

雷公藤无性系光合特性 与内源植物激素关系的研究

吴承祯^{1,2} 洪伟^{1,2} 杨细明³ 李键^{1,2} 陈灿^{1,2} 林勇明^{1,2}

(1. 福建农林大学 林学院 福建 福州 350002; 2. 福建省高校森林生态系统过程与经营管理重点实验室 福建 福州 350002; 3. 福建省林木种苗总站 福建 福州 350003)

摘要: 在测定 24 个雷公藤(*Tripterygium wilfordii* Hook. f.) 无性系光合特征及内源植物激素含量的基础上, 采用典范相关分析方法探讨雷公藤无性系光合作用特征与内源植物激素含量及其比值之间关系。雷公藤无性系光合特性指标与内源植物激素含量的第一典范相关系数达显著水平, 且包含总相关信息的 56.43%, 说明雷公藤无性系光合特性指标对其内源激素含量有一定的影响; 在该对典范变量中, U_1 的 X_2 系数(1.6346) 绝对值最大, V_1 的 Y_1 系数(-1.3602) 绝对值最大, 即雷公藤无性系光合特性与内源植物激素含量的相关主要集中在蒸腾速率 T_r 与 IAA 的负相关关系上。雷公藤无性系光合特性指标与内源植物激素比值的第一典范相关系数达显著水平, 且包含总相关信息的 65.30%, 说明雷公藤无性系光合特性与其内源激素比值之间存在一定关系, 光合特性对内源激素比值存在一定的影响; 在该对典范变量中, U_1 的 X_2 系数(-1.2766) 绝对值最大, V_1 的 Y_2 系数(-1.2583) 绝对值最大, 即变量 U_1 和 V_1 之间主要是蒸腾速率 T_r 与 ABAGA 呈正相关。基于典范相关分析的第一典型变量在二维坐标上的排序, 将 24 个雷公藤无性系划分为 4 类, 为雷公藤良种选育奠定了理论基础。

关键词: 雷公藤; 无性系; 光合特性; 内源激素; 典范相关分析

中图分类号: Q945.79; Q949.754.7 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2010)05-0968-06

Studies on the Relationship between Photosynthetic Physiology and Endogenous Hormones in Clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f

WU Cheng-zhen^{1,2}, HONG Wei^{1,2}, YANG Xi-ming³,
LI Jian^{1,2}, CHEN Can^{1,2}, LIN Yong-ming^{1,2}

(1. Forestry College of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Laboratory of Forest Ecological System Process and Management of Fujian Universities, Fuzhou 350002, China; 3. Central Station of Forest Seeds and Seedling of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Based on the observed data of photosynthetic physiology and endogenous hormone contents in 24 clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f, the canonical correlation analysis was used to analyze the relationship

收稿日期: 2010-08-08

基金项目: 国家自然科学基金(30901131)(31070606)、教育部博士学科点专项基金(20093515110006)和福建省科技重大专项(2006NZ0001A)

作者简介: 吴承祯(1970—), 男, 江西吉安人, 博士, 教授(二级), 博士生导师。主要从事森林经理学、森林生态学等领域研究工作。1989年9月-1993年7月于江西农业大学林学院林学专业学习; 1993年7月考入福建林学院攻读森林经理学硕士学位, 毕业后留校任教。获省部级科学技术二等奖5项、三等奖13项; 出版《杉木数量经营学引论》等专著6部; 在《林业科学》、《自然资源学报》等刊物上发表学术论文100余篇。2000年享受国务院政府特殊津贴, 2006年入选“新世纪百千万人才工程国家级人选”, 并荣获“福建省教学名师”、“福建省师德标兵”、“中国林业青年科技奖”、“福建青年科技奖”、“运盛(福建)青年科技奖”、“霍英东青年教师奖”、“福建省五四青年奖章”等荣誉称号。E-mail: fjwcz@126.com。

between photosynthetic physiology and endogenous hormone contents (ratios) in the clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f. The results showed that the first canonical correlation coefficients ($r = 0.7876$) between photosynthetic physiology and endogenous hormone contents in the 24 clones was significant, which contained 56.43% information of all correlation information. This means that there existed a stable feed-back mechanism between photosynthetic physiology and endogenous hormone contents in the clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f. And the main relationship between photosynthetic physiology and endogenous hormone contents in the clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f was concentrated on transpiration rate (T_r) and IAA, because the absolute value of X_2 coefficient about U_1 was the greatest (1.6346) and the absolute value of Y_1 coefficient about V_1 was the greatest (-1.3602). The first canonical correlation coefficients ($r = 0.8379$) between photosynthetic physiology and endogenous hormone ratios in the 24 clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f was significant, which contained 65.30% information of all correlation information. This means that there existed a stable positive relationship between photosynthetic physiology and endogenous hormone ratios in the clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f. And the positive relationship between photosynthetic physiology and endogenous hormone ratios in the clones was concentrated on transpiration rate (T_r) and ABA/GA, because of the absolute value of X_2 coefficient about U_1 being the greatest (-1.2766) and the absolute value of Y_2 coefficient about V_1 being the greatest (-1.2583). The first canonical variables were arranged on two-dimensional coordinate axis based on the method of canonical correlation analysis the 24 clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f were divided into four types, which would provide reference for breeding fine varieties of *Tripterygium wilfordii* Hook. f.

Key words: *Tripterygium wilfordii* Hook. f.; clone; photosynthetic physiology; endogenous hormones; canonical correlation analysis

雷公藤(*Tripterygium wilfordii* Hook. f.) 属卫矛科(Celastraceae) 雷公藤属(*Tripterygium*) 植物,为多年生落叶藤本,为我国地道中药材,其以根入药,具祛风除湿、活血通络、杀虫解毒等功效^[1]。随着雷公藤药用成分的鉴定与临床机理实验的深入,其药用效果及开发价值进一步得到专家的认可,雷公藤已成为一种重要的药用配伍材料。但由于天然雷公藤资源残存较少而市场需求量大,近年来国内陆续开展了雷公藤的人工栽培试验^[2-3],其中福建省泰宁县雷公藤不仅品质优良^[4],而且种植面积为全国之最,为我国重要的雷公藤种植区。但目前有关雷公藤栽培领域的研究多集中于苗木繁育、造林模式研究等^[5-6],对其生理生态学领域的研究仅有光合特性、内源植物激素等方面的研究^[7-8]。

植物激素对植物生长与发育、器官建成与生物量积累等生理过程起到重要的调控作用,它们之间还可以通过相互协作或拮抗,对植物的生长发育起调控作用^[9]。光合作用是植物生长过程最为重要的生理过程^[10-11],是绿色植物制造有机物质并释放氧气的生理过程,是绿色植物体内有机物质和能量的形成过程。植物激素对光合作用存在一定的影响与响应,生长素(IAA)、赤霉素(GA)、脱落酸(ABA)、玉米素核苷(ZR)都是影响植物生长发育的激素,在一定程度上影响着植物的光合作用等生理过程,进而影响植物的生长状况^[12-13]。本研究以雷公藤无性系光合特性与内源激素(Endogenous hormone)的合成水平、平衡状态等实验与观测数据为基础^[7-8],采用典型相关分析探讨雷公藤光合特性与内源植物激素关系,以揭示雷公藤无性系生理生态学特征和规律,从而为雷公藤无性系选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与无性系繁育

以2004年3—4月在福建省泰宁县雷公藤人工林中经严格按照选优程序筛选出的23棵优良单株及1株普通对照单株为繁育材料,于2004年4月11日在福建省林业科学研究院苗圃地按完全区组设计,采用根插技术建立雷公藤无性系试验植株。优选无性系编号为1~23,对照无性系编号为24。

1.2 取样与测定方法

于2005年9月上旬,以扦插获得24个雷公藤无性系为对象进行其光合特征与内源植物激素测定。每个无性系选择标准株1株,且要求各无性系标准株基本一致,选取饱满的枝条,从梢顶倒数第12~13片完整功能叶,采用美国CID公司生产的CI-301 CO₂ GAS ANALYZER测定各无性系光合特性指标。

光合特性测定过程中设置恒定光合有效辐射为 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,每个雷公藤无性系测定 3 片叶子 ,每片叶子重复测定 20 次 ,取其平均值。测定的生理生态因子有净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)等^[7]。于 09:00 时以光合特性测定的雷公藤各无性系标准株 ,沿植株从上往下 ,按固定间隔抽取有代表性的完整功能叶 7~8 片。将样品置于含有 3 mL 经过预冷处理的体积分数为 80% 甲醇的指形管中 ,密封后立即放入低温冰箱中浸提。ABA、IAA、GA、ZR 含量的测定方法采用 ELISA 法^[8](所用的试剂盒购自南京农业大学 ,具体操作按试剂盒说明书进行)。

1.3 典范相关分析

典范相关分析是一种研究两组变量间相关关系的多元分析方法 ,用来找出第 1 组变量 P 个线性组合函数和第 2 组变量的 Q 个线性组合函数:

$$U = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_pX_p \tag{1}$$

$$V = b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_qY_q \tag{2}$$

(1)、(2) 式中 $a_1、a_2、\dots、a_p$ 和 $b_1、b_2、\dots、b_q$ 是待定系数 ,使得 U 和 V 间具有最大相关系数 ,即“典范相关系数” ,用来度量两个线性函数间的联系强度。典范相关分析可以揭示“两组”指标之间的内部联系 ,而这两组指标的内容可以不同 ,因此本研究分析以雷公藤无性系光合特性为“一组”指标 ,内源植物激素含量(比值)为“一组”指标 ,运用 DPS 7.5 数据处理系统进行分析。

2 结果与分析

2.1 雷公藤无性系光合特性与内源植物激素的典范相关分析指标的选择

以雷公藤无性系光合特性为 X 变量 ,分别以雷公藤无性系内源植物激素含量(ABA、IAA、GA、ZR 含量)及其比值为 Y 变量 ,应用典范相关分析探讨 X 变量与 Y 变量之间关系。经统计计算 ,得到 X 变量的样本相关阵、 Y 变量的样本相关阵、 X 变量和 Y 变量的联合相关阵 ,并计算获得需求特征根的非负定阵 ,其非零特征根 λ^2 和特征向量。其中 X 变量包括净光合速率 P_n 、蒸腾速率 T_r 、气孔导度 G_s 、胞间 CO_2 浓度 C_i , Y 变量分别为 IAA、GA、ABA、ZR 含量和 ABA/IAA、ABA/GA、ABA/ZR、ABA/(IAA + GA + ZR) 。经计算 ,可以获得各变量对应指标的均值与标准差(表 1)。在变量的各指标标准差中 X 变量中指标标准差最大为气孔导度 G_s [$93.6641 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、最小为蒸腾速率 T_r [$0.5548 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] ,差异相对较大; Y 变量中指标标准差均相对较小 ,植物激素含量最大为 IAA ($8.1824 \text{ ng}/\text{g} \cdot \text{FW}$)、最小为 GA ($1.9768 \text{ ng}/\text{g} \cdot \text{FW}$) ,各指标间差异相对较小; 而内源植物激素比值之间 ,标准差最大为 ABA/GA (0.5425)、最小为 ABA/(IAA + GA + ZR) (0.0873)。

表 1 典范相关分析变量特征值

Tab. 1 Eigenvalues of photosynthetic physiology and endogenous hormones for canonical analysis

变量 Variables	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	变量 Variable	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	变量 Variables	均值 Mean value	标准差 Standard deviation
$P_n/\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})$	6.997 8	2.134 6	IAA ($\text{ng}/\text{g} \cdot \text{FW}$)	65.559 1	8.182 4	ABA/IAA	1.163 6	0.198 2
$T_r/\text{mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})$	1.523 4	0.554 8	GA ($\text{ng}/\text{g} \cdot \text{FW}$)	20.168 3	1.976 8	ABA/GA	3.755 2	0.542 5
$G_s/\text{mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})$	193.804 6	93.664 1	ZR ($\text{ng}/\text{g} \cdot \text{FW}$)	33.766 8	2.628 1	ABA/ZR	2.229 3	0.236 9
$C_i/\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})$	311.329 2	23.007 4	ABA ($\text{ng}/\text{g} \cdot \text{FW}$)	74.974 1	7.196 0	ABA/ (IAA + GA + ZR)	0.633 5	0.087 3

2.2 雷公藤无性系光合特性与内源植物激素含量的典范相关分析

选取 2 对典型变量加以描述 ,经计算可得雷公藤无性系光合特性和内源植物激素的 2 对典型变量。第 1 对典型变量:

$$U_1 = -0.3570X_1 + 1.6346X_2 - 1.2053X_3 + 0.2685X_4 \tag{3}$$

$$V_1 = -1.360 2Y_1 + 0.879 2Y_2 + 0.053 3Y_3 + 0.201 1Y_4 \tag{4}$$

第 2 对典型变量:

$$U_2 = -1.389 7X_1 + 0.560 6X_2 + 2.052 5X_3 - 1.288 9X_4 \tag{5}$$

$$V_1 = -0.273 6Y_1 + 0.453 0Y_2 - 0.271 1Y_3 - 0.940 2Y_4 \tag{6}$$

将雷公藤各无性系光合特性与内源植物激素原始数据代入(3)~(6)式,即可得到雷公藤无性系针对光合特性与内源植物激素含量典范相关分析在第 1 对和第 2 对典型变量上的排序坐标,同时对 4 个特征根对应的典型向量进行显著性检验(表 2)。雷公藤无性系光合特性指标与内源植物激素含量的 4 个相互独立的典范相关系数中有 1 个达到显著水平,且包含总相关信息的 56.43%,说明雷公藤无性系光合特性对其内源激素有一定的影响。在该对典范变量中 U_1 的 X_2 系数(1.634 6)绝对值最大,其次为 X_3 系数的绝对值(-1.205 3), V_1 的 Y_1 系数(-1.360 2)绝对值最大,其次为 Y_2 系数的绝对值(0.879 2)即变量 U_1 和 V_1 之间主要是蒸腾速率 T_r 与 IAA 呈现负相关关系。为此,进一步绘制雷公藤无性系光合特性与内源植物激素含量典范相关分析第 1 对典型变量的排序坐标(图 1)。

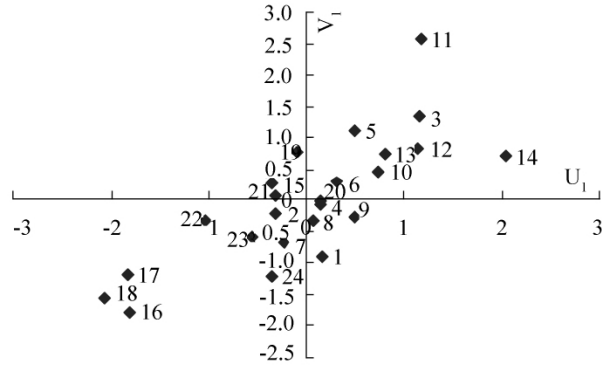


图 1 雷公藤光合特性与内源植物激素含量第 1 对典型变量排序
Fig.1 Ordination of the first pair canonical variables between photosynthetic physiology and endogenous hormones content of *Tripterygium wilfordii*

表 2 典型相关系数显著性检验

Tab.2 Chi-square tests of cononical correlation coefficients

典范向量 Cononical vectors	典范相关系数 Cononical correlation coefficient	特征根 Eigenvalues	Wilk's	卡方值 Chi-square	自由度 Degree of freedom	p 值 p-value
1	0.787 6	0.620 3	0.214 5	28.479 9	16	0.027 7
2	0.598 5	0.358 2	0.564 9	10.564 5	9	0.306 7
3	0.333 2	0.111 0	0.880 2	2.359 7	4	0.669 9
4	0.099 1	0.009 8	0.990 2	0.182 5	1	0.669 2

2.3 雷公藤无性系光合特性与内源植物激素比值的典范相关分析

经计算可得雷公藤无性系光合特性和内源植物激素比值关系的 2 对典型变量,第 1 对典型变量:

$$U_1 = 0.330 2X_1 - 1.276 6X_2 + 0.803 5X_3 - 0.137 4X_4 \tag{7}$$

$$V_1 = -0.067 2Y_1 - 1.258 3Y_2 + 0.730 6Y_3 + 0.181 5Y_4 \tag{8}$$

第 2 对典型变量:

$$U_2 = -1.098 9X_1 + 1.338 3X_2 - 0.115 1X_3 - 0.510 4X_4 \tag{9}$$

$$V_1 = -1.282 4Y_1 + 0.888 4Y_2 - 1.167 9Y_3 + 0.629 5Y_4 \tag{10}$$

将雷公藤各无性系光合特性与内源植物激素比值原始数据代入(7)~(10)式,计算得到雷公藤无性系针对光合特性与内源植物激素比值的典范相关分析在第 1 对和第 2 对典型变量上的排序坐标,对 4 个特征根所对应的典型向量进行显著性检验(表 3),仅有 1 个典范相关系数达到显著水平,但包含总相关信息的 65.30%,说明雷公藤无性系光合特性对其内源激素比值存在一定关系,光合特性对内源激素比值存在一定的影响。在该对典范变量中, U_1 的 X_2 系数(-1.276 6)绝对值最大,其次为 X_3 系数的绝对值(0.803 5), V_1 的 Y_2 系数(-1.258 3)绝对值最大,其次为 Y_3 系数的绝对值(0.730 6)。该对典型变量的组成及相关特性表明,雷公藤无性系光合特性与内源植物激素比值的相关主要集中在蒸腾速率 T_r 与 GA 的相互关系上。绘制雷公藤无性系光合特性与内源植物激素比值的典范相关分析在第 1 对典型变量上的排序坐标图(图 2)表明雷公藤无性系光合特性与内源植物激素比值的第 1 对典型变量排序图与图 1 基本一致,说明雷公藤光合特性不仅影响其内源植物激素含量,还在一定程度上影响其激素平衡。

表 3 典型相关系数显著性检验

Tab. 3 Chi - square tests of cononical correlation coefficients

典范向量 Cononical vectors	典范相关系数 Cononical correlation coefficient	特征根 Eigenvalues	Wilk' s	卡方值 Chi - square	自由度 Degree of freedom	p 值 p - value
1	0. 837 9	0. 702 1	0. 197 3	30. 027 7	16	0. 017 9
2	0. 450 9	0. 203 3	0. 662 3	7. 622 3	9	0. 572 6
3	0. 404 2	0. 163 4	0. 831 3	3. 417 4	4	0. 490 6
4	0. 079 7	0. 006 4	0. 993 6	0. 117 9	1	0. 731 3

3 结论与讨论

植物光合同化物在不同器官组织中的分配格局,对植物产量的形成及气候生产潜力发挥具有重要作用。植物光合同化物的分配格局不仅受环境、气候等条件的制约,还与植物内源激素含量息息相关^[12]。IAA 的含量与干物质的积累密切相关,CTK、GAs、IAA 等激素都参与库活性的建立,光合产物运输受作用于 AHA,ABA 在源端具有消极作用、库端则具有积极效应。本研究认为,雷公藤光合作用与 ABA 含量呈正相关关系,这与小麦、玉米、大豆等作物果实的生长速率与其 ABA 的含量呈正相关^[12]相一致,但雷公藤光合特性与植物内源激素之间的作用机理及其过程还有待于进一步研究。

雷公藤无性系光合特性与内源植物激素含量之间的第 1 对典型变量的相关系数为 0. 787 6, χ^2 检验表明其第 1 对典型变量显著相关(表 2)。也就是说雷公藤无性系光合特性第 1 典型变量 U_1 对内源植物激素含量第 1 典型变量 V_1 的影响较大,而第 1 光合特征综合因子中起主要作用的是 X_2 和 X_3 因素,即蒸腾速率 T_r 和气孔导度 G_s ; 第 1 内源植物激素含量综合因子起主要作用的是 Y_1 因素和 Y_2 因素,即激素 IAA 和 GA。由此可见,雷公藤蒸腾速率 T_r 和气孔导度 G_s 在一定程度上对其植物激素 IAA 和 GA 具有抑制作用,且蒸腾速率 T_r 对其内源激素 IAA 影响的负效应最大。第 2 对典型变量的相关系数为 0. 598 5,说明第 2 综合光合特性因子对第 2 内源植物激素含量因子有一定程度相关,而第 2 光合特性因子中起主要作用的 X_1 和 X_3 因素,即净光合速率 P_n 和气孔导度 G_s 元素; 第 2 综合内源植物激素含量因子中起主要作用的是元素 Y_4 ,即 ABA,表明净光合速率 P_n 和气孔导度 G_s 元素在一定程度上对 ABA 有负效应,即有一定的抑制作用。这与 Brenner^[14] 研究认为“脱落酸可能控制了同化产物的分配”观点相符。

雷公藤无性系光合特性与内源植物激素比值之间的第 1 对典型变量的相关系数为 0. 837 9, χ^2 检验表明其第 1 对典型变量达到显著相关水平(表 3)。也就是说雷公藤无性系光合特性第 1 典型变量 U_1 对内源植物激素比值第 1 典型变量 V_1 的影响较大,而第 1 光合特征综合因子中起主要作用的是 X_2 和 X_3 因素,即蒸腾速率 T_r 和气孔导度 G_s ; 第 1 内源植物激素比值综合因子起主要作用的是 Y_2 因素和 Y_3 因素,即激素 ABA/GA 和 ABA/ZR。因此,雷公藤蒸腾速率 T_r 在一定程度上对其植物激素比值 ABA/GA 和 ABA/ZR 具有促进作用,而气孔导度 G_s 对其内源植物激素比值 ABA/GA 和 ABA/ZR 具有抑制作用^[15]。第 2 对典型变量的相关系数为 0. 450 9,说明第 2 综合光合特性因子对第 2 内源植物激素比值因子有一定程度相关,而第 2 光合特性因子中起主要作用的 X_1 和 X_2 因素,即净光合速率 P_n 和蒸腾速率

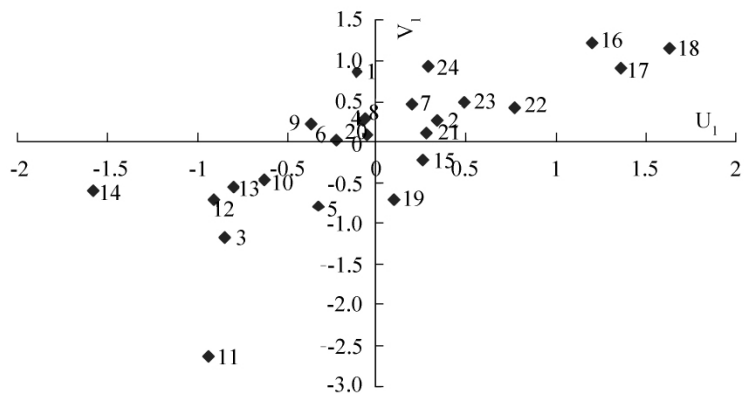


图 2 雷公藤光合特性与内源植物激素比值第 1 对典型变量排序

Fig. 2 Ordination of the first pair canonical variables between photosynthetic physiology and endogenous hormones ratio of *Tripterygium wilfordii*

T_r 元素; 第2综合内源植物激素比值因子中起主要作用的是元素 Y_1 和 Y_3 , 即 ABA/IAA、ABA/ZR, 表明净光合速率 P_n 和蒸腾速率 T_r 元素在一定程度上对内源植物激素比值 ABA/IAA、ABA/ZR 有正效应, 其中蒸腾速率 T_r 元素对内源植物激素比值 ABA/IAA 的正作用最大。

雷公藤无性系光合特征与内源植物激素(比值)典范相关分析第1典型变量排序表明(图1、图2), 当典型相关分析指标不同时, 第1典型变量排序结果不一致, 其中主要是由于指标不同所致, 前者是用内源植物激素含量作为 Y 变量, 而后者是用内源植物激素比值作为 Y 变量以反映的是内源激素的平衡性, 所以两者所得雷公藤无性系排序结果恰好是象限的不同, 而排序分类结果基本一致。进一步将24个雷公藤无性系划分为4个类群, 第1类包括无性系16、17、18, 第2类包括无性系1、2、7、22、23、24, 第3类包括无性系4、6、8、9、15、19、20、21, 第4类包括无性系3、5、10、11、12、13、14。对上述4类进行有关变量的平均值与标准差的计算, 表明各类群之间存在显著差异, 为雷公藤的进一步良种选育奠定基础。

典范相关分析方法作为一种分析变量与变量之间关系的统计学方法, 已在肉桂(*Cinnamomum cassia*)、小麦(*Triticum aestivum*)、早籼稻(*Oryza sativa subsp. Indica*)、菜用大豆(*Glycine max*)和果蔗(*Saccharum officinarum*)等作物有关性状之间关系研究中得到广泛应用^[16]。雷公藤作为一种优良中药材, 其生理过程是人工栽培机制创新的基础, 但有关其生理过程指标与性状关系的研究鲜见报道, 仅有本课题组报道过雷公藤不同无性系光合特性与内源植物激素的比较分析^[7-8]。本研究进一步将典范相关分析应用于雷公藤无性系光合特性与内源植物激素之间关系的研究, 探讨影响植物光合作用的植物激素及其作用过程, 并基于此对24个雷公藤无性系进行典型变量排序, 从而为雷公藤良种选育奠定基础。但是, 目前许多植物激素的研究已经发展到以研究激素作用机理为主, 在分子水平上阐明受体、信号转导、基因表达等内容^[17], 而雷公藤内源激素的研究还停留在内源激素在组织培养中的应用^[18]、内源激素含量及其与光合特性简单相关分析^[8]等方面。因此, 雷公藤内源激素对光合作用的作用过程与机理、激素的受体结合蛋白及不同基因型雷公藤内源激素的遗传差异性研究还处于空白, 这些领域的研究都有待深入开展。

参考文献:

- [1] 洪伟, 李键, 吴承祯, 等. 雷公藤栽培及利用研究综述[J]. 福建林学院学报, 2007, 27(1): 92-96.
- [2] 杨细明, 洪伟, 吴承祯, 等. 雷公藤优良单株选择技术研究 I—雷公藤种内变异、生物量模型和选择性状的研究[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2008, 9(3): 256-260.
- [3] 李建鹃, 洪伟, 吴承祯, 等. 主成分分析和投影寻踪法在雷公藤优树选择中的应用[J]. 西南林学院学报, 2009, 6(3): 26-30.
- [4] 杨细明. 雷公藤速生无性系的早期选择[J]. 东北林业大学学报, 2008, 37(9): 17-18, 24.
- [5] 洪伟, 唐佳栋, 吴承祯, 等. 泰宁雷公藤根系分布规律[J]. 福建林学院学报, 2007, 27(2): 97-100.
- [6] 江锦红. 药用植物雷公藤扦插育苗试验[J]. 林业科技开发, 2004, 18(6): 55-56.
- [7] 杨细明, 洪伟, 吴承祯, 等. 雷公藤无性系苗木光合生理特性研究[J]. 福建林学院学报, 2008, 28(1): 14-18.
- [8] 杨细明. 雷公藤无性系苗木叶片内源植物激素水平分析[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(1): 94-98.
- [9] 石松利, 王迎春, 周健华. 不同生境条件四合木(*Tetraena mongolica*)内源激素季节变化及种群差异[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2252-2262.
- [10] 刘传和, 戴宏芬, 吴洁芳, 等. 冬季红宝石与新世纪番石榴叶片光合特性比较[J]. 果树学报, 2007, 24(4): 537-540.
- [11] 江力, 曹树青, 戴新宾, 等. 光强对烟草光合作用的影响[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(4): 17-20.
- [12] 沈毓涓. 脱落酸在光和产物分配中的作用[J]. 生物学杂志, 1991, 59(1): 1-4.
- [13] Qin Dong, Wang Jin-zheng, Guo Jian-min et al. The relation between endogenous hormones and late-germination in buds of avrolles apple[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(5): 564-571.
- [14] Brenner M L. The role of hormones in photosynthetate partitioning and seed filing. In P J Davies, ed. Plant hormones and their role in plant growth and development[J]. Martinus Nijhoff Publishers, Netherlands, 1987: 474-493.
- [15] Nis8en S J, Sutter E G. Stability of IAA and IBA in nutrient medium several tissue culture procedures[J]. HortScience, 1990, 25: 800-802.
- [16] 林江波, 潘大仁, 潘世明, 等. 果蔗叶片生理生化指标与品质性状的典范相关分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(3): 230-235.
- [17] 刘愚. 植物生长物质研究的进展[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 140-144.
- [18] 李琰, 冯俊涛, 陈新雨, 等. 雷公藤胚性愈伤组织再生植株的增殖及其稳定性[J]. 林业科学, 2009, 45(1): 57-61.