



苔藓 化学与生物学

Chemistry and Biology
of Bryophytes

姜红祥 / 主编



科学出版社

苔藓化学与生物学

Chemistry and Biology of Bryophytes

娄红祥 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

全书共分 13 章,系统地介绍了苔藓植物的分类特征及生物学特性、其化学成分的结构特征、生物活性、化学合成和研究方法,对苔藓植物的内生菌研究、化学分类学、化学生态学、生长调节以及组织培养进行了阐述,并对 200 多种苔藓植物的化学成分研究进行了分述。本书内容新颖,在第一版的基础上结合作者课题组的研究工作,全面、系统地论述了近年来苔藓植物的研究进展。

本书可供天然药物化学、植物学和相关专业研究者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

苔藓化学与生物学/娄红祥主编.—北京:科学出版社,2012
ISBN 978-7-03-035208-8

I. ①苔… II. ①娄… III. ①苔藓植物—植物生物化学 IV. ①Q949.35

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第172142号

责任编辑:夏 梁 贺窑青/责任校对:刘小梅
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年9月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2012年9月第一次印刷 印张:43 1/2

字数:1 408 000

定价:280.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主编简介



姜红祥

1965年3月出生，山东苍山人。1985年于山东医科大学药学系（现山东大学药学院）获医学学士学位；1985年8月至1986年7月在中国药科大学学习硕士学位课程，1988年于山东省医学科学院药物研究所获医学硕士学位；1991年于沈阳药科大学获理学博士学位；1997年3月至1998年11月，作为访问研究员在日本国立生命工学工业技术研究所从事生理活性天然产物的研究工作。

先后获得国家自然科学基金青年基金项目、面上项目、重点项目以及国家杰出青年科学基金等项目资助，对苔藓植物成分的发现、化学合成以及生物学活性和作用机制进行了系统研究。在国内外学术期刊上发表论文200余篇，申请专利20余项。

现为山东大学教授、博士生导师，教育部天然产物化学生物学重点实验室主任、中国药学会理事、山东省药学会副理事长。

参编作者 (按姓氏拼音字母顺序)



程爱霞



范培红



郭东晓



焦阳



刘娜



李剑锋



李瑞娟



林兆民



王松



李刚



刘新利



孙斌



王莉宁



周金川



王小宁



温学森



谢春锋



张教真

《苔藓化学与生物学》一书是娄红祥领导的课题组在总结其对苔藓化学与生物学研究工作的基础上, 结合国内外最新研究进展编撰而成。

本书共分十三章, 娄红祥作为主编, 设计完成本书的编写内容和编写原则; 指导完成本书的编写并通读和修订所有章节的内容。谢春锋参加编写了第二、三、四、七章和第十一章的内容, 周金川参与完成第一章和第十三章的编写; 王小宁参加编写第六章; 温学森参加编写第一章; 程爱霞参加编写第十章和第十一章; 范培红参加编写第八章; 李剑锋编写完成第十二章; 孙斌参加编写第五章; 郭东晓参加编写第六章和第十三章; 刘娜参加编写第四章和第十三章; 第九章由刘新利、李刚和焦阳编写完成; 王莉宁、林兆民、李瑞娟、王松和张教真编写完成第十三章。



| 前 言 |

“苔生履处没，草合行人疏”。说起苔藓植物，通常会想到生长在阴暗、潮湿、人迹稀至、荒远角落的矮小绿色植物。我对苔藓植物产生兴趣，源于我从沈阳药科大学博士毕业回到当时的山东医科大学工作，第一次与药学院生药研究所的温学森博士去山东鲁山考察药材种植。我被苔藓植物丰富的种类、广泛的分布特征、特殊的进化位置、独有的生理生化特点所吸引，并对其开始了二十年如一日的研究。我试图从苔藓植物的次生代谢产物研究入手，揭开其在长期进化过程中与其他植物、动物、微生物间相生相克的关系及物质基础，并希冀发现一些有价值的化合物，开发成药物。从获得第一个国家自然科学基金青年科学基金项目资助开始，我先后获得了国家自然科学基金面上项目、重点项目，国家杰出青年科学基金等项目资助。随着对苔藓植物研究的不断深入，苔藓所具有的特有化学与生物学特性及背后的科学问题不断被揭示。为了更好地开展苔藓植物研究工作，总结科学家在苔藓植物研究领域的最新成就，与同道分享自己在苔藓植物化学与生物学方面的研究体会，便有了编写此书的想法。

总结国内外苔藓植物的研究成果，可以发现对它的研究主要集中在以下几个方面。一是苔藓植物分类学研究。重点开展了对苔藓植物资源分布、种群特征、品种鉴定等方面的研究，值得关注的发展方向是借助分子生物学的手段，利用 DNA 分子标记技术，进行苔藓植物的分子鉴定与分类。二是苔藓植物生态学研究。侧重于苔藓植物在养分循环、水土保持、生态维护、荒漠治理、环境监测等方面的研究。近年来又开展了苔藓植物自身及苔藓植物与其他生物间化感作用、苔藓植物化学地理学、苔藓植物进化与生物多样性等方面的研究，以期揭示苔藓植物与其他生物间相生相克的化学机制。三是苔藓植物生理学研究。侧重于苔藓植物抗应急机制，包括耐寒、耐旱、抗辐射等生理学特性及相应的功能基因变化的研究，值得关注的发展方向是苔藓基因组学和生物信息学方面的研究与进展。四是苔藓植物化学与生物学意义研究。重点开展苔藓植物次生代谢产物结构分析、生物合成过程探讨、生物活性评价、化学分类学意义等工作，以期在该类植物的资源化利用方面取得突破。由于开展苔藓植物化学研究需要较多的植物量，受苔藓植物形体小、杂混丛生、难以富集大量原料样品等限制，苔藓植物的组织培养技术正越来越多地得到重视。

国际上非常重视苔藓植物的研究，1969 年就成立了国际苔藓学家协会

(International Association of Bryologists, IAB), 出版了 *The Bryological Times* 一书。很多国家和地区也成立了专门的苔藓植物学会, 如美国有苔藓与地衣学会 (American Bryological and Lichenological Society), 中东欧有苔藓工作协会 (Central and East European Bryological Working Group), 英国、日本等都有相应的苔藓植物学会, 我国在植物学会下成立有苔藓植物专业委员会。这些苔藓植物学会在推动苔藓植物研究, 开展学术与信息交流, 推动人才成长进步等方面作出了重要贡献。

我国是苔藓植物资源比较丰富的国家, 种类多达 3500 余种。我国学者开展了大量的苔藓植物基础研究工作, 已经出版了《中国苔藓植物志》、《中国苔藓植物彩色图鉴》及一些地方植物志或植物图志等。在对苔藓植物化学进行研究与总结的基础上, 我曾和研究生一起编写出版了《苔藓植物化学与生物学》一书, 由北京科学技术出版社出版。随着对苔藓植物研究的深入开展, 原书内容已经不能反映苔藓植物研究的全貌和最新进展。为此, 在科学出版社的支持下, 我实验室研究人员重新编写了《苔藓化学与生物学》一书。

本书共分 13 章, 第 1 章苔藓植物概述, 介绍苔藓植物分类特征及生物学特性, 有大量的植物图片, 便于非植物学专业研究者了解苔藓植物; 第 2 章、第 3 章分别介绍了苔类植物的化学成分和藓类植物的化学成分, 按照化合物结构类别, 详细介绍了苔藓植物化学成分研究, 通过对苔藓植物中分离得到的化合物类型, 系统了解苔藓植物中化学成分类别、性质等; 第 4 章苔藓植物化学成分研究方法, 介绍以活性、结构为发现标记的化学成分研究方法; 第 5 章苔藓植物中萜类及联苄类化合物的化学全合成, 重点介绍苔藓中存在的两类化合物的化学合成方法, 尤其对一些有生物学活性的化合物的全合成; 第 6 章苔藓植物的医药应用及活性成分, 以功能为主线介绍苔藓植物的药用及从苔藓植物中分离得到的具有生物学活性的化合物和这些化合物的生物学活性方面的研究结果; 第 7 章苔藓植物的化学分类, 基于已经研究的化学成分类型及结构, 从另外一个视角探讨苔藓植物的分类学特征; 第 8 章苔藓植物化学生态学, 重点介绍苔藓植物化学成分在苔藓植物与其他植物、动物、微生物间相互作用的意义; 第 9 章苔藓植物内生菌, 介绍与苔藓共生的一些内生菌分离、培养, 所产生的代谢产物及其可能的生物学意义; 第 10 章苔藓植物的生长调节, 介绍苔藓植物的生长发育及各种影响因素对苔藓植物生长过程的调节作用; 第 11 章苔藓植物组织培养, 介绍组织工程技术在获取新结构化合物、研究苔藓化学成分生物合成规律以及应用苔藓植物作为生物反应器方面的研究进展; 第 12 章苔藓与中国文学, 将中国诗词歌赋中有关苔藓的描述进行了简要概括; 第 13 章苔藓植物成分分述, 分别介绍了 191 种苔、4 种角苔和 35 种藓类植物的化学成分研究概况, 并附有苔藓植物图片, 本章所涉及的化学结构会与前面涉及的化学成分研究部分有所重复, 但可从另外一个视角观察苔藓植物化学, 通过阅读这章, 读者可以对某一具体苔藓

植物的形态特征、分布及化学成分等有一个完整的了解，同时还可对同属植物化学成分类型进行比较。

在苔藓植物化学研究中，得到了国家自然科学基金委员会、科技部、山东省科技厅等科研基金的支持，样本的采集和鉴定过程中得到了贵州大学熊源新教授、华东师范大学朱瑞良教授、曹同教授等的帮助。德国环境署 Michael Lüth 教授、深圳仙湖植物园张力研究员、巴西圣保罗植物学研究所 Denilson F. Peralta 教授等提供了部分苔藓照片，章节版式设计由山东大学文学院侯滢老师完成，一并表示感谢。本书的完成得到了科学出版社的大力支持。

“苔花如米小，也学牡丹开”。尽管苔藓植物形体微小，花貌不扬（其实它没有真正的花），但苔藓植物次生代谢产物之复杂、生理过程之奥妙、生物学意义之重要不亚于其他高等植物，随着人们对苔藓植物认识的增多，这一多样性的植物类群必将开出更加多彩的花朵。

姜红祥

2012 年 1 月 8 日于济南

| 目 录 |

前言

i

第 1 章 苔藓植物概述

1

1.1 初识苔藓植物	2
1.1.1 什么是苔藓植物	2
1.1.2 苔藓植物生境	3
1.1.3 苔藓植物和水	4
1.1.4 容易与苔藓混淆的植物	5
1.1.5 苔藓植物与内生菌	7
1.1.6 苔藓植物的结构特征	7
1.2 苔藓植物的形态学分类	24
1.2.1 苔纲	25
1.2.2 藓纲	30
1.2.3 角苔纲	34
1.3 苔藓植物的生命周期	35
1.3.1 苔藓植物生活史	35
1.3.2 苔藓植物的繁殖及传播	38
1.4 苔藓植物的分布和生物多样性	41
1.4.1 苔藓植物的分布	41
1.4.2 苔藓植物生物多样性	43
1.5 苔藓植物的环境监测指示作用	45
1.5.1 利用苔藓植物测定环境污染的方法	46
1.5.2 苔藓植物检测环境污染方面的应用	48
1.6 苔藓植物的进化与在植物界的系统位置	50
1.6.1 苔藓植物在植物界中的地位	50
1.6.2 苔藓植物的起源问题	50
1.6.3 苔藓植物的发展与演化	53

第 2 章 苔类植物的化学成分

61

2.1 概述	62
2.2 苔类植物中的脂类和萜类化学成分	64
2.2.1 脂类	64
2.2.2 单萜	66
2.2.3 倍半萜	67
2.2.4 二萜	91
2.2.5 三萜和甾醇	105
2.3 苔类植物中的芳香族类化合物	106

2.3.1	萘和非类化合物	106
2.3.2	香豆素和木脂素	107
2.3.3	黄酮类化合物	109
2.3.4	联苯类化合物	110
2.3.5	其他简单的芳香族化合物	124
2.4	含有杂原子的化合物	128
2.5	结语	128
第3章	藓类植物的化学成分	141
3.1	概述	142
3.2	化学成分研究	143
3.2.1	挥发油	143
3.2.2	类脂	143
3.2.3	生物素	144
3.2.4	甾体	145
3.2.5	倍半萜和二萜	145
3.2.6	三萜	146
3.2.7	黄酮	147
3.2.8	香豆素	153
3.2.9	Ohioensins	154
3.2.10	其他	155
3.3	结语	157
第4章	苔类植物化学成分研究方法	161
4.1	概述	162
4.2	苔类植物材料的获取	162
4.3	TLC 生物自显影技术对抗菌 / 真菌化合物的筛选	163
4.3.1	TLC 生物自显影对抗菌 / 真菌化合物的筛选	163
4.3.2	TLC 生物自显影法在苔类植物活性成分分析中的应用	163
4.4	双联苯的波谱特征	165
4.4.1	紫外光谱	165
4.4.2	红外光谱	165
4.4.3	质谱	165
4.4.4	核磁共振波谱	169
4.5	基于质谱规律的双联苯化合物快速筛选鉴定	175
4.5.1	LC-DAD-MS 法筛选苔类植物中的双联苯化合物	176
4.5.2	LC-DAD-MS/MS 法筛选苔类植物中的联苯化合物	177
4.6	大环双联苯的立体化学	182
4.6.1	以两个 C—C 键连接的双联苯	182
4.6.2	以两个醚桥连接的双联苯	182
4.6.3	以醚桥和 C—C 键连接的双联苯	184
4.7	结语	186

第 5 章 苔藓植物中萜类及联苳类化合物的化学全合成	191
5.1 苔藓植物中剪叶苔烷型和花侧柏烷型倍半萜类化合物的全合成	192
5.1.1 以苯的衍生物为基础的全合成	193
5.1.2 以苯及环戊烷衍生物为基础的全合成	200
5.1.3 以五元环为基础的全合成	203
5.1.4 剪叶苔烷型倍半萜二聚体的全合成	203
5.2 绿叶苔烷型和唇鳞苔烷型倍半萜的全合成	205
5.2.1 绿叶苔烷型倍半萜的全合成	205
5.2.2 阔叶唇鳞苔烷型倍半萜的全合成	211
5.3 多环倍半萜的合成	212
5.3.1 环花侧柏烷型倍半萜的全合成	212
5.3.2 内酯类多环倍半萜的全合成	213
5.3.3 其他多环倍半萜的全合成	216
5.4 其他类型倍半萜的合成	219
5.4.1 (+)- 二环葎草酮的全合成	219
5.4.2 片叶苔酚 A 的全合成	220
5.4.3 Striatane 型倍半萜的全合成	221
5.4.4 开环香橙烷型倍半萜全合成	221
5.4.5 螺岩兰草烷型倍半萜全合成	221
5.4.6 菖蒲烷型倍半萜全合成	223
5.4.7 葎澄茄油烯全合成	224
5.5 苔藓植物中二萜的全合成	226
5.5.1 Sphenolobane 型二萜全合成	226
5.5.2 Fusicoauritone 的全合成	227
5.5.3 Pallavicinolide A 的全合成	228
5.5.4 Acetoxydontoschismenol 的全合成	230
5.5.5 Pallavicinin 和 neopallavicinin 的全合成	230
5.6 苔藓植物中芪类化合物的合成	232
5.7 苔藓植物中联苳类化合物的合成	233
5.7.1 联苳类化合物全合成的常用反应	233
5.7.2 环状双联苳的闭环方式	235
5.7.3 联苳类化合物的全合成	237
第 6 章 苔藓植物的医药应用及活性成分	255
6.1 苔藓植物医药应用	256
6.1.1 肝脏疾病	257
6.1.2 心血管疾病	257
6.1.3 炎症和发热	258
6.1.4 皮肤疾病	259
6.1.5 外科和创伤	259
6.1.6 致敏作用	260
6.1.7 生产转基因药物	261
6.1.8 五倍子蚜虫冬季寄主	262
6.2 苔藓植物抗肿瘤活性成分研究	263
6.2.1 萜类化合物	263

6.2.2	芳香族化合物	266
6.2.3	双联苄类化合物抗肿瘤作用机制研究	270
6.3	苔藓植物抗微生物活性成分	276
6.3.1	抗微生物活性化合物	276
6.3.2	片叶苔素 D 抗真菌作用机制研究	282
6.3.3	双联苄类化合物抗病毒作用研究	288
6.4	苔藓植物中的抗氧化活性成分	291
6.5	苔藓植物中昆虫拒食、杀寄生虫和杀软体动物的活性成分	292
6.6	苔藓植物中具有酶抑制活性的成分	294
6.7	其他活性成分	296
6.8	结语	299
第 7 章 苔藓植物的化学分类		309
7.1	苔藓植物的化学分类	310
7.1.1	脂类	310
7.1.2	单萜	311
7.1.3	倍半萜	311
7.1.4	二萜	314
7.1.5	酚类化合物	317
7.1.6	含有杂原子的化合物	321
7.2	苔藓植物的起源与进化	322
7.3	前景展望	325
第 8 章 苔藓植物化学生态学		331
8.1	苔藓植物化学生态学	332
8.2	苔藓植物与其他植物	334
8.2.1	非化学作用	334
8.2.2	化感作用	335
8.2.3	其他植物对苔藓的影响	340
8.3	苔藓植物与动物	340
8.3.1	苔藓植物是一些动物的理想栖息地	340
8.3.2	苔藓是某些动物的食料	342
8.3.3	昆虫拒食与杀软体动物和寄生虫作用	342
8.4	苔藓植物与微生物	345
8.5	环境适应性	350
8.5.1	耐旱	350
8.5.2	耐寒	350
8.5.3	抗紫外线辐射	351
8.5.4	苔藓植物对污染物的反应性	352
8.6	结语	353
第 9 章 苔藓植物内生菌		361
9.1	植物内生菌与代谢产物	362
9.1.1	植物内生菌	362

9.1.2	植物内生菌种类及分布	362
9.1.3	植物内生菌的代谢产物	362
9.1.4	植物内生菌的前景和挑战	368
9.2	苔藓植物内生菌	369
9.2.1	苔藓内生菌的种类及分布	369
9.2.2	苔藓内生菌的生理及生态学意义	370
9.2.3	苔藓内生菌的分离	374
9.2.4	苔藓内生菌次生代谢产物研究及其活性	377
第 10 章 苔藓植物的生长调节		383
10.1	植物激素对苔藓植物的生长调节作用	384
10.1.1	植物生长激素对苔藓植物的生长调节作用	384
10.1.2	细胞分裂素对苔藓植物的生长调节作用	386
10.1.3	赤霉素对苔藓植物的生长调节作用	387
10.1.4	脱落酸对苔藓植物的生长调节作用	388
10.1.5	半月苔酸	390
10.1.6	乙烯	391
10.2	苔藓植物生长与营养的关系	391
10.2.1	苔藓植物对无机盐的营养需求	391
10.2.2	苔藓植物的碳源和氮源	392
10.2.3	苔藓植物对营养的吸收	394
10.2.4	营养的转移及运输	394
10.2.5	营养缺乏对苔藓植物生长的影响	394
10.2.6	营养的循环	395
10.3	光照对苔藓植物生长的调节作用	395
10.3.1	苔藓植物是荫生植物	395
10.3.2	苔藓植物适应荫生的结构特点	396
10.3.3	强光照射的影响	397
10.3.4	不同季节光照对苔藓植物生长的调节作用	398
10.4	温度对苔藓植物生长的调节作用	398
10.4.1	气温对苔藓植物生长的调节作用	398
10.4.2	寒冷对苔藓植物生长的影响	399
10.4.3	炎热对苔藓植物生长的调节作用	400
10.4.4	温度对苔藓植物分布的影响	401
10.5	水分对苔藓植物生长的调节作用	401
10.5.1	苔藓植物的传导组织	401
10.5.2	水分的运输	401
10.5.3	保水策略	402
10.5.4	生理适应	403
10.5.5	复水修复	403
10.5.6	生物化学适应性	404
10.6	真菌与苔藓植物生长	405
10.6.1	苔藓植物的寄生真菌	405
10.6.2	真菌感染引起苔藓的病害	406

第 11 章 苔藓植物组织培养	415
11.1 植物组织和细胞培养的基本原理和应用	416
11.1.1 植物组织培养的基本概念	416
11.1.2 植物组织培养的特点	416
11.1.3 植物组织培养的过程	416
11.1.4 植物组织培养生产药用次级代谢物	418
11.2 苔藓植物的组织培养	421
11.2.1 概述	421
11.2.2 苔藓植物组织培养的外植体	421
11.2.3 影响因素	421
11.3 苔藓植物组织培养的应用	423
11.3.1 外源底物的生物转化	423
11.3.2 次级代谢产物生物合成途径的探索	423
11.3.3 生产次级代谢产物	431
11.3.4 作为遗传转化受体进行基因功能验证	436
11.3.5 小立碗藓用于生物反应器	436
11.4 前景展望	438
第 12 章 苔藓与中国文学	443
12.1 引言	444
12.2 苔痕上阶绿，草色入帘青	444
12.3 苔之为物也贱，苔之为德也深	448
12.4 幽僻处可有人行，点苍苔白露泠泠	453
第 13 章 苔藓植物成分分述	459
13.1 所列植物系统分类	460
13.1.1 苔纲 Hepaticae	460
13.1.2 角苔纲 Anthocerotae	466
13.1.3 藓纲 Bryopsida	466
13.2 所列植物成分分述	468
1. <i>Trichocolea tomentella</i> (Ehrh.) Dum. 绒苔	468
2. <i>Trichocolea hatchery</i> Evans	468
3. <i>Trichocolea mollissima</i> Hatcher	469
4. <i>Trichocolea lanata</i> (Ehrh.) Dumm.	470
5. <i>Gackstroemia decipiens</i> Hässel	470
6. <i>Riccardia multifida</i> (L.) Gray 羽枝片叶苔	471
7. <i>Riccardia multifida</i> (L.) Gray subsp. <i>decrescens</i> (Steph.) Furuki. 羽枝片叶苔狭瓣亚种	472
8. <i>Riccardia crassa</i> (Schwaegr.) Carrington et Pears. 线疣片叶苔	473
9. <i>Riccardia marginata</i> (Colenso) Pearson. 双毛片叶苔	473
10. <i>Riccardia polyclada</i> (Mitt.ex Thurn). 多枝片叶苔	474
11. <i>Corsinia coriandrina</i> (Spreng.) Lindb. 花地钱	474
12. <i>Ricciocarpus natans</i> (L.) Corda 浮苔	475
13. <i>Ptilidium ciliare</i> (L.) Hamp. 毛叶苔	476
14. <i>Ptilidium pulcherrimum</i> (Web.) Vain. 深裂毛叶苔	477

15. <i>Mastigophora diclados</i> (Brid.) Nees. 硬须苔	478
16. <i>Herbertus aduncus</i> (Dicks.) Gray. 剪叶苔	478
17. <i>Herbertus sakuraii</i> (Warnst.) Mill. 樱井剪叶苔	479
18. <i>Blepharostoma trichophyllum</i> (L.) Dum. 睫毛苔	481
19. <i>Jamesoniella autumnalis</i> (DC.) Steph. 圆叶苔	481
20. <i>Jamesoniella colorata</i> (Lehm.) Schiffn.	483
21. <i>Jamesoniella tasmanica</i> (Hook. f. & Tayl.) Steph.	484
22. <i>Jungermannia appressifolia</i> Mitt. 抱茎叶苔	485
23. <i>Jungermannia comata</i> Nees 偏叶叶苔	485
24. <i>Jungermannia infusca</i> (Mitt.) Steph. 褐绿叶苔	486
25. <i>Jungermannia rotundata</i> (Amak.) Amak. 溪石叶苔	488
26. <i>Jungermannia truncata</i> Nees. 截叶叶苔	488
27. <i>Jungermannia atrobrunnea</i> Amak. 黑绿叶苔	489
28. <i>Jungermannia exsertifolia</i> Steph. ssp. <i>cordifolia</i> (Dum). 长萼叶苔心叶亚种	490
29. <i>Jungermannia hattoriana</i> (Amak.) Amak.	492
30. <i>Jungermannia paroica</i> (Schiffn.) Grolle.	492
31. <i>Jungermannia rosulans</i> Steph. 莲座丛叶苔	492
32. <i>Jungermannia subulata</i> Evans 狭叶叶苔	493
33. <i>Jungermannia vulcanicola</i> Steph.	493
34. <i>Jungermannia hyalina</i> Lyell. 透明叶苔	494
35. <i>Mylia taylorii</i> (Hook.) A. Gray. 小萼苔	494
36. <i>Mylia nuda</i> Inoue & Yang. 裸萼小萼苔	495
37. <i>Mylia verrucosa</i> Lindb. 瘤萼小萼苔	496
38. <i>Gymnocolea inflata</i> (Huds.) Dumort.	497
39. <i>Anastrepta orcadensis</i> (Hook.) Schiffn. 卷叶苔	497
40. <i>Barbilophozia barbata</i> (Schmid.) Loesk. 细裂瓣苔	498
41. <i>Barbilophozia lycopodioides</i> (Wallr.) Loesk. 阔叶细裂瓣苔	498
42. <i>Barbilophozia floerkei</i> Loeske. 费洛克细裂瓣苔	499
43. <i>Anastrophyllum donnianum</i> (Hook.) Steph. 挺叶苔	499
44. <i>Anastrophyllum auritum</i> (Lehm.) Steph.	500
45. <i>Anastrophyllum minutum</i> (Schreb.) Schust. 小挺叶苔	500
46. <i>Chandonanthus hirtellus</i> (Web.) Mitt. 齿边广萼苔	501
47. <i>Lophozia ventricosa</i> (Dicks.) Dumort. 囊苞裂叶苔	502
48. <i>Tritomaria quinquedentata</i> (Huds.) Buch. 密叶三裂瓣苔	503
49. <i>Tritomaria polita</i> (Nees) Joerg.	504
50. <i>Diplophyllum albicans</i> (L.) Dumort. 褶叶苔	504
51. <i>Diplophyllum serrulatum</i> (K.Mull.) Steph. 齿边褶叶苔	505
52. <i>Scapania nemorea</i> (L.) Grolle. 林地合叶苔	505
53. <i>Scapania verrucosa</i> Heeg. 粗疣合叶苔	506
54. <i>Scapania parvidens</i> Steph. 细齿合叶苔	507
55. <i>Scapania undulata</i> (L.) Dumort. 波瓣合叶苔	508
56. <i>Plagiochila asplenoides</i> (Linnaeus) Dum. 羽苔	509
57. <i>Plagiochila elegans</i> Mitt. 大叶羽苔	509
58. <i>Plagiochila ovalifolia</i> Mitt. 卵叶羽苔	510
59. <i>Plagiochila bifaria</i> (Sw.) Lindenb.	511
60. <i>Plagiochila fruticosa</i> Mitt. 羽枝羽苔	511

61. <i>Plagiochila sciophila</i> Nees . 刺叶羽苔	512
62. <i>Plagiochila stephensoniana</i> Mitt.	512
63. <i>Plagiochila yokogurensis</i> Steph. 圆头羽苔	513
64. <i>Plagiochila acanthophylla</i> subsp. <i>japonica</i> (Lac.) Inoue.	513
65. <i>Plagiochila atlantica</i> F. Rose	514
66. <i>Plagiochila hattoriana</i> Inoue 服部羽苔	515
67. <i>Plagiochila killarniensis</i> Pears.	515
68. <i>Plagiochila longispina</i> Lindenb.et Gottsche.	516
69. <i>Plagiochila rutilans</i> var. <i>moritziana</i> (Gottsche &.Lindenb.ex Hampe) J. Heinrichs	516
70. <i>Plagiochila peculiaris</i> Schiffn. 大儒形羽苔	515
71. <i>Plagiochila porelloides</i> (Torrey ex Nees) Lindenb. 密齿羽苔	517
72. <i>Plagiochila pulcherrima</i> Horik. 美姿羽苔	517
73. <i>Plagiochila rutilans</i> Lindb.	518
74. <i>Plagiochila spinulosa</i> (Dicks.) Dumort.	519
75. <i>Plagiochila trabeculata</i> Steph. 狭叶羽苔	519
76. <i>Bazzania trilobata</i> (L.) Gray 鞭苔	520
77. <i>Bazzania japonica</i> (S. Lac.) Lindb. 日本鞭苔	523
78. <i>Bazzania madagassa</i> (Steph.) S.W. Arnell 马达加斯加鞭苔	523
79. <i>Bazzania novae-zelandiae</i> (Mitt.) Besch. et C. Massal.	524
80. <i>Bazzania nitida</i> (F. Weber) Grolle.	525
81. <i>Bazzania pompeana</i> Mitt.	525
82. <i>Bazzania fauriana</i> (Steph.) Hatt 厚角鞭苔	525
83. <i>Bazzania tridens</i> (Reinw. et al.) Trev. 三裂鞭苔	526
84. <i>Lepidozia reptans</i> (L.) Dum. 指叶苔	527
85. <i>Lepidozia fauriana</i> Steph. 东亚指叶苔	527
86. <i>Lepidozia vitrea</i> Steph. 硬指叶苔	529
87. <i>Lepidozia incurvata</i> Lindenb	531
88. <i>Odontoschisma denudatum</i> (Nees) Dum. 合叶裂齿苔	532
89. <i>Chiloscyphus polyanthos</i> (L.) Cord. 裂萼苔	533
90. <i>Chiloscyphus polyanthus</i> var. <i>rivularis</i> (Schrad.) Nees. 裂萼苔水生变种	534
91. <i>Chiloscyphus pallescens</i> (Ehrh.) Dum. 淡色裂萼苔	535
92. <i>Lophocolea heterophylla</i> (Schrad.) Dumort. 异叶裂萼苔	535
93. <i>Lophocolea bidentata</i> (L.) Dum. 双齿裂萼苔	536
94. <i>Heteroscyphus coalitus</i> (Hook.) Schiffn. 双齿异萼苔	536
95. <i>Heteroscyphus planus</i> (Mitt.) Schiffn. 平叶异萼苔	537
96. <i>Radula perrottetii</i> Gott. ex Steph. 直瓣扁萼苔	538
97. <i>Radula javanica</i> Gott. 爪哇扁萼苔	540
98. <i>Radula complanata</i> (L.) Dumort.	540
99. <i>Radula kojana</i> Steph. 尖叶扁萼苔	541
100. <i>Radula tokiensis</i> Steph.	542
101. <i>Porella perrottetiana</i> (Mont.) Trev. 毛边光萼苔	543
102. <i>Porella acutifolia</i> ssp. <i>tosana</i> (Steph.) S. Hatt. 尖瓣光萼苔东亚亚种	544
103. <i>Porella platyphylla</i> (L.) Lindb. 温带光萼苔	544
104. <i>Porella japonica</i> (S. Lac.) Mitt. 日本光萼苔	545
105. <i>Porella vernicosa</i> Lindb. 毛缘光萼苔	546
106. <i>Porella densifolia</i> (Steph.) Hatt. 密叶光萼苔	546

107. <i>Porella navicularis</i> (Lehm. & Lindenb.) Lindb.	547
108. <i>Porella swartziana</i> (Weber) Trevis.	547
109. <i>Porella elegantula</i> (Mont.) E.A.Hodgs.	548
110. <i>Porella chinensis</i> (Steph.) Hatt.	549
111. <i>Porella canariensis</i> (F. Weber) Underw.	549
112. <i>Porella grandiloba</i> Lindb. 巨瓣光萼苔	550
113. <i>Porella subobtusa</i> (Steph.) Hatt. 钝瓣光萼苔	551
114. <i>Porella cordaeana</i> Huelen.	551
115. <i>Porella caespitans</i> var. <i>setigera</i> (Steph.) S. Hatt. 丛生光萼苔尖叶变种	552
116. <i>Frullania muscicola</i> Steph. 盔瓣耳叶苔	552
117. <i>Frullania tamarisci</i> (L.) Dum. 欧耳叶苔	553
118. <i>Frullania inouei</i> Hatt. 圆叶耳叶苔	555
119. <i>Frullania brasiliensis</i> Raddi.	556
120. <i>Frullania densiloba</i> Ev. 密瓣耳叶苔	557
121. <i>Frullania dilatata</i> (L.) Dum.	557
122. <i>Frullania falciloba</i> Taylor ex. Lehm.	557
123. <i>Frullania convolute</i>	558
124. <i>Frullania hamachiloba</i>	559
125. <i>Lepidolaena clavigera</i> (Hook.) Dum. ex Trev.	559
126. <i>Lepidolaena hodgsoniae</i> Grolle.	560
127. <i>Lepidolaena taylorii</i> (Gottsche) Trevis.	561
128. <i>Lepidolaena palpebrifolia</i> (Hook.) Dumort. ex Trevis.	562
129. <i>Archilejeunea olivacea</i> (Hook. f. & Taylor) Stephani.	562
130. <i>Cheilolejeunea imbricata</i> (Nees) Hatt. 瓦叶唇鳞苔	563
131. <i>Cheilolejeunea trifaria</i> (Reinw. et al) Mizut. 阔叶唇鳞苔	563
132. <i>Cheilolejeunea serpentina</i> (Mitt.) Mizut.	564
133. <i>Lejeunea aquatica</i> Horik. 水生细鳞苔	564
134. <i>Lejeunea flava</i> (Sw.) Nees 黄色细鳞苔	565
135. <i>Lejeunea japonica</i> Mitt. 日本细鳞苔	565
136. <i>Leptolejeunea elliptica</i> (Lehm. et Lindenb.) Schiffn. 尖叶薄鳞苔	566
137. <i>Ptychanthus striatus</i> (Lehm. & Lindenb.) Nees. 皱萼苔	566
138. <i>Trocholejeunea sandvicensis</i> (Gott.) Mizut. 南亚瓦鳞苔	567
139. <i>Marchesinia brachiata</i> (Sw) Schiffn.	568
140. <i>Wettsteinia inversa</i> (S. Lac.) Schiffn. 锐齿短萼苔	568
141. <i>Wettsteinia schusterana</i>	568
142. <i>Adelanthus lindenbergianus</i> (Lehm.) Mitt.	569
143. <i>Adelanthus decipiens</i> (Hook.) Mitt.	570
144. <i>Marsupella emarginata</i> var. <i>aquatica</i> (Lindenb.) Dumort. 钱袋苔	570
145. <i>Marsupella alpina</i> (Gott. et Limpr.) Bernet. 高山钱袋苔	571
146. <i>Marsupella emarginata</i> (Ehrh.) Dumort. 缺刻钱袋苔	572
147. <i>Calypogeia fissa</i> (L.) Raddi. 护蒴苔	573
148. <i>Calypogeia azurea</i> Stotler et Crotz.	573
149. <i>Calypogeia muelleriana</i> (Schiffn.) Müll. 芽孢护蒴苔	574
150. <i>Calypogeia suecica</i> (Arn. & Pers.) K. Mull.	575
151. <i>Jackiella javanica</i> Schiffn. 爪哇甲壳苔	576
152. <i>Tylimanthus renifolius</i> Hässel & Solari. 顶苞苔	577