将特征编码为频率直方图用于分类任务。纹理特征则利用 M8R 多方向滤波器组提取，其旋转不变性通过各方向最大响应值选择策略实现。研究团队采用加权融合策略（权重系数：颜色 0.4，形状 0.35，纹理 0.25）整合三类特征，系统评估其对模型性能的影响。值得注意的是，研究者 Nilsback 和 Zisserman 同时建立了 Oxford 系列基准数据集（含 17 类和 102 类两个版本）。在 Oxford-17 上的测试结果表明：颜色特征识别准确率为 73.7%，形状特征识别准确率为 71.8%。纹理特征性能相对较低（差异显著性 $p < 0.05$ ），主要归因于仅 12% 的类别具有显著纹理差异，尺度变化导致的特征不稳定性。

Fukuda 与 Takiguchi 等人^[11]提出了一种基于模糊 c-means 聚类的多分类器花卉图像检索系统。该系统根据花卉结构将图像分为三类，圆形花朵、多花瓣花朵和单花瓣花朵。考虑到花卉结构可能模糊，他们为每类结构构建了独立的分类器，并利用模糊 c-means 聚类算法计算每张图像对其所属结构的隶属度。最终，通过线性组合各分类器的相似度，得到总体相似度。这种多分类器方法显著优于当时的单分类器方法，但仅以花瓣数量作为分类标准显得不够严谨。

Angelova 和 Zhu 等研究者^[12]提出了一种用于大规模花卉物种识别的图像分割算法。