



荒漠 濒危 生存

沙冬青衰退与真菌群落结构的
耦合关系研究

王珊 高永 魏杰 党晓宏/著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

国家林业局林业公益性行为科研专项

“珍稀濒危植物沙冬青衰退诊断及保育技术研究”(项目编号:201304305)资助

荒漠 濒危 生存

沙冬青衰退与真菌群落结构的
耦合关系研究

王珊 高永 魏杰 党晓宏/著



经济管理出版社

ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

荒漠 濒危 生存: 沙冬青衰退与真菌群落结构的耦合关系研究/王珊, 高永, 魏杰, 党晓宏著. —北京: 经济管理出版社, 2018. 6

ISBN 978 - 7 - 5096 - 5769 - 0

I. ①荒… II. ①王… ②高… ③魏… ④党… III. ①冬青科—根系—土壤真菌—研究 IV. ①Q949.754.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 090597 号

组稿编辑: 李红贤

责任编辑: 王光艳 李红贤

责任印制: 黄章平

责任校对: 陈 颖

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-m.p.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京玺诚印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm × 1000mm/16

印 张: 10.75

字 数: 126 千字

版 次: 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 5769 - 0

定 价: 58.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

西鄂尔多斯国家级自然保护区是以保护古老孑遗濒危植物及荒漠生态系统为主要对象的荒漠生态系统类型自然保护区。保护区地处内蒙古自治区西北部，位于黄河东岸与鄂尔多斯高原西部边缘之间的狭长地带，是我国西北部荒漠地区的生态脆弱地带。保护区内具有丰富的受国家保护的濒危古地中海残遗植物，是我国西北干旱地区生物多样性研究的热点区域之一。保护区处于草原向荒漠过渡的地带上，景观生态类型多样组合，拥有占全部植物种类近 2/3 的珍稀、濒危、古老的特有植物，这些珍稀的古老孑遗特有种成为植物群系中的建群种和优势种，构成干旱荒漠地区罕见的景观类型。起源于古地中海沿岸的第三纪孑遗植物沙冬青在此生存并延续至今，但因环境变化和人为破坏的双重威胁，目前已出现严重退化的现象。沙冬青衰退的真正原因以及如何对其进行有效的保护等研究内容已经受到学术界的普遍关注。本书利用热成像技术将沙冬青群落划分为不同的衰退等级，首次应用高通量测序分析对不同衰退等级的沙冬青根内生真菌及根围土壤真菌进行了探讨，主要结论如下：

河边、山脚、路边、化工厂、山坡 5 个生境的沙冬青群落的根内生真菌物种多样性为山脚 > 山坡 > 路边 > 河边 > 化工厂。从门的水平上来看，Basidiomycota 门真菌在山脚、化工厂和山坡上的沙冬青群落



中占绝对优势, Ascomycota 门真菌在河边的沙冬青群落中占绝对优势, Ascomycota 和 Basidiomycota 门真菌在路边的沙冬青群落中比例相当且占比都较大。从科属的水平上来看, 5 个生境的沙冬青根内生真菌的群落结构差异非常显著。5 个不同生境沙冬青根内生真菌的优势属(丰度大于 1%) 中腐生真菌或寄生真菌与“共生”真菌的比例相差很大, 河边的沙冬青群落腐生真菌或寄生真菌占比最高, 山坡上的沙冬青群落共生真菌类群占比最高。

5 个生境沙冬青根内生真菌的“建群类群”为 *Tomentella*、*Tricholoma*、*Fusarium* 和 *Sebacina*。不同衰退等级沙冬青根内生真菌的“建群类群”有一定差异, 且其群落结构在门、科、属水平上都有显著差异。Top10 属中的 *Agaricus*、*Tomentella*、*Tricholoma*、*Fusarium*、*Inocybe* 及 *Tuber* 6 个属的真菌在所有衰退等级的沙冬青中都有分布。不同衰退等级的沙冬青根内都有腐生或寄生真菌和“共生”真菌分布, 其占比不同且呈现出动态变化: 随着衰退等级的增加, 沙冬青根内腐生真菌或寄生真菌与共生真菌比例显著增高。当腐生真菌或寄生真菌的比例高于共生真菌比例一般会引起病害的发生, 这可能是导致沙冬青群落衰退的原因之一。土壤有机质与土壤容重具有协同作用, 且对 *Agaricus*、*Inocybe*、*Fusarium*、*Penicillium*、*Amphinema* 具有正相关的影响, 对 *Tricholoma*、*Tomentella*、*Tuber* 具有负相关的影响。

不同衰退等级的沙冬青群落的根围土壤真菌在群落结构上差异十分显著, 共生真菌类群的种类和数量显著减少。从属水平来看, 根内生真菌 Top10 属中的 *Agaricus*、*Inocybe*、*Tomentella*、*Tricholoma*、*Tuber*、*Amphinema*、*Sebacina*、*Ilyonectria* 不在土壤中的 Top10 属。根内生真菌和根围土壤真菌 Top10 属共有的 *Fusarium* 和 *Penicillium* 在土壤中的占比显著增加。

不同衰退等级的沙冬青群落的根围土壤真菌群落结构在门、科及属水平上都有显著差异,土壤中的真菌 Top10 属中的腐生或寄生真菌类群多且占绝对优势,而共生真菌类群较少且占比较低。有机质和土壤容重对不同衰退等级的沙冬青群落的根围土壤真菌群落结构的影响很大,对大部分腐生或寄生真菌的影响呈正相关。*Fusarium*、*Penicillium*、*Gibberella*、*Alternaria*、*Phoma* 的占比在衰退的沙冬青群落中明显增加,表明高有机质含量和高土壤容重有利于腐生或寄生真菌的生长。

沙冬青—霸王混合群落中,沙冬青和霸王的根内生真菌的丰富度和多样性都大于沙冬青或霸王的单独群落, Basidiomycota 门真菌在所有群落中都占绝对优势。科、属水平上,沙冬青单独群落、霸王单独群落以及沙冬青—霸王混合群落中根内生真菌的群落结构差异显著。属水平上,沙冬青—霸王混合群落中的沙冬青和霸王根内生真菌群落中的共生真菌类群比各自单独群落中的共生真菌类群有显著提高,而腐生真菌或寄生真菌类群显著减少。沙冬青和霸王的根内生真菌群落结构非常相似,这可能是沙冬青—霸王混合群落面积增加的内在原因之一。

本研究经分离培养获得沙冬青根内生真菌菌株 6 个,它们在菌落颜色、是否有气生菌丝等方面有所不同。经分子鉴定,这 6 个菌株隶属于粘帚霉属 *Clonostachys* 和镰刀霉属 *Fusarium*,其中 5 个菌株为 *Fusarium* 属真菌、1 个为 *Clonostachys* 属真菌。液体培养获得 4 个菌株的菌剂,对沙冬青幼苗进行回接实验表明, *Clonostachys* 的 1 个菌株和 *Fusarium* 的 3 个菌株没有对沙冬青幼苗产生致病性。

本研究首次应用高通量测序分析对沙冬青的根内生真菌及根围土壤真菌进行了研究,填补了沙冬青在此方面研究的空白。根内生真菌中出现的大量共生真菌类群是常被报道的外生菌根真菌类群,这些真菌

是否与沙冬青形成共生组织、是否为沙冬青提供必需的营养和水分还需要今后的深入研究。沙冬青根内生真菌 *Fusarium* 对沙冬青的作用还有待进一步研究, *Clonostachys* 菌株的生防潜力还有待开发。

高永教授对本书研究内容进行了整体设计,王珊、魏杰、党晓宏三位博士通力合作,在王珊博士论文的基础上修改完善了本书的全部内容。本书在撰写的过程中参考引用了国内外的有关书籍和文献,特此感谢。感谢内蒙古财经大学在读硕士研究生李金锴、娜日格勒在资料整理过程中付出的辛勤劳动。本书的编辑出版得到了经济管理出版社王光艳老师和编辑人员的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于著者学术水平有限,书中不足之处,恳请读者不吝赐教。

作者

2018年3月

目 录

1	引言	1
1.1	研究背景及依据	1
1.1.1	沙冬青成为学术界研究热点	2
1.1.2	植物非接触式无损诊断技术的急需	4
1.1.3	土壤真菌和内生真菌研究作为突破点	5
1.2	研究目的与意义	7
1.2.1	现实意义	7
1.2.2	理论意义	10
1.3	国内外研究现状	12
1.3.1	沙冬青的研究现状及展望	12
1.3.2	沙冬青根瘤菌的研究现状	19
1.3.3	沙冬青真菌的研究现状	20
2	研究区概况	22
2.1	地理位置	22
2.2	地质地貌	24
2.3	气候	26



2.3.1	年降雨量	26
2.3.2	年平均气温	26
2.3.3	年日照时数	28
2.3.4	年平均风速	29
2.4	水文	29
2.4.1	地表水	30
2.4.2	地下水	30
2.5	植被特征	30
2.6	土壤	31
2.7	社会经济概况	33
2.8	本章小结	35
3	研究内容与设计方案	36
3.1	红外热成像技术的试验设计和方法	36
3.1.1	研究方法	36
3.1.2	试验设计	39
3.1.3	测定指标与方法	40
3.2	真菌多样性研究的实验材料与实验方法	42
3.2.1	实验材料	42
3.2.2	实验方法	44
4	基于红外热成像技术的沙冬青衰退等级划分	56
4.1	结果与分析	58
4.1.1	沙冬青群落特征	58
4.1.2	不同衰退等级的沙冬青灌丛叶片温度的变化	65



4.1.3	不同衰退等级的沙冬青灌丛植被蒸腾 扩散系数的变化	66
4.1.4	不同衰退等级的沙冬青灌丛叶片 蒸腾速率的变化	68
4.1.5	不同衰退等级的沙冬青灌丛叶片 气孔导度的变化	70
4.1.6	不同衰退等级的沙冬青灌丛叶片 净光合速率的变化	71
4.1.7	沙冬青蒸腾扩散系数 h_{at} 与光合参数 P_n 、 G_s 和 T_r 的 相关分析及回归模型	72
4.2	本章小结	74
5	不同生境沙冬青群落的根内生真菌群落研究	75
5.1	各生境沙冬青根内生真菌高通量测序结果	75
5.2	各生境沙冬青群落根内生真菌群落结构分析	77
5.3	本章小结	83
6	不同衰退等级的沙冬青群落根内生真菌群落研究	84
6.1	不同衰退等级沙冬青群落根内生真菌高通量测序结果 ...	84
6.2	不同衰退等级沙冬青根内生真菌群落结构分析	86
6.3	本章小结	93
7	不同衰退等级沙冬青群落根围土壤真菌群落研究	95
7.1	不同衰退等级沙冬青群落根围土壤真菌 群落高通量测序结果	95

7.2	不同衰退等级沙冬青群落根围土壤真菌群落结构分析	97
7.3	本章小结	105
8	沙冬青—霸王混合群落的根内生真菌群落研究	106
8.1	霸王单独群落、沙冬青—霸王混合群落以及沙冬青 单独群落根内生真菌高通量测序结果	106
8.2	霸王单独群落、沙冬青—霸王混合群落以及沙冬青 单独群落根内生真菌群落结构分析	108
8.3	本章小结	113
9	沙冬青根内生真菌分离培养与鉴定	115
9.1	沙冬青根内生真菌菌株及菌落形态特征观察	115
9.1.1	沙冬青根内生真菌菌株	115
9.1.2	菌落形态特征观察	115
9.2	菌株的分子鉴定	117
9.3	4个菌株回接实验	119
9.4	本章小结	122
10	讨论与结论	124
10.1	讨论	124
10.1.1	红外热成像技术诊断沙冬青衰退等级	124
10.1.2	不同生境沙冬青群落的根内生 真菌群落结构	126
10.1.3	不同衰退等级沙冬青群落根内生 真菌群落结构	128

10.1.4	不同衰退等级沙冬青群落根围土壤 真菌群落结构	130
10.1.5	沙冬青—霸王混合群落的根内生真菌群落 ...	132
10.1.6	沙冬青根内生真菌分离培养与鉴定实验	134
10.2	主要结论	135
10.2.1	红外热成像技术诊断沙冬青衰退等级	135
10.2.2	不同生境沙冬青群落的根内生 真菌群落结构	136
10.2.3	不同衰退等级沙冬青群落根内生 真菌群落结构	136
10.2.4	不同衰退等级沙冬青群落根围土壤 真菌群落结构	137
10.2.5	沙冬青—霸王混合群落的根内生真菌群落 ...	137
10.2.6	沙冬青根内生真菌分离培养与鉴定实验	138
参考文献		139

1 引言

1.1 研究背景及依据

自然保护区是指对有代表性的自然生态系统，珍稀濒危野生动植物物种的天然集中分布区，有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地、陆地水体或者海域，依法划出一定面积予以保护和管理区域（《中华人民共和国自然保护区条例》中定义）。自然保护区又称“自然禁伐禁猎区”，其主要功能是保护自然生态环境和生物多样性，保证生物遗传资源和景观资源能够可持续利用，为科学研究、科普宣传、生态旅游提供基地。

西鄂尔多斯国家级自然保护区是以保护古老、孑遗、濒危植物及荒漠生态系统为主要对象的荒漠生态系统类型自然保护区。保护区地处内蒙古自治区西北部，位于黄河东岸与鄂尔多斯高原西部边缘之间的狭长地带，是我国西北部荒漠地区的生态脆弱地带。保护区内具有丰富的受国家保护的濒危古地中海残遗植物，是我国西北干旱地区生物多样性研究的热点区域之一。保护区处于草原向荒漠过渡的地带



上,景观生态类型多样组合,拥有占全部植物种类近 2/3 的珍稀、濒危、古老的特有植物,这些珍稀的古老孑遗特有种成为植物群系中的建群种和优势种,构成干旱荒漠地区罕见的景观类型。西北部乌兰布和沙漠的向东扩展加快了保护区的荒漠化速度,再加上近年来人类不合理的开发利用,使本来就十分脆弱的生态环境更加恶化,直接影响到保护区中植物的生长。起源于古地中海沿岸的第三纪孑遗植物沙冬青在此生存并延续至今,但因环境变化和人为破坏的双重威胁,目前已出现严重退化的现象。沙冬青衰退的真正原因以及如何对其进行有效的保护等研究内容已经受到学术界的普遍关注。

已有的研究表明,灰斑古毒蛾以沙冬青未成熟果荚及种子为食使得沙冬青结籽率和种子质量下降(王雄,2002),以及生态环境的恶化和落地种子不宜获得适宜生长发育的条件是造成沙冬青衰退、稀有的重要原因。目前对于沙冬青衰退的原因,本项目组其他成员已经从土壤水分、养分、病虫害、其他种入侵、环境污染、气候变化等多方面进行了研究。在此基础上,本文主要针对土壤根围微生物及根内生真菌与沙冬青群落退化的相关性进行研究。

1.1.1 沙冬青成为学术界研究热点

沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)生长于亚洲中部的荒漠中,是第三纪中地中海地区孑遗种,国家二级珍稀濒危保护植物,常绿阔叶超旱生灌木。因为沙冬青属于古老地中海地区的孑遗植物,所以对分布区生物多样性起源与进化、生态系统演变、古植物区系等方面的研究具有重要的学术价值,同时也受到国内外生态学、地理学、生理学、生物学、遗传性等研究学者的普遍关注。作为荒漠地区群落的建群种之一,沙冬青对于保持所分布区域内生态系统的平衡与稳定发挥

着巨大的作用。沙冬青具有很强的耐寒、耐旱、耐高温、抗逆和耐贫瘠等特性，是干旱荒漠地区水土保持和固沙防风的优良树种。沙冬青株型低矮紧凑，开花期花团锦簇，又是干旱荒漠地区唯一的常绿阔叶灌木，因此，如果可以应用于我国北方园林中，能够产生良好的景观视觉效果。

沙冬青所分布的地区，地形大多是低山、山间沟谷和丘间平原，土壤为有机质含量较低的荒漠土，并且与粗砾质、砂质和石质的基质相联系，常有厚度为5~25厘米、处于固定或半固定状态的覆沙。在其生存的环境中，会形成块状或带状的荒漠群落，覆盖度在30%左右，往往与霸王（*Zygophyllum xanthoxylum*）、红砂（*Reaumuria songarica*）、四合木（*Tetraena mongolica*）等旱生植物组成共建灌木群落。沙冬青是在防风固沙、荒漠化防治、药用、园林绿化等方面具有重要作用的荒漠植物。西鄂尔多斯国家级自然保护区是沙冬青的重要分布区域，由于自然环境的日益恶化，该区域内的沙冬青群落已经严重退化，群落分布面积日趋缩小，目前已经难以发挥其防风固沙、保护生态环境的作用。

西鄂尔多斯国家级自然保护区中沙冬青的分布虽然相对稀疏，且生产力较低，但其适应荒漠生态环境的特性，在维持该区域物质与能量的循环往复、防止该区域进一步荒漠化等方面发挥着重要的生态作用。沙冬青作为西鄂尔多斯国家级自然保护区重要的建群植物、优良的固沙防风材料，对于维持当地生态平衡、改善局地小气候等具有重要的生态意义。因此，关于沙冬青的科学研究，对揭示其濒危机制、制定科学合理的保护措施和有效的开发利用对策具有重要的科学价值和现实意义，且已成为荒漠地区生态环境保护的研究热点。

1.1.2 植物非接触式无损诊断技术的急需

沙冬青分布范围狭小,生境严酷,天然更新能力差。加之遭受人类活动的破坏,因而出现了不同程度的衰退,生存现状岌岌可危,必须采取有效的措施对其进行繁育和保护。然而,在保护过程中,正确诊断沙冬青植株的生长状态和衰退程度,从而采取相应的人工措施促进其复壮是首先要解决的问题。传统调查植株生长状态及评价植物衰退状况的方法大多是测定光合、蒸腾等生理指标,生物量和生长势等生长指标,但这些方法比较烦琐耗时,大量的试验或操作不当还会导致植株叶片受到损伤,同时存在以样点代表总体的严重不足。因此,亟须一种快速方便、准确可靠的非接触式无损诊断技术来调查植株的生长状态及评价植物的衰退状况。

基于热能的红外热成像是一种避免人体直接接触的肉眼所能看见的技术。它能观测人体肉眼不可见的红外波段的光谱,通过红外探测器将物体自身的温度传至显示屏,并以图像的形式将空间分布显现。物体自身热辐射能量的大小与其表面温度紧密相关,利用这个特点,可以对目标物体实现实时的、无损的热状态分析。这项技术已经被广泛认可并被应用于植物生理学、植物生态生理学、环境监测和农业领域。早在1980年初期,该项技术已经广泛应用于工业、农业、环境保护和科学研究。在植物学方面,该技术被用来研究植物叶片气孔运动、光合特性,现也用来研究植物抗旱性、盐胁迫、气孔突变、植物基因类型。

通常情况下,植物通过蒸腾作用来控制自身温度的相对稳定性。例如,植物生存在十分干旱的环境条件下,它会通过降低气孔导度和减弱蒸腾强度等气孔行为来适应干旱胁迫。然而,蒸腾作用的改变又

与植物表面温度的高低紧密相关,所以,植物对外界环境的适应过程会通过一些生理指标反映,从而体现在植物热量和温度的变化上,即植物表面温度会随着蒸发蒸腾作用、光合作用以及环境因素的改变而变化。不可否认的是,影响植物蒸腾作用与光合作用的因素有很多,但是它在反映植物水分及气孔状态中具有重要的主导作用。基于这一原理,不少专家学者已将其作为一种水分和环境胁迫的监测指标。

邱国玉提出了一种基于气温、表面温度及参考表面温度的“三温模型”,该模型不仅可以用来计算植物的蒸散量,还可以评价当地的环境质量,具有普适性、计算简便、适应性广、易观测等特点。近年来,该模型在遥感领域获得一致好评,并被广泛采用。该模型包含植被蒸腾模型、土壤蒸发模型、植被蒸腾扩散系数、土壤蒸发扩散系数及作物水分亏缺系数5个基本模型。其中,土壤蒸发扩散系数被用来评价土壤水分状况与环境质量,而植被蒸腾扩散系数被用来评价植被水分状况与环境质量。通过引入没有蒸腾的参考植被表面温度,就可以计算植被蒸腾量和植被蒸腾扩散系数。

本研究在利用红外热成像技术的基础上,通过野外现地获取图像,室内运用 ENVI 软件提取植被冠层表面温度,同时将其代入三温模型理论中计算植被蒸腾扩散系数,进而探索不同株龄的沙冬青植被蒸腾扩散系数与其光合参数之间的相关关系,以期沙冬青衰退程度诊断提供一种快速、准确的技术,以此来提高保育水平。

1.1.3 土壤真菌和内生真菌研究作为突破点

土壤真菌是土壤中的真菌类群,包括半知菌、接合菌、担子菌及子囊菌,是生态系统的重要组成部分。土壤真菌根据对植物的作用,又被划分为有益菌和病原菌。土壤真菌通过物质循环、能量转换与宿