

高原湖泊湿地以植被指示为主的环评指标初探

杨 梅, 金振洲, 欧晓昆*

(云南大学 生态学与地植物学研究所, 昆明 650091)

摘 要: 分析探讨高原湖泊湿地的环境评价中, 如何应用一套由植被为主指示要素构成的环评指标, 并以云南石林长湖湖泊湿地为实例。按植被及其植物区系组成、动物区系和生境方面所表现特征的现况, 共设置以植被特征为主的 10 个评定指示要素。使用此类指标评价的前提是: 所评的各个高原湖泊湿地, 均在上述 10 个所规定的指示要素方面, 已取得调查研究的定量和定性数据资料。所以本方案的使用, 反而促成各高原湖泊湿地在以植被特征为主各评价要素的进一步考察和研究, 以作为参评的依据。

关键词: 高原湖泊湿地; 植被指示要素; 环境评价指标

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)05-0645-05

A preliminary research on environmental assessment indices based mainly on vegetation indicators for plateau lake wetlands

YANG Mei, JIN Zhen-Zhou, OU Xiao-Kun*

(Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Using wetland of Changhu Lake as an example, this paper tried to establish assessment indices of lake wetlands, and they were based mainly on vegetation indicators. The established indices would be applied in assessing environmental conditions of plateau lake wetlands. 10 groups of indicators representing characteristics of vegetation, flora, fauna and habitats were carried out for assessment process. Applicability of the proposed indices was determined on the availability of qualitative and quantitative data related to indicators, which was the premise when assessing. Meanwhile, it was important to note that the usage of the indices would promote collecting the unknown data on vegetation, flora, fauna and habitats of each plateau lake wetland, which would help assessing its environmental condition synthetically in the future.

Key words: plateau lake wetlands; vegetation indicators; environmental assessment indices

1 建立评价指标的目的和意义

高原湖泊湿地在我国主要分布在云南高原和青藏高原。云南高原由于海拔偏低, 纬度偏南, 其湖泊湿地及湿地周围的自然植被发育较青藏高原的为好, 其动植物区系较多样, 生态环境也较优越。已经

初步调查的云南高原湖泊湿地, 其水面面积大于 1 km² 的湖泊有 37 个(卞少文, 2006), 著名的如滇池、洱海、抚仙湖、杞麓湖、泸沽湖、纳帕海、碧塔海、拉市海等, 多数是断陷湖或冰蚀湖(李恒, 1980, 1987)。石林县的长湖是小型的高原湖泊湿地, 其水面面积 0.54 km²(杨桂华, 1988)。水面面积 0.5~1 km² 的小型高原湖泊也较多, 特别是高原的亚高山和高山湖

收稿日期: 2007-02-13 修回日期: 2007-08-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2003CB415102)[Supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China(2003CB415102)]

作者简介: 杨梅(1975-), 女, 云南怒江人, 硕士研究生, 从事湿地植被生态学和植物地理学研究, E-mail: meiyang297@sohu.com.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: xkou@ynu.edu.cn)

泊。这些湖泊的沿湖水域浅滩湿地水生和湿生植被发达,其湖周各类中生草甸、灌丛和森林植被的覆盖率都较大。由于此类湖泊湿地内外的植被均较好,植物区系和动物区系也较特殊,加以风光优美,景色宜人,使之成为云南高原众多的绚丽明珠,其中9大高原湖泊则是明珠中的瑰宝。此外,贵州威宁的草海也是著名的高原湖泊湿地(向应海,1986)。

我国对湖泊湿地植被的研究已积累了较多资料(吴征镒等,1980,1987;中国湿地植被编辑委员会,1999)。对湿地(含湖泊湿地)的环境评价指标也有不同程度的使用(袁军等,2002;沈立新等,2005;武海涛等,2005),但对云贵高原山地的湖泊湿地环境评价指标方案或体系,未见提出使用。为此,作者认为,高原湖泊湿地生态系统如此自然、丰富、多样、特殊、珍稀,建立一个简易实用的、以植被指示要素为主的评价方案或体系,对反映高原湖泊湿地的自然性、区域性、特殊性、珍稀性、演变历史的阶段,以及反映反面的人为干扰程度、污染程度、贫瘠化、消退化、逆反演变的阶段等,将会取得良好的效果,而且方便实用,便于推广使用。特别是对同一个高原湖泊湿地,在研究其不同年代,受干扰的退化情况和受干扰后进化演变的情况,可得出湿地植被、植物、动物、生境变好、变坏的动态变迁情况结论。对任何高原湖泊湿地一次性的环境评价,均可得出各湖泊湿地在以植被为主指示要素方面好坏、优劣的不同程度,便于人为对其现况进行优化管理、保护和建设,促其植被、植物、动物、生境构成的湿地生态系统向良性循环和可持续发展的演变。

2 环境评价指示要素和指标的确定

2.1 植被特征作为环境评价的主要指示要素和指标

湖泊湿地环境评价方案将植被特征、植物区系和动物区系的地理成分、生境等各指示要素所表现的好坏优劣状况,作为评价的指标,其中以植被特征为主。植被特征包括群落类型的数目和总盖度、结构和种类组成的优势度、常见度、覆盖度等特征,植被组成也含其植物种群在群落中的表现特征。植被是其所在地生态环境条件质量的重要指示者。植被特征是显示高原湖泊湿地的自然性、特殊性、多样性、演变阶段、消退阶段的最好指示要素。例如,据李恒在《云南植被》(吴征镒等,1987)中记述,云南高原湖泊湿地:有挺水植物群落13个,如滇西北亚高

山湖泊的杉叶藻(*Hippuris vulgaris*)群落、香蒲(*Typha angustifolia*)群落,滇中高原的水葱(*Schoenopectus tabernaemontani*)群落、芦苇(*Phragmites australis*)群落等;有漂浮植物群落4个,如滇西北的青萍(*Lemna minor*)、紫萍(*Spirodela polyziza*)群落,滇中的水葫芦(*Eichhornia crassipes*)群落,滇南的大漂(*Pistia stratiotes*)群落等;有浮叶植物群落5个,如滇西北的芡碧花(*Nymphaea tetragona*)群落,滇中的水膏药(*Hydrocharis dubia*)群落等;有沉水植物群落16个,北、中、南均分布,以滇中高原湖泊为主,常见有金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)群落、穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)群落、马来眼子菜(*Potamogeton malainus*)群落、红线草(*P. pectinatus*)群落、小茨藻(*Najas minor*)群落、海菜花(*Ottelia acuminata*)群落(其3个变种各自成群落)、苦草(*Vallisneria gigantea*)群落等。一个湖泊沉水植物群落数目的多少、各群落覆盖度的大小,是评定湖泊质量的最好指标。云南高原湖泊湿地植被主要由上述各群落所组成。植物群落类型的划定是根据《中国植被》(吴征镒等,1980)和《云南植被》(吴征镒等,1987)对湖泊水生植物群落的界定,即以优势种命名的群系(Formation 缩写 Form.)或群丛(Association 缩写 Ass.)等级,均称“群落”。植被特征中,诸如植被各植物群落的平均(或多数)总盖度的大小、湿地植被内水生和湿生的植物种数多少、植物群落类型(群丛)数目的多少、环湖植物群落生态系列的完整性如何、各群落类型中主要种(即群落类型中优势度最大的种)的平均(或多数)优势度(5至+的多优度,或8750至0.1的盖度系数,或D至R的优势常见度等)的大小、湿地外围500m范围内自然植被覆盖率的大小等等。

2.2 植物区系地理成分作为评价指示要素和指标

湿地范围内组成植被的所有种子植物的植物区系地理成分,是评价高原湖泊湿地特殊性和珍稀性的重要指示要素和指标,本方案只限于水生和湿生植物的区系地理成分。湿地的水生和湿生植物一般的地理成分为广布种,但高原湖泊湿地中除了广布种外还有区域特有种(或变种)、热带分布的种、属、科和温带分布的种、属、科。地理成分的标准,采用吴征镒的分布区类型(areal-types)的型(types)和变型(subtypes)的规定(吴征镒等,1991,1993,1999)。例如海菜花(*Ottelia acuminata*)这一个沉水植物的

种,在分布区类型的地理成分上,其科为水鳖科(Hydrocharitaceae),科级的地理成分为分布型 1,即世界广布科(吴征镒等,1999);其属(*Ottelia*)的属级分布型为 2,即泛热带分布的属(吴征镒等,1991,1993,2006);其种(*O. acuminata*)的种级分布区类型为 E-SWC,为华西南特有种(吴征镒,1986)。湿地的每一个种(或变种等种下单位)都有它的科级分布区类型(简称“科分布型”或“科型”)、属级分布区类型(简称“属分布型”或“属型”)和种级分布区类型(简称“种分布型”或“种型”)。科型和属型均查阅吴征镒的有关资料来确定,而种型则要了解该种的详细地理分布后由自己按吴征镒 15 个分布区类型及变型的规范来确定。湿地植物种的植物区系地理成分如此深入定性归类,不但对湿地植物的广布性、区域性和特殊性有一定的认识,而对湿地植物资源的保护和发展也很有意义。

2.3 动物区系地理成分作为评价要素和指标

湖泊湿地的动物区系主要指鸟类和鱼类的物种及其地理成分。鸟类看有否候鸟栖息,这种鸟是否国家重点保护或中国特有等。例如滇西北的碧塔海、纳帕海和泸沽湖就有国家保护候鸟黑颈鹤(*Grus nigricollis*),又是中国特有种,故此类湖泊湿地质量更高。湖泊的鱼类主要指土著鱼种,如碧塔海的中甸叶须鱼(中甸重唇鱼 *Ptychobarbus chungtienensis*)就是滇西北中甸(现名香格里拉)的特有种,是狭域特有分布的种。又如洱海的大理裂腹鱼(弓鱼 *Schizothorax taliensis*)是洱海的特有种(云南省林业调查规划院,1989)。把有否特有鸟类和鱼类作为评价指标,可指示湖泊的特殊性和价值。鸟类和鱼类种数中,东洋界和古北界地理成分的比例,也反映湖泊湿地的区域性。

2.4 湖泊生境作为环境评价指示要素和指标

湖泊湿地的生境是多方面的,有光、热、水、土和基质等。本方案只采用湖泊水质的透明度的深度一项,因透明度能直接反映湖水受污染程度的大小,反映湖泊湿地生境的质量,且简易可测。

3 高原湖泊湿地环境评价指标方案的细则

高原湖泊湿地环境评价指标方案:

[1]高原湖泊湿地环境评价指标建立的等级规范

五级差距等级制:5-得 81~100 分、占 81~100%或定性(优

级、很多、很大、很好等);

4-得 61~80 分、占 61~80%或定性(良级、较多、较大、较好等);

3-得 41~60 分、占 41~60%或定性(中级、多少中等、大小中等、好差中等等);

2-得 21~40 分、占 21~40%或定性(可级、较少、较小、较差等);

1-得 1~20 分、占 1~20%或定性(劣级、很少、很小、很差等)。

[2]湖泊湿地环境评价指标的各指示要素条目

1. 湖泊湿地(湿生草甸以内)各植物群落平均(或多数)总盖度的大小:

5-各植物群落平均(或多数)总盖度 81%~100%;

4-各植物群落平均(或多数)总盖度 61%~80%;

3-各植物群落平均(或多数)总盖度 41%~60%;

2-各植物群落平均(或多数)总盖度 21%~40%;

1-各植物群落平均(或多数)总盖度 1%~20%;

2. 湖泊湿地植被内水生、湿生种子植物总种数多少:

5-水生和湿生植物种数 81 种以上;

4-水生和湿生植物种数 61~80 种;

3-水生和湿生植物种数 41~60 种;

2-水生和湿生植物种数 21~40 种;

1-水生和湿生植物种数 1~20 种。

3. 湖泊湿地植物群落类型(群丛或称群落)数多少:

5-植物群落类型数 13 个以上;

4-植物群落类型数 10~12 个;

3-植物群落类型数 7~9 个;

2-植物群落类型数 4~6 个;

1-植物群落类型数 1~3 个以上。

4. 环湖植物群落(靠湖心沉水群落至湖岸湿生草甸)生态系列的完整性

5-植物群落生态系列很完整;

4-植物群落生态系列较完整;

3-植物群落生态系列完整性中等;

2-植物群落生态系列较不完整;

1-植物群落生态系列很不完整。

5. 湿地内各个植物群落中主要种的多数(或平均)优势度(多优度、盖度系数、优势度等)的大小:

5-各群落的主要种多数(或平均)多优度为 5 者,或盖度系数幅 6251~8750 者,或优势度 D 者;

4-各群落的主要种多数(或平均)多优度为 4 者,或盖度系数 3751~6250,或优势度 A 者;

3-各群落的主要种多数(或平均)多优度为 3 者,或盖度系数/1501~3750,或优势度 F 者;

2-各群落的主要种多数(或平均)多优度为 2 者,或盖度系数 251~1500 者,或优势度 O 者;

1-各群落的主要种多数(或平均)多优度+~1 者,或盖度系数 0.1~250 者,或优势度 R 者;

6. 湖泊水域内沉水的种子植物种数多少:

5-沉水的种子植物种数在 10 种以上者;

4-沉水的种子植物种数在 7~9 种者;

- 3-沉水的种子植物种数在 4~6 种者;
- 2-沉水的种子植物种数在 1~3 种者;
- 1-水域中不见沉水的种子植物种。
7. 水生和湿生种子植物种(变种)的区系地理成分状况:
 - 5-水、湿生植物种类中有当地狭域特有种(或特有变种)者;
 - 4-水、湿生植物种类中有省、地区或国内特有种者;
 - 3-水、湿生植物种类中属、种区系中有热带成分者;
 - 2-水、湿生植物种类中属、种区系中仅有温带成分者;
 - 1-水、湿生植物种类中均为世界广布种者。
8. 湖泊湿地外围 500 m 范围内(平地或面湖山坡地)天然植被的覆被率状况:
 - 5-天然植被(森林、灌丛、草地等,包括多年的人工林、灌草丛等)覆被率约 75%以上者;
 - 4-天然植被(森林、灌丛、草地等,包括多年的人工林、灌草丛等)覆被率约 50%~75%者;
 - 3-天然植被(森林、灌丛、草地等,包括多年的人工林、灌草丛等)覆被率约 25%~50%者;
 - 2-天然植被(森林、灌丛、草地等,包括多年的人工林、灌草丛等)覆被率约 5%~25%者;
 - 1-天然植被(森林、灌丛、草地等,包括多年的人工林、灌草丛等)覆被率约在 5%以下者;
9. 湖泊湿地栖息候鸟或水域土著鱼类的特殊性:
 - 5-栖息候鸟或水域土著鱼类中有国家级重点保护的物种;
 - 4-栖息候鸟或水域土著鱼类中有地区或省级特有种;
 - 3-栖息候鸟或水域土著鱼类均广布的常见物种;
 - 2-偶见有候鸟来临或土著鱼类的存在;
 - 1-不见有候鸟来临或土著鱼类的存在。
10. 湖泊水域水体的透明度深浅状况(距湖边 3~5 m 测定,可更远):
 - 5-湖水透明度在 5.1 m 以上者;
 - 4-湖水透明度在 3.1~5.0 m 者;
 - 3-湖水透明度在 1.1~3.0 m 者;
 - 2-湖水透明度在 0.6~1.0 m 者;
 - 1-湖水透明度在 0.1~0.5 m 者;

[3]使用说明:

使用环境评价时,用此 10 个要素条目的指标给每一个湖泊湿地评比打分,其积分大小即为质量。优劣评价的结果。所得积分,也可分成 5、4、3、2、1 五个等级评价。如为多个湖泊湿地一起比较,则可 10 个条目的指标打分结果列表显示,以各个湖泊湿地的积分来表达各自的优劣。如果探讨植被(植物群落、植物种类)作为湖泊湿地生态环评的指标,可选用其中的几个指标来评价,可各自确定的标准进行评价。用于环评目的时,最好植被、区系(植物和动物)与生态环境一起评。所以用 10 个要素条目的指标较好。

4 高原湖泊湿地环境评价指标简明方案的使用实例

4.1 以石林长湖为例使用此环境评价指标和等级

长湖湿地是 2006 年 5~8 月间经过 50 个 4 m²

样地取样群落调查研究和湿地范围内种子植物区系的调查研究。故上述评价的指示要素和指标齐全,便于五级制等级打分,以得到总积分百分数的数值作为评价的结论。长湖湿地的 1 号指标植物群落平均总盖度为 85.2%,其等级分为 5;2 号指标水生和湿生植物总数为 42 种,等级分为 3;3 号指标植物群落数为 10 个,等级分为 4;4 号指标植物群落生态系列完整性为较完整,等级分为 4;5 号指标各植物群落优势种的平均优势度为多优度 4,等级分为 4;6 号指标沉水植物种的总数为 7 种,等级分为 4;7 号指标水、湿生植物区系成分有本湖特有变种,等级分为 5;8 号指标湿地周边天然植被覆盖率约 70%,等级分为 4;9 号指标鸟或鱼动物区系的特有性无特有种,等级分为 1;10 号指标湖中水的透明度二点测定平均为 3.75 m,等级分为 5。这样 10 项积分为 39 分,其积分百分数的数值为 78 分,总评价等级为 4,即评价结果长湖湿地的环境质量等级为良。

4.2 以 4 个著名高原湖泊湿地为例使用此环境评价指标和等级

本文制定的指标方案中,好多高原湖泊因过去调查深度不够,而不好使用。这里只就已出版书刊(吴征镒等,1987;李恒,1988)以杞麓湖(资料年份 1988,湖面海拔 1 731 m)、滇池(1987,1 885 m)、洱海(1987,1 974 m)和泸沽湖(1987,2 685 m)为例使用,结果见表 1。

评价结果三湖为良级,一湖为中级,但在四湖中总值以泸沽湖最好,滇池最差,各指示要素的等级上各有千秋,可看出各湖各要素等级的差异,为保护和治理提供方向。这里只反映 20 世纪 80 年代后期四湖的生态环境状况,如滇池 50 年代动物区系均有特有种,到 80 年代因污染而绝迹。21 世纪初则没有调查资料可供参评。如要参评,要加强各湖泊湿地在此 10 个指示要素方面的调查研究,深入摸清各高原湖泊湿地在植被、植物区系、动物区系、生境等方面的本底现状,为保护、发展生物资源和生态环境提供动态的科学依据。

5 结语

本方案 10 个指示要素的设置上,偏重植被及其植物区系组成地理成分,是由作者对长湖湿地的植被和植物区系较深入调查研究中启发而创建的。其优点在于简明实用,能评价出高原湖泊湿地的生态

环境质量,特别是植被和植物区系方面的质量。作者建议同一个湖泊湿地,可利用历史资料,不同年代对比,还要作近代的调查,以得到动态的环境评价结果,得出该湖泊湿地进化或退化的结论,为治理提供科学依据,并探索湿地发展演化的规律,提供理论认识。使用本方案指标评价的前提是:所评的各个高

原湖泊湿地,均在 10 个以植被为主所规定的指示要素方面,已取得调查研究的定量和定性数据资料,方能参评。所以本方案的使用,反而促成各高原湖泊湿地在植被、动植物区系和生境方面各评价要素的进一步考察和研究,以作为参评的依据。本方案评价指示要素的选择以植被为主,虽有评价指标涵盖

表 1 环境评价指标和等级在 4 个高原湖泊湿地上的使用

Table 1 The application of environmental assessment indices and classes in 4 plateau lake wetlands

湖泊湿地名 Name of lake wetlands	杞麓湖 Qiluhu Lake		滇池 Dianchi Lake		洱海 Erhai Lake		泸沽湖 Lugu Lake	
	指标	等级	指标	等级	指标	等级	指标	等级
1 植物群落平均总盖度 Average total coverage of plant communities	73.3%	74	775%	74	765%	74	775%	74
2 水生和湿生植物种的总数 Total number of aquatic plants and hygrophytes	736	73	740	73	749	73	729	72
3 植物群落类型(群丛级)数目 The number of plant community types(Ass.)	10	74	711	74	713	75	711	74
4 生态系列完整性 The complete grades of ecological series	完整	4	不完整	2	较完整	4	很完整	5
5 各植物群落主要种的平均居多的优势度(多优度) Average dominance of main species in communities	4	4	4	4	43	3	3	3
6 沉水植物的种数 The number of submerged aquatic plants	14	5	11	5	12	5	13	5
7 植物区系成分的特征(特有否) Features of floristic elements(endemic or not)	湖特有	5	有热带	3	西南特	4	湖特有	5
8 湖周天然植被的覆盖率 Coverage percentage of natural vegetation around lake	约 50%	3	约 20%	2	约 40%	3	约 80%	5
9 鸟和鱼的动物区系特征(特有否) Fauna features of birds or fishes(endemic or no)	无特有	1	无特有	1	湖特有	4	国家重	5
10 湖水的透明度 Transparent depth of lake water	1.8 m	3	0.8 m	2	2.4 m	4	4.5 m	5
总值(百分数值) Total value percentage value)	33(66)	28(56)	34(68)	38(76)				
总等级值 Total value of classes	4	3	4	4				
总评结果 Result of total evaluating	良级	中级	良级	良级				

注:植物区系的湖特有指杞麓湖的通海海菜花,泸沽湖的皱叶海菜花,西南特指洱海的海菜花,动物区系的湖特有指洱海的大理裂腹鱼(弓鱼),国家重指泸沽湖的黑颈鹤。

Note: Lake endemic species of flora *Ottelia acuminata* var. *tonhaiensis* in Qiluhu Lake, *O. acuminata* var. *crispa* in Lugu Lake, endemic to SW China *O. acuminata* in Erhai Lake; lake endemic species of fauna *Schizothorax taliensis* in Erhai Lake; national protect *Grus nigricollis* in Lugu Lake).

面不够的缺点,但对云南高原多数湖泊天然植被较好、水生和湿生植物区系多样性特好、生态环境较优这一特点而言,在反映湖泊环境质量的优劣上是较为合适、简易和实用的。这里只是初步的探讨,还须在应用中不断改进和完善。

参考文献:

云南省林业调查规划院. 1989. 云南自然保护区[M]. 北京: 中国林业出版社: 249—254
中国湿地植被编辑委员会. 1999. 中国湿地植被[M]. 北京: 科学出版社: 553
向应海. 1986. 草海科学考察报告[C]. 贵阳: 贵州人民出版社: 287
吴征镒. 1980. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社: 666—697
吴征镒. 1986. 云南植物志(第 4 卷)[M]. 北京: 科学出版社:

134, 187—195, 266—276
吴征镒, 丁托娅. 1999. 中国种子植物(数据库光盘)[M]. 昆明: 云南科技出版社
吴征镒, 朱彦丞. 1987. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社: 657—707
吴征镒, 周哲昆, 孙航, 等. 2006. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 北京: 科学出版社: 147—451
Bian SW(卞少文). 2006. Simple discussion on distribution and characteristics of Yunnan wetland type(浅谈云南湿地类型的分布和特点)[J]. *Fore Invent Plan*(林业调查规划), 31(4): 90—93
Li H(李恒). 1980. A study on the lake vegetation of Yunnan Plateau(云南高原湖泊水生植被的研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), 2(2): 113—140
Li H(李恒). 1987. The lake vegetation of Hengduan Mountains(横断山区的湖泊植被)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), 9(3): 257—270

(下转第 697 页 Continue on page 697)

莪术油中主要活性成分为倍半萜(sesquiterpene, C₁₅)类化合物,研究已表明,倍半萜类化合物是萜类化合物(terpenoid)的一种,在植物体内萜类化合物的甲羟戊酸(mevalonate pathway, MVA)合成途径中,3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A 还原酶(3-hydroxyl-3-methylglutaryl-CoA Reducase, HMGR)是萜类生物合成途径中的关键酶,决定了下游萜类产物合成与积累的量。Chappell & Nable(1987)在研究中发现, HMGR 活性的急剧提高可以诱导倍半萜环化酶活性,同时提高倍半萜植物抗毒素的产量。在本实验中,相对光照强度在 85% 时,挥发油和莪术醇的含量最高,我们推测,一方面光照改变了莪术的生长环境,它通过自身调控,使同化物在其体内的积累与分配发生了改变,使莪术挥发油中的倍半萜类化合物积累增加。另一方面,光照可能对倍半萜类化合物合成的关键酶基因产生了影响,但是否影响了 HMGR 基因的活性还需进一步研究。

经回归分析莪术挥发油和莪术醇含量二者之间存在显著相关性,这一现象表明它们的合成途径有可能存在相似之处,验证了倍半萜类化合物是莪术挥发油中的主要成分。

参考文献:

- 中华人民共和国药典委员会. 2005. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:化学工业出版社:194
- Chappell J, Nable R. 1987. Induction of sesquiterpenoid biosynthesis in tobacco cell suspension cultures by fungal elicitor[J]. *Plant Physiol*, **85**:46
- Langenheim JH. 1994. Higher plant terpenoids; a phyto-centric overview of their ecological roles[J]. *J Chem Ecol*, **20**(6):1 223-1 227
- Leng PS(冷平生), Su SC(苏淑钗), Wang TH(王天华), et al. 2002. Effects of light intensity and light quality on photosynthesis, flavonol glycoside and terpene lactone contents of *Ginkgo biloba* seedlings(光强与光质对银杏光合作用及黄酮苷与萜类内酯含量的影响)[J]. *J Plant Res Environ*(植物资源与环境学报), **11**(1):1-4
- Li Q(李强), Ren Q(任茜), Zhang YL(张永良). 1994. Effects of ecological environment, collecting stages and storage time on chlorogenic acid content of *Loiricera Jerdinandii* French(生境、采收期、贮藏时间等因素对秦岭金银花绿原酸含量的影响)[J]. *China J Chin Mat Med*(中国中药杂志), **19**(10):594-595
- Qian DW(钱大玮), Ju JM(鞠建明), Zhu LY(朱玲英), et al. 2002. Study on changing rules for total flavonoids and total terpene lactones in *Ginkgo biloba* leaves at different ages of tree and collecting seasons(不同树龄银杏叶在不同季节中总黄酮和总内酯的含量变化)[J]. *Chin Trad Herb Drugs*(中草药), **33**(11):1 025-1 027
- Tao SH(陶曙红), Wu FE(吴凤镔). 2003. Effect of ecological environment on active constituents of medicinal plants(生态环境对药用植物有效成分的影响)[J]. *Nat Product Res Develop*(天然产物研究与开发), **15**(2):174-177
- Wang HT(王华田), Xie BD(谢宝东), Jiang YZ(姜岳忠), et al. 2002. Effect of solar irradiation intensity on leaf development and flavonoid and terpene content in *Ginkgo biloba* leaves(光照强度对银杏叶片发育及黄酮和内酯含量的影响)[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*(江西农业大学学报), **24**(5):617-622
- Zhu YE(朱亚尔), Zhu XP(朱晓平). 2006. Determination of curcuminol in Rhizoma Curcumae by GC(毛细管相色谱法测定莪术中莪术醇的含量)[J]. *China J Chin Mat Med*(中国中药杂志), **31**(5):72-74
- Li H(李恒). 1988. The aquatic vegetation in the Qiluhu Lake(杞麓湖水生植被)[J]. *J Yunnan Univ; Nat Sci*(云南大学学报:自然科学), **Suppl.**(增刊):81-86
- Li H(李恒). 1988. The aquatic vegetation and flora in Changhu lake(长湖水生植被和水生植物区系)[J]. *J Yunnan Univ; Nat Sci*(云南大学学报:自然科学), **Suppl.**(增刊):119-123
- Shen LX(沈立新), Liang LH(梁洛辉). 2005. Assessment on the resources and environmental situation of plants and animals in Beihai wetland(腾冲北海湿地动植物资源及其环境状况评价)[J]. *Fore Res Man*(林业资源管理), (2):61-79
- Wu HT(武海涛), Lu XG(吕宪国). 2005. A review on the study of wetland assessment in China(中国湿地评价研究进展与展望)[J]. *World Fore Res*(世界林业研究), **18**(4):49-53
- Wu ZY(吴征镒). 1991. The areal-types of chinese genera of seed plants(中国种子植物属的分布区类型)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), **增刊 IV**:1-139, 141-178
- Wu ZY(吴征镒). 1993. The areal-types of chinese genera of seed plants(中国种子植物属的分布区类型)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), **Suppl. IV**(增刊 IV):1-139, 141-178
- Yang GH(杨桂华). 1988. The physical geography features of Yuhu Lake and Changhu Lake(月湖、长湖的自然地理特征)[J]. *J Yunnan Univ; Nat Sci*(云南大学学报:自然科学), **Suppl.**(增刊):13-18
- Yuan J(袁军), Gao JX(高吉喜), Lu XG(吕宪国), et al. 2002. Assessment on wetland resources in Namucuo and counter measures for conservation and rational use(纳木错湿地资源评价及保护与合理利用对策)[J]. *Res Sci*(资源科学), **24**(4):29-34

(上接第 649 页 Continue from page 649)