

基于花瓣的傅里叶变换红外光谱鉴别分类杜鹃属植物

罗庇荣¹, 刘刚^{1*}, 张玉宾¹, 周湘萍¹, 桑林²

1. 云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650092

2. 云南师范大学生命科学院, 云南 昆明 650092

摘要 利用傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 技术结合适当的方法对杜鹃属植物不同亚属进行鉴别分类研究。测试了 4 个亚属植物花瓣的红外光谱, 结果显示同种植物花瓣的红外图谱, 峰形相似; 不同种植物花瓣的红外光谱图在混合模区 ($1\ 500\sim1\ 200\text{ cm}^{-1}$) 略有差异。为了进一步快速对其分类群进行鉴别, 利用 OMNIC 软件分层抽样建立 3 个光谱数据库, 未知样品光谱分别与光谱数据库比较得出匹配数值进行鉴别。研究结果显示此方法能够准确地鉴别分类 4 个亚属植物, 这为大型的植物系统分类研究提供了一种潜在的方法。

关键词 傅里叶变换红外光谱; 杜鹃花属; 亚属; 鉴别分类

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)04-0943-06

引言

杜鹃属植物属于杜鹃花科, 包含 1 000 余种, 中国约 542 种, 广泛分布于广西北部、四川西南部及贵州西部、云南全省和西藏南部^[1]。植物分类学是对植物分门别类, 鉴别到种的一门科学。在植物的进化过程中, 它们之间的差异性不仅包括植株、种子等的外貌、形态、解剖方面 (例如陈训等人利用扫描电镜对 5 种药用杜鹃种子形态观察可以明显辨别种间差异^[2]), 还包括分子结构、类型等, 不同植物所包含的分子组分信息相互区别。因此化学分析分类方法可以用来促进改善植物系统分类研究。应用于植物分类研究的化学分析方法包括: 呈色反应、色谱法、紫外-可见光谱、荧光光谱及质谱分析等^[3,4]。随着生物分子技术的发展, 以 DNA 分子遗传标记应用在植物系统分类研究中得到了一定的发展, 赵喜华等研究了 11 种杜鹃花的 RAPD 分类^[5], 然而这些方法分析步骤繁琐、耗时、费用高, 而且通常须结合几种技术分析。

傅里叶变换红外光谱技术具有用量少、快速、无损、高灵敏度等优点。它是研究分子化学基团振动方式的一种常用分析方法, 不仅可以提供分子结构定性或定量的信息, 而且还可以给出生物大分子之间交感信息, 因此傅里叶变换红外光谱技术可以同时探测大分子混合物, 如: 蛋白质、脂肪、多糖以及核酸等。长期以来, 红外光谱主要用于有机化合物的组成、结构鉴定、功能基团的定性分析工作; 在定量方面, 红外光谱主要被用于与特定具有红外活性结构相关的组成或

者化合物的定量分析。红外光谱技术已广泛地应用在真菌鉴别、微生物 (细菌) 鉴别^[6]、中药材鉴定、矿物研究^[7]等领域。此项技术在植物方面也有应用, 如金丝桃属和三腺金丝桃属植物叶进行红外光谱分析及其与分类群鉴定的相关性研究^[8]、软木材细胞壁类型的鉴别研究^[9], 以及某些植物叶子细胞壁突变变异种的研究^[10]; 对杜鹃花植物叶片进行了红外光谱研究^[11]。本文旨在基于花瓣光谱, 检验傅里叶变换红外光谱技术在植物系统分类研究中的应用潜能。选择杜鹃花属植物的 4 个亚属植物花瓣做实验分析, 然后利用 OMNIC 软件分层抽样建立 3 个光谱数据库, 未知样品光谱分别与光谱库比较得出匹配数值进行鉴别。此法简单、快速, 能够直观地用数据给出未知光谱与光谱库之间的亲密程度。分层抽样建立的光谱数据库具有一定程度的总体特征, 健全的统计理论保证了结果的准确性。类似的方法曾应用在红酒种类的鉴别研究上^[12]。

1 实验部分

1.1 实验仪器

红外光谱仪为 BIO-RAD 公司的 FTS-40 傅里叶变换红外光谱仪, 硅碳棒光源, MCT 探测器, 扫描范围为 $4\ 000\sim400\text{ cm}^{-1}$, 分辨率为 4 cm^{-1} , 扫描次数为 16 次。

1.2 研究材料及样品制备

实验所用 4 个亚属 8 种植物共 46 个花瓣样品均采自中国科学院昆明植物研究所杜鹃园, 所有花瓣样品分别来自不

收稿日期: 2009-05-10, 修订日期: 2009-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10764006) 和云南省自然科学基金项目 (2007A048M) 资助

作者简介: 罗庇荣, 1981 年生, 云南师范大学光学工程研究生 *通讯联系人 e-mail: gliu66@163.com

同株杜鹃树上,其类属关系如表 1 所示。所有样品洗净,干燥保存待测。实验时取少量花瓣实体研磨,再加入溴化钾搅磨均匀,然后压片测红外光谱。

Table 1 Genera, subgenus and species of samples

属	亚属	种	代码
杜鹃属	羊躑躅亚属	羊躑躅	Y01- Y07
		羊躑躅	Y08- Y14
	映山红亚属	锦绣杜鹃	J01-J04
		亮毛杜鹃	J05-J07
	糙叶杜鹃亚属	腋花杜鹃	X01- X05
		富源杜鹃	X06- X08
	常绿杜鹃亚属	马缨杜鹃	M01- M09
		狭叶马缨杜鹃	M10- M17

1.3 光谱预处理及数据分析

测定得到 46 个花瓣样品的红外光谱图,利用红外光谱专业软件 OMN16.0 对实验所得光谱进行平滑、基线校正和归一化预处理。

用 OMNI 软件分层抽样建立 3 个光谱数据库。光谱库 1 由每一亚属随机选择的 3 条光谱组成(包括羊躑躅亚属: Y01, Y05, Y12 株;常绿杜鹃亚属: M02, M08, M16 株;糙叶杜鹃亚属: X01, X05, X08 株;映山红亚属: J02, J04, J06 株)。光谱库 2 是由上述每一亚属 3 个任意光谱的平均光谱组成。光谱库 3 由每一亚属所有光谱的平均光谱组成。所有花瓣样品的光谱作为总体,建立的光谱库作为抽样本来研究未知总体之构体与样本之间的亲密程度。利用 OMNI 软件的‘search’功能键对所有的未知光谱同 3 个光谱数据库进行比较,得出各自的匹配数值(表 2~表 4 示)。

Table 2 Comparison of the unknown samples spectra with the library(Lib01)
including three random spectra of each variety

未知 样品	与羊躑躅亚属的匹配数值			与常绿杜鹃亚属的匹配数值			与糙叶杜鹃亚属的匹配数值			与映山红亚属的匹配数值		
	Y01	Y05	Y12	M02	M08	M16	X01	X05	X08	J02	J04	J06
Y01	100.0	84.00	83.92	70.04	76.26	78.33	86.07	83.32	84.66	86.37	81.67	79.79
Y02	94.83	84.18	85.27	70.28	76.16	77.01	86.11	83.38	84.61	86.83	81.71	80.15
Y03	90.95	88.35	85.73	73.26	77.95	77.02	85.29	82.44	83.78	86.11	81.43	80.09
Y04	90.18	91.29	87.26	76.62	80.55	78.14	84.30	82.28	82.77	86.34	82.44	80.06
Y05	84.00	100.0	85.06	72.10	75.24	73.36	80.74	78.69	79.05	81.67	78.25	74.51
Y06	89.47	88.25	86.19	73.38	78.22	77.31	85.27	82.69	83.84	86.65	82.00	80.37
Y07	90.87	89.15	86.43	75.41	79.66	77.60	84.80	82.39	82.94	87.03	83.20	80.46
Y08	89.43	82.55	84.53	62.95	69.25	71.21	82.68	79.52	81.17	85.17	79.93	76.89
Y09	91.25	83.37	83.61	68.16	72.98	74.99	83.54	80.66	82.01	84.20	80.83	77.92
Y10	92.16	82.51	82.60	64.17	69.76	72.49	83.92	80.69	83.17	85.93	81.13	77.58
Y11	90.86	83.46	84.67	70.78	76.28	76.39	87.28	85.39	85.29	85.19	84.38	79.65
Y12	83.92	85.06	100.0	73.27	76.01	76.64	78.83	76.22	75.83	79.38	76.90	75.37
Y13	87.99	87.23	92.23	73.52	77.09	78.20	85.35	83.25	83.69	85.96	83.03	79.02
Y14	91.63	85.54	86.80	70.08	75.85	74.68	85.56	82.98	84.04	86.86	83.22	79.63
M01	71.69	73.06	74.68	95.44	91.28	88.89	79.00	80.52	78.31	74.17	78.90	81.75
M02	70.04	72.10	73.27	100.0	91.31	88.81	77.45	78.93	76.52	73.11	77.78	79.98
M03	72.21	76.14	75.26	91.78	90.17	86.84	81.17	82.62	80.33	76.09	80.65	81.47
M04	71.65	72.01	72.73	88.77	88.99	86.37	78.81	80.25	78.22	75.93	79.44	77.79
M05	70.48	73.40	71.79	90.10	86.33	84.23	78.39	79.41	77.41	73.76	76.04	78.08
M06	72.15	70.83	70.62	82.00	83.89	79.80	79.33	80.01	78.53	76.61	77.59	76.68
M07	77.24	78.19	78.69	91.19	91.96	87.00	84.23	84.82	82.94	80.42	83.12	80.60
M08	76.26	75.24	76.01	91.31	100.0	89.75	82.92	84.19	81.79	79.84	82.57	79.84
M09	77.79	75.30	76.23	92.62	91.16	88.79	83.81	84.76	83.14	80.51	81.80	80.58
M10	81.90	75.19	76.52	80.88	86.35	87.01	84.01	84.14	82.43	80.10	78.92	80.15
M11	82.21	77.58	79.43	82.73	87.94	86.67	84.44	84.45	82.85	81.29	79.64	82.33
M12	81.96	75.63	77.24	84.08	90.13	89.82	83.45	83.20	82.21	81.59	80.93	83.63
M13	78.55	74.78	74.31	78.17	81.75	81.81	81.72	81.87	80.48	79.89	77.15	78.62
M14	77.10	75.58	74.22	86.44	86.00	86.19	79.44	80.17	78.50	76.30	75.90	78.21
M15	76.98	73.16	72.65	86.16	87.79	89.43	79.66	80.29	78.71	75.61	76.48	78.62
M16	78.33	73.36	76.64	88.81	89.75	100.0	80.26	80.36	78.80	75.67	78.01	79.96
M17	77.10	73.31	73.92	78.69	82.04	81.65	81.25	81.20	79.3	78.85	77.45	80.94
X01	86.07	80.74	78.83	77.45	82.92	80.26	100.0	98.31	97.81	88.56	88.40	86.17
X02	85.20	77.79	77.63	74.78	79.76	78.90	96.84	95.28	95.65	87.05	85.67	88.03
X03	83.17	75.59	73.84	71.37	78.43	77.73	97.29	96.90	97.00	84.14	85.87	82.63

续表2

X04	83.57	77.57	75.16	76.49	81.88	78.79	98.31	98.94	98.96	87.35	89.47	88.02
X05	83.32	78.69	76.22	78.93	84.19	80.36	98.31	100.0	98.28	86.95	89.48	87.00
X06	78.41	73.98	70.76	71.28	76.71	71.92	91.95	93.27	94.08	81.78	82.93	80.62
X07	84.49	79.93	76.47	76.98	82.40	77.78	97.95	97.77	97.52	88.60	89.25	87.39
X08	84.66	79.05	75.83	76.52	81.79	78.80	97.81	98.28	100.0	87.29	89.47	86.83
J01	86.43	80.98	79.63	74.61	80.83	77.38	89.31	87.69	88.07	95.46	91.67	86.83
J02	86.37	81.67	79.38	73.11	79.84	75.67	88.56	86.95	87.29	100.0	90.51	86.75
J03	84.46	78.94	75.13	74.01	81.03	76.94	89.86	90.63	90.66	92.74	94.84	86.92
J04	81.67	78.25	76.90	77.78	82.57	78.01	88.40	89.48	89.47	90.51	100.0	87.07
J05	78.51	74.01	73.77	78.68	82.18	77.49	85.42	85.91	85.31	87.84	86.41	94.23
J06	79.79	74.51	75.37	79.98	79.84	79.96	86.17	87.00	86.83	86.75	87.07	100.0
J07	80.42	75.61	75.71	88.07	88.14	81.96	86.74	87.60	87.43	88.41	87.31	95.56

2 结果与分析

2.1 花瓣红外光谱特征分析

图1是每一亚属所有花瓣样品的平均傅里叶变换红外光谱图,其吸收峰形状位置基本一致。杜鹃花瓣的主要成分包括:氨基酸、脂类、糖类、纤维素、多酚、天然花色甙类物质、黄酮类化合物等生物活性物质^[13-15]。红外光谱图上也定性的反映了上述物质分子的组成和结构特征,其峰归属如下:3422 cm⁻¹附近的吸收峰主要是羟基和氨基吸收的叠加;2927和2855 cm⁻¹附近的吸收分别为亚甲基CH₂不对称与对称伸缩振动;1733 cm⁻¹附近的吸收峰主要来自脂肪酸羧基中的C=O的伸缩振动;1616 cm⁻¹附近的吸收峰主要来自C=C骨架伸缩振动^[16];1520 cm⁻¹附近为苯环的骨架特征伸缩振动;在1500~1200 cm⁻¹范围内是蛋白质与多糖的混合模,其间1444 cm⁻¹为花色苷类物质和细胞壁中CH₃基团C—H不对称变形振动以及氨基酸等化合物中的N—H变形振动^[17,18],1400和1372 cm⁻¹分别为碳水化合物和脂肪族化合物中CH₂的不对称弯曲振动以及CH₃的对称弯曲振动吸收。1245 cm⁻¹附近的吸收峰处是苯羟基和羧酸类中C—O键的伸缩振动^[17];1146 cm⁻¹是碳水化合物、

羧酸及其他高级酸酯类中C—O的伸缩振动引起的,也可能为低级酸酯类如顺丁烯二酸酯的C—O伸缩振动^[18],1100 cm⁻¹是苷类羟基伸缩振动峰和C—O键弯曲振动^[19];1070 cm⁻¹附近的吸收峰主要产生于O—H的弯曲振动和C—O—C(纤维素中存在)的伸缩振动;1035 cm⁻¹附近的吸收峰可能为芳环的卤代芳烃对称振动^[19];900~750 cm⁻¹间的吸收峰主要由碳水化合物的糖环伸缩振动,其中819和777 cm⁻¹处的吸收峰为芳烃中C—H的面外弯曲振动。

从各亚属的平均光谱的特征峰可看出4类大部分特征峰的频率位置基本一致,它们的某些特征峰的峰形以及强度上略有差异。在1520 cm⁻¹处常绿杜鹃亚属(d)明显要强于其他3类;1445和1400 cm⁻¹附近处常绿杜鹃亚属(d)显示了两个强度几乎一致的双峰而羊躑躅亚属(a)只显示了1400 cm⁻¹一个单峰,其他2类却是1445 cm⁻¹附近的峰较强;1325 cm⁻¹处羊躑躅亚属(a)与映山红亚属(b)显示了明显的弱峰而另外2类光谱中不明显;以及羊躑躅亚属(a)缺失了1205 cm⁻¹处的峰,其他3类此处显示为弱峰。为了全面客观地对4类杜鹃花瓣的光谱进行鉴别,在全谱范围内未知光谱与3个光谱库进行匹配区分。

2.2 匹配数值

利用OMNI软件的‘search’功能键对所有46个花瓣样品光谱(现在称未知样品光谱)同光谱库(Lib01, Lib02, Lib03)进行比较,软件自动得出匹配数值,数值的大小表示彼此之间的亲密程度,数值越大表示匹配程度越好,数值100.0就表示完全匹配,每个未知样品的最大匹配数值加粗表示(见表2~表4)。表2所示大多未知样品分别与各自的类属关系亲密,只有常绿杜鹃亚属13号株(M13)显示与糙叶杜鹃亚属关系亲密;表3和表4所示所有未知样品都分别与各自的类属关系亲密。结果说明了用光谱图库2和3(Lib02, Lib03)来进行归类效果要好于图库1(Lib01)。各红外光谱图定性反映了各花瓣样品之间物质分子的组成和结构特征,它们之间差别细微,由分层抽样建立的3个图库都具有一定程度的总体特征,其中图库1(Lib01)是由每类属(层)中随机抽取单个样品图谱组成的,而图库2和3(Lib02, Lib03)是平均光谱图库,很显然利用平均光谱图库2和3(Lib02, Lib03)进行归类可以减小各种误差从而提高预测的准确度,这与上述结果相吻合。

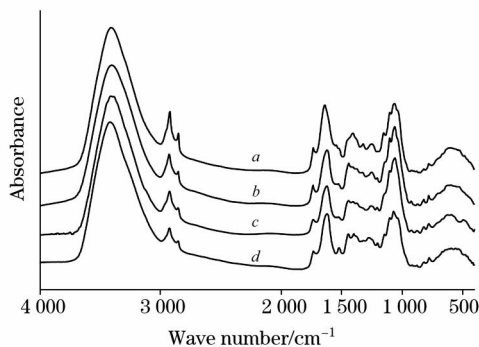


Fig 1 Average FTIR spectra of four subgenuses from *Rhododendron*

- a: Subgen. pentanthera (G. Don) pojarkova;
b: Subgen. tsutsusi (G. Don) pojarkova;
c: Subgen. pseudorhodorastrum sleumer;
d: Subgen. hymenabthes (Blume) K. Koch

Table 3 Comparison of the unknown samples spectra with the library (Lib02) including the average of three spectra sample of each variety

未知样品	与羊蹄躑亚属 的匹配数值	与常绿杜鹃亚 属的匹配数值	与糙叶杜鹃亚 属的匹配数值	与映山红亚属 的匹配数值
Y01	94.52	77.24	85.21	86.16
Y02	93.18	76.87	85.23	86.46
Y03	93.40	78.62	84.39	86.06
Y04	94.70	81.10	82.91	86.59
Y05	94.83	76.07	80.01	81.39
Y06	93.00	78.85	84.48	86.54
Y07	93.90	80.17	83.92	87.08
Y08	90.41	69.89	81.61	84.11
Y09	91.03	74.35	82.59	84.41
Y10	90.73	70.93	83.10	85.02
Y11	91.30	76.87	86.52	86.54
Y12	94.60	77.87	77.48	80.46
Y13	94.27	78.78	84.64	86.12
Y14	93.03	75.94	84.73	86.73
M01	77.25	95.22	79.80	81.67
M02	76.04	96.84	78.15	80.27
M03	78.74	92.82	81.91	82.80
M04	76.22	91.51	79.61	80.97
M05	75.96	90.04	78.92	79.25
M06	75.26	84.75	79.80	82.05
M07	82.46	93.24	84.54	86.29
M08	80.13	96.83	83.49	85.87
M09	80.79	94.06	84.44	86.31
M10	82.35	87.53	84.06	83.44
M11	84.29	88.65	84.45	84.67
M12	82.76	90.95	83.49	85.65
M13	80.23	83.30	81.86	81.99
M14	79.96	89.20	79.88	80.18
M15	78.52	90.77	80.07	80.28
M16	80.42	95.80	80.32	81.29
M17	79.06	83.50	81.31	82.61
X01	86.56	82.70	99.32	91.93
X02	84.83	80.37	96.53	90.75
X03	82.04	78.26	97.67	87.77
X04	83.32	81.69	99.35	92.03
X05	83.96	83.73	99.47	91.53
X06	78.69	75.78	93.68	85.22
X07	84.95	81.69	98.35	92.18
X08	84.43	81.53	99.31	91.57
J01	87.09	80.20	88.93	95.11
J02	87.20	78.66	88.15	96.31
J03	84.13	79.88	90.95	95.19
J04	83.66	82.35	90.03	96.06
J05	79.74	82.24	86.11	93.56
J06	80.94	84.29	87.28	95.55
J07	80.91	88.89	87.67	94.40

Table 4 Comparison of the unknown samples spectra with the library (Lib03) including the average of all spectra of each variety

未知样品	与羊蹄躑亚属 的匹配数值	与常绿杜鹃亚 属的匹配数值	与糙叶杜鹃亚 属的匹配数值	与映山红亚属 的匹配数值
Y01	95.83	81.62	84.79	86.65
Y02	95.94	81.52	84.74	87.11
Y03	95.81	82.66	83.91	86.41
Y04	96.16	84.94	82.91	86.59
Y05	91.83	79.97	79.25	81.59
Y06	95.17	82.63	84.07	86.90
Y07	96.14	84.07	83.37	87.23
Y08	93.74	75.35	81.22	84.94
Y09	94.29	78.35	82.31	84.59
Y10	94.49	76.28	82.85	85.52
Y11	93.77	81.45	85.63	86.87
Y12	91.38	80.56	76.77	80.22
Y13	95.98	82.66	84.04	86.28
Y14	96.17	81.00	84.27	87.05
M01	76.37	95.26	78.54	81.17
M02	75.38	94.53	76.93	79.94
M03	78.38	94.42	80.59	82.46
M04	75.83	91.62	78.22	80.84
M05	75.27	92.90	77.68	79.11
M06	76.13	88.46	79.38	81.90
M07	82.71	96.01	83.39	85.93
M08	80.19	95.27	82.34	85.56
M09	81.26	95.92	83.60	86.10
M10	83.42	92.32	82.88	83.69
M11	85.38	93.70	83.34	84.77
M12	84.01	93.48	82.60	85.34
M13	81.36	89.05	80.77	82.16
M14	79.89	92.46	78.48	80.15
M15	78.67	92.79	78.66	80.40
M16	80.26	93.70	78.99	81.14
M17	80.41	89.25	80.40	82.48
X01	88.87	87.09	98.75	91.93
X02	87.26	85.30	96.54	91.13
X03	84.78	82.95	96.98	88.40
X04	85.95	86.06	99.39	92.40
X05	86.18	87.88	98.96	91.91
X06	81.09	79.58	96.04	85.50
X07	87.44	85.99	98.44	92.50
X08	87.13	85.96	99.14	91.90
J01	90.18	84.31	88.53	96.42
J02	89.94	83.37	87.85	96.40
J03	87.27	83.51	90.39	96.36
J04	86.17	85.07	89.26	95.83
J05	81.80	85.51	85.88	94.55
J06	83.09	87.17	87.23	94.61
J07	82.74	90.34	87.58	94.29

此方法达到预期鉴别分类的目的。为了得到更好的结果,还可以增加更多的类属和样品个数建立大型数据库从而

提高预测的准确性和多样性。

3 结 论

利用傅里叶变换红外光谱对杜鹃花属植物 4 个亚属 46 个花瓣进行了测量, 结果显示红外光谱特征峰出现的频率位置基本一致, 仅在峰形及相对吸收强度上略有差异。结合专

业光谱软件 OMNIC 建立光谱数据库, 未知样品与光谱数据库比较得出匹配数值归类, 结果可以准确的鉴别分类 4 个亚属。增加样品的类属与个数建立大型数据库, 可以提高鉴别的准确性和多样性。研究表明傅里叶变换红外光谱结合适当的方法能够准确地鉴别分类植物系统, 这为植物的鉴别分类研究提供了一种快速、便利的方法。

参 考 文 献

- [1] FANG Rui-zheng(方瑞征). Flora Reipublicae Popularis Cinicae(中国植物志). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1999.
- [2] CHEN Xun(陈 训). China Journal of Chinese Materia Medica(中国中药杂志), 1999, 24(6): 334.
- [3] Gary C H, Valerie A, Margi C, et al. Plant Science, 2006, 170: 314.
- [4] Mubo A S, Adeniyi A J, Adeyemi E. Biochemical Systematics and Ecology, 2005, 33: 79.
- [5] ZHAO Xi-hua, ZHANG Le-hua, WANG Mar-ying, et al(赵喜华, 张乐华, 王曼莹, 等). Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis(江西农业大学学报), 2006, 28(4): 544.
- [6] Lamprell H, Mazerolles G, Kodjo A, et al. International Journal of Food Microbiology, 2006, 108: 125.
- [7] Klinkenberg M, Dohrmann R, Kaufhold S, et al. Applied Clay Science, 2006, 33: 195.
- [8] L Ü Hongfei, CHENG Cungui, TAN Xi, et al. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(4): 401.
- [9] Ritsuko H, Junji S. Carbohydrate Polymers, 2003, 52: 449.
- [10] Mathilde F, Herman H, Samantha V. Plant Physiol. Biochem., 2000, 38(1/2): 15.
- [11] LUO Bi-rong, LIU Gang, SHI You-ming, et al(罗庇荣, 刘 刚, 时有明, 等). Infrared Technology(红外技术), 2009, 31(1): 39.
- [12] Tarantilis P A, Troianou V E, Pappas C S, et al. Food Chemistry, 2008, 111: 192.
- [13] CAO Ming-ju, ZHENG Xiao-yan, et al(曹明菊, 郑晓燕, 等). South China Agriculture(南方农业), 2007, 4(8): 56.
- [14] RUAN Hai-xing, WANG Zi-jian, WU Ke-feng, et al(阮海星, 王子坚, 吴克枫, 等). Journal of Plant Resources and Environment(植物资源与环境), 1997, 6(1): 25.
- [15] ZHANG Qi-han, GUO Jian, ZHANG Ming-zhe, et al(张奇涵, 郭 健, 张明哲, 等). Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis(北京大学学报), 1996, 32(6): 703.
- [16] XU Mei-yi, HAN Ya-li, DONGYE Guang-zhi, et al(徐美奕, 韩雅莉, 东野广智, 等). Journal of Chinese Medicinal Materials(中药材), 2007, 30(10): 1252.
- [17] YANG Guang-yu, ZHANG Jing-hua, ZOU Wei-hua, et al(杨贯羽, 张敬华, 邹卫华, 等). Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory(光谱实验室), 2006, 23(2): 390.
- [18] Sevgi T G, Musa D, Feride S. Applied Spectroscopy, 2007, 61: 300.
- [19] XIE Jing-xi, CHANG Jun-biao, WANG Xu-ming(谢晶曦, 常俊标, 王绪明). Application of Infrared Spectroscopy in Organic Chemistry and Pharmaceutical Chemistry(红外光谱在有机化学和药物化学中的应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2001. 77.

Differentiation of *Rhododendron* Based on the Infrared Spectra of Petals

LUO Bi-rong¹, LIU Gang^{1*}, ZHANG Yu-bin¹, ZHOU Xiang-ping¹, SANG Lin²

1. Department of Physics and Electron Information, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China

2. Department of Life Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China

Abstract Several techniques were used to identify and classify plants. Mid-infrared spectroscopy combined with appropriate software was used in an attempt to differentiate different subgenus from *Rhododendron*. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used for obtaining vibrational spectra of 46 petals from *Rhododendron*. Very minor differences were observed in the FTIR spectra among four subgenera. For the purpose of rapid differentiation, libraries of spectra were created using samples from each subgenus variety. Spectra of unknown samples were recorded and compared with those of the libraries and the rate of affinity (the match value) was measured automatically using the appropriate software (OMNIC). The results showed that petal samples from different subgenus varieties can be differentiated from each other. The study demonstrates that combining FTIR spectroscopy with appropriate analysis method can classify *Rhododendron* plants at subgenus level. It offers a potential method for the taxonomic research on plants system.

Keywords Fourier transform infrared spectroscopy; *Rhododendron*; Subgenus; Differentiation

* Corresponding author

(Received May 10, 2009; accepted Aug. 20, 2009)

《光谱学与光谱分析》投稿简则

《光谱学与光谱分析》是由中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的专业学术期刊。国内外公开发行,从 2004 年起为月刊,大 16 开本,2010 年仍为月刊,每期 288 页。《光谱学与光谱分析》主要报道我国光谱学与光谱分析领域内具有创新性科研成果,及时反映国内外光谱学与光谱分析的进展和动态;发现并培育人才,推动和促进光谱学与光谱分析的发展。为科教兴国服务。读者对象为从事光谱学与光谱分析的科研人员、教学人员、分析测试人员和科研管理干部。

栏目设置和要求

1. 研究报告 要求具有创新性的研究成果,一般文章以 8000 字(包括图表、参考文献、作者姓名、单位和中文、英文摘要,下同)为宜。
2. 研究简报 要求在前人研究的基础上有重大改进或阶段性研究成果,一般不超过 5000 字。
3. 评述与进展 要求评述国内外本专业的发展前沿和进展动态,一般不超过 10000 字。
4. 新仪器装置 要求介绍新型光谱仪器的研制、开发、使用性能和应用,一般不超过 5000 字。
5. 来稿摘登 要求测试手段及方法有改进并有应用交流价值,一般以 3000~4000 字为宜。

稿件要求

1. 投稿者请经本刊编委(或历届编委)一人或本专业知名专家推荐,并附单位保密审查意见及作者署名顺序,主要作者介绍。文章有重大经济效益或有创新者,请说明,同时注明受国家级基金或国家自然科学基金资助情况。
2. 来稿要观点明确、数据真实可靠、层次分明、言简意明、重点突出。来稿必须是网上在线投稿(含各种符号和外文字母大写、小写、正体、斜体;希腊字母、拉丁字母;上角、下角标位置应标清楚)。中文摘要以 300 字为宜,英文摘要以 2000 字符(相当于 300 个英文单词)为宜;另附关键词。要求来稿应达到“齐、清、定”,中文、英文文字通顺,方可接受送审。
3. 为了进一步统一和完善投稿方式、缩短论文发表周期,本刊在 2007 年 7 月 1 日以后,不再接收以邮寄方式或 e-mail 方式的投稿,只收网上在线投稿。严禁“一稿两投”、“一稿多投”,一经发现,取消三年投稿资格。
4. 文中插图要求完整,图中坐标、线条、单位、符号、图注等应标注准确、完整。图幅大小:单栏图 7.5cm(宽)×6cm(高);双栏图:14cm(宽)×6cm(高);图中数字、图题、表题全部用中文、英文对照,图中数字、中文、英文全用 6 号字(另请备一份合格的图附在文章的后边)。
5. 文中出现的单位必须按“中华人民共和国计量标准”及有关 GB 标准规定缮写。物理量符号一律用斜体,单位符号和词头用正体字母。
6. 名词术语,请参照全国科学技术名词规定缮写。
7. 参考文献,采用顺序编码制,只列主要文献;以 15~20 条为宜。内部资料、私人通讯、未经公开发表的一律不能引用。日文、俄文等非英文文献,请用英文表述;中文文献和中文图书采用中、英文对照表述,文献缮写格式请参照本刊。
8. 请在投稿第一页左下角写明投稿联系人的电话和两个 e-mail,以便及时联系。

稿件处理

1. 自收到稿件之日起,一个月内作者会收到编辑部的稿件处理意见。请根据录用通知中所提出的要求认真修改,希望修改稿在 30 天内寄回编辑部,并作为作者最终定稿(当作者接到校样时,以此修改稿为准进行校对,请勿再做大的改动),若二个月内编辑部没收到修改稿,将视为自行撤稿处理。
2. 有重大创新并有基金资助者可优先发表;不录用的稿件,编辑部将尽快通知作者,底稿一律不退,请自留底稿。
3. 来稿一经发表将酌致稿酬并送样刊两本,本人文章两份抽页。
4. 遵照“中华人民共和国著作权法”,投稿作者须明确表示,该文版权(含各种媒体的版权)授权给光谱学与光谱分析期刊社。国内外各大文献检索系统摘录本刊刊出的论文;凡不同意被检索刊物无稿酬摘引者,请在投稿时事先声明,否则,本刊一律认为已获作者授权认可。

5. 修改稿请寄:100081 北京市海淀区魏公村学院南路 76 号,光谱学与光谱分析期刊社

电话:010-62182998 或 62181070 传真:010-62181070

e-mail: chngpxygpfx@vip.sina.com; 修改稿专用邮箱: gp2008@vip.sina.com 网址: <http://www.gpxygpfx.com>