



秦岭林线树种太白红杉

生态特征及其对气候变化的响应

李俊生 胡理乐 舒俭民 等 著



科学出版社

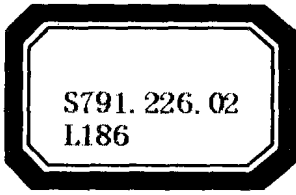
秦岭林线树种太白红杉生态特征 及其对气候变化的响应

Ecological Characteristics and Response to Climate Change
of Alpine Treeline *Larix chinensis* in Mts. Qinling

李俊生 胡理乐 舒俭民等 著

科学出版社

北京

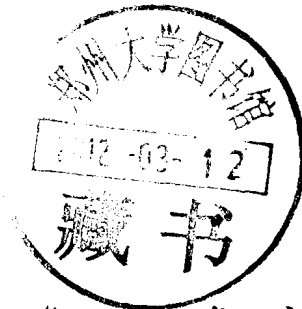


郑州大学 *04010741217R*

秦岭林线树种太白红杉生态特征 及其对气候变化的响应

Ecological Characteristics and Response to Climate Change
of Alpine Treeline *Larix chinensis* in Mts. Qinling

李俊生 胡理乐 舒俭民 等 著



科学出版社

北京

S791.226.02
1101

序

气候变化已成为全人类共同面临的重大环境问题。全球变暖、极端气候事件发生频率增加等气候变化给人类社会带来极大的负面影响,已经威胁到人类的生存与社会经济的持续发展,同时,对自然生态系统造成明显影响,成为生物多样性丧失的重要原因。当前,气候变化影响、适应以及减缓已成为生态学和环境科学研究的热点问题。

生态过渡带具有独特性,被认为是对气候变化反映最敏感的地区之一,成为全球变化监测的重要区域。高山林线作为郁闭森林和高山植被之间的生态过渡带,是极端环境条件下树木生存的上限,是全球气候变化极为重要和敏感的指示因子,研究林线生态系统对气候变化响应的动态是理解和掌握全球变化的关键。此外,由于山地的阻隔,高山地区林线物种很少受到人为的干扰,是研究植被和气候关系的天然实验室。

秦岭是我国南北气候分界岭,是气候变化敏感区域之一。秦岭主峰太白山最高海拔 3767.2 m,是我国中东部最高山,是具有国际意义的生物多样性关键地区之一,其复杂的生境条件、完整的山地生态系统、垂直分层明显的植被带、丰富的动植物资源、众多的特有生物种类为中外学者所关注。作者选择以秦岭主峰太白山林线树种为研究对象开展气候变化影响与响应的相关工作具有突出的意义。该书基于作者多年实际调查资料,较为全面地分析高山林线生态特征并探讨高山林线对气候变化的响应,丰富了高山林线与气候关系的理论研究;探讨高山林线生态系统碳密度与气候因子的关系,是森林生态系统碳循环对气候变化反馈研究领域的重要探索;从生态学角度分析濒危物种太白红杉的致危因素并提出保护建议,为濒危物种太白红杉应对气候变化的保护提供理论基础。

作者多年从事气候变化影响与生物多样性保护研究工作,在该领域有丰富的积累和丰硕的成果。鉴于当今气候变化影响的紧迫性和相关基础研究的缺乏,该书的出版将丰富气候变化影响领域的研究内容,为深入开展此类研究提供重要参考,也将为气候变化的应对提供理论基础。



中国工程院院士

2011年5月

2.6	生物多样性	25
2.7	自然保护区分布	26
第3章	研究区域气候变化特征	28
3.1	1967~2007年41年间气候变化特征	28
3.1.1	研究方法	29
3.1.2	温度变化特征	31
3.1.3	降水变化特征	36
3.1.4	其他气象因子变化特征	38
3.1.5	结论与讨论	42
3.2	2001~2100年100年气候变化预测	42
3.2.1	研究方法	42
3.2.2	温度变化特征	43
3.2.3	降水变化特征	45
第4章	太白红杉林数量分类	48
4.1	太白红杉群落调查	48
4.1.1	群落调查	48
4.1.2	生境调查	49
4.1.3	数据处理	49
4.2	太白红杉林数量分类	53
4.2.1	北坡太白红杉林分类结果	53
4.2.2	南坡太白红杉林分类结果	60
4.2.3	结论与讨论	66
4.3	太白红杉群落特征	66
4.3.1	北坡太白红杉群落特征	67
4.3.2	南坡太白红杉群落特征	69
4.3.3	太白红杉林特征比较	70
第5章	太白红杉种实数量特征及环境解释	73
5.1	研究方法	73
5.2	太白红杉种实数量特征	74
5.3	太白红杉种实特征影响因子	77
5.4	结论与讨论	79
第6章	太白红杉种群特征及环境解释	82
6.1	太白红杉种群结构特征	83
6.1.1	太白红杉林林龄比较	83
6.1.2	太白红杉林种群高度结构	84

国际意义的生物多样性关键地区之一,其复杂的生境条件、完整的山地生态系统、垂直分层明显的植被带、丰富的动植物资源、众多的特有生物种类,早为中外学者所关注。林线树种太白红杉(*Larix chinensis*)片断化地分布在秦岭高山区域,尤其集中分布于太白山周边,对气候变化十分敏感,是研究植被对气候变化响应的典型生态过渡带。太白红杉又是秦岭山区唯一生存的落叶松属植物,对研究秦岭植物区系和落叶松属地理分布具有重要科学价值。此外,太白红杉具有维护生态平衡、调节区域气候、水土保持、稳山固石、水源涵养(水土保持与水源涵养的关系)等重要生态系统服务功能。本书以秦岭主峰太白山林线树种太白红杉为对象,较为全面地分析秦岭高山林线树种太白红杉生态特征并探讨高山林线对气候变化的响应,丰富了高山林线与气候关系的理论研究;探讨高山林线生态系统碳密度与气候因子的关系,是森林生态系统碳循环对气候变化反馈研究领域的重要探索;从生态学角度分析濒危物种太白红杉的致危因素并提出保护建议,为气候变化背景下濒危物种太白红杉的保护提供理论基础。

本书共 11 章。第 1 章介绍了气候变化的影响、高山林线形成机理及其对气候变化的响应和林线树种太白红杉简介 3 个方面;第 2 章主要包括研究区域自然概况,涉及地理位置、气候特征、生物多样性等;第 3 章分析研究区域气候变化特征,包括过去气候特征和未来 100 年间的预测气候特征;第 4 章采用数量分类方法对太白红杉林进行较为客观的分类,并阐述不同太白红杉类型的群落结构特征;第 5 章研究太白红杉种实数量特征并进行环境解释,以揭示太白红杉种实的限制性环境因子;第 6 章按照群落类型描述太白红杉种群特征并分析种群特征与环境因子的关系,探讨太白红杉生长的限制性因子;第 7 章研究太白红杉径向生长对气候变化的响应;第 8 章研究太白红杉林土壤碳密度、森林碳密度与气候因子的关系;第 9 章揭示太白红杉分布特征并预测其分布范围对气候变化的响应;第 10 章分析太白山不同植被带林下光环境特征;第 11 章分析和总结太白红杉致危因素及其保护建议。

本书具体分工如下:李俊生负责大纲制订、全书内容安排,并负责第 2、3 章撰写,参与第 1、10 章的撰写;闫伯前负责第 1、4~7、9、10 章撰写,并参与了全书各章节的撰写;舒俭民负责全书结构安排,并参与第 1~3 章的撰写;胡理乐负责第 9、11 章撰写,参与数据处理、排版和全书的校对;罗建武负责排版和校对工作,并负责第 8 章的撰写;罗遵兰参与第 8、10 章的撰写;李明财参与了第 1 章的撰写。全书初稿经李俊生和舒俭民全面修改,最后由胡理乐统稿和校对。

本研究得到中央级公益性科研院所基本科研业务专项《秦岭生物多样性野外监测研究站建设》(2011GQ-13)、《气候变化对秦岭山区典型珍稀物种空间分布格局的影响》(2007KYYW04)、国家环境保护公益性行业科研专项《全国生物多样性监测与评价技术研究》(200709018)和《转 *Bt* 基因水稻对田内小型兽类的安全性评

极大影响。林线的提高或林线生物量的变化对于全球碳循环有重要的指示作用。

我国林线研究仍十分薄弱,已有研究主要集中在西南高山区和长白山山脉,此外,从林线变迁、树木生长、分布范围预测以及林线碳密度等多方面研究林线对气候变化的响应尚少见报道。秦岭是我国南北气候分界线,且气候变化敏感区域。长白山最高海拔 3767.2 m,是我国中东部最高山。长白山是我国且有

年中国年亚平均温度将增加 1.2~2.1℃，2050 年增加 2.2~3.2℃。预计到 2020 年

极大影响。林线的提高或林线生物量的变化对于全球碳循环有重要的指示作用。

我国林线研究仍十分薄弱,已有研究主要集中在西南高山区和长白山山脉,此外,从林线变迁、树木生长、分布范围预测以及林线碳密度等多方面研究林线对气候变化的响应尚少见报道。秦岭是我国南北气候分界线,且气候变化敏感区域。长白山最高海拔 3767.2 m,是我国中东部最高山。长白山是我国具有

国际意义的生物多样性关键地区之一,其复杂的生境条件、完整的山地生态系统、垂直分层明显的植被带、丰富的动植物资源、众多的特有生物种类,早为中外学者所关注。林线树种太白红杉(*Larix chinensis*)片断化地分布在秦岭高山区域,尤其集中分布于太白山周边,对气候变化十分敏感,是研究植被对气候变化响应的典型生态过渡带。太白红杉又是秦岭山区唯一生存的落叶松属植物,对研究秦岭植物区系和落叶松属地理分布具有重要科学价值。此外,太白红杉具有维护生态平衡、调节区域气候、水土保持、稳山固石、水源涵养(水土保持与水源涵养的关系)等重要生态系统服务功能。本书以秦岭主峰太白山林线树种太白红杉为对象,较为全面地分析秦岭高山林线树种太白红杉生态特征并探讨高山林线对气候变化的响应,丰富了高山林线与气候关系的理论研究;探讨高山林线生态系统碳密度与气候因子的关系,是森林生态系统碳循环对气候变化反馈研究领域的重要探索;从生态学角度分析濒危物种太白红杉的致危因素并提出保护建议,为气候变化背景下濒危物种太白红杉的保护提供理论基础。

本书共 11 章。第 1 章介绍了气候变化的影响、高山林线形成机理及其对气候变化的响应和林线树种太白红杉简介 3 个方面;第 2 章主要包括研究区域自然概况,涉及地理位置、气候特征、生物多样性等;第 3 章分析研究区域气候变化特征,包括过去气候特征和未来 100 年间的预测气候特征;第 4 章采用数量分类方法对太白红杉林进行较为客观的分类,并阐述不同太白红杉类型的群落结构特征;第 5 章研究太白红杉种实数量特征并进行环境解释,以揭示太白红杉种实的限制性环境因子;第 6 章按照群落类型描述太白红杉种群特征并分析种群特征与环境因子的关系,探讨太白红杉生长的限制性因子;第 7 章研究太白红杉径向生长对气候变化的响应;第 8 章研究太白红杉林土壤碳密度、森林碳密度与气候因子的关系;第 9 章揭示太白红杉分布特征并预测其分布范围对气候变化的响应;第 10 章分析太白山不同植被带林下光环境特征;第 11 章分析和总结太白红杉致危因素及其保护建议。

本书具体分工如下:李俊生负责大纲制订、全书内容安排,并负责第 2、3 章撰写,参与第 1、10 章的撰写;闫伯前负责第 1、4~7、9、10 章撰写,并参与了全书各章节的撰写;舒俭民负责全书结构安排,并参与第 1~3 章的撰写;胡理乐负责第 9、11 章撰写,参与数据处理、排版和全书的校对;罗建武负责排版和校对工作,并负责第 8 章的撰写;罗遵兰参与第 8、10 章的撰写;李明财参与了第 1 章的撰写。全书初稿经李俊生和舒俭民全面修改,最后由胡理乐统稿和校对。

本研究得到中央级公益性科研院所基本科研业务专项《秦岭生物多样性野外监测研究站建设》(2011GQ-13)、《气候变化对秦岭山区典型珍稀物种空间分布格局的影响》(2007KYYW04)、国家环境保护公益性行业科研专项《全国生物多样性监测与评价技术研究》(200709018)和《转 *Bt* 基因水稻对田内小型兽类的安全性评

的观测样品由该研究中心的主任(2002年)和(2005年) 巴水尔宫的与气候变化与植
 物生长关系对高山地区的影响与列波波越在的关于与 已有研究表明,在中
 国明日的植被带, 丰富的物种资源以及丰富的植物种类, 是中外学者所关

10.1.1 太阳高度角和方位角计算	140
--------------------	-----

10.1.3 林窗内光照时长计算	141
------------------	-----

10.1.5 林窗内日照时长的计算	141
-------------------	-----

10.1.6 林窗内日照时长的计算	141
-------------------	-----

10.3 结果与分析	145
------------	-----

红杉林的一个方面, 且后为后续研究的日及夜产生而由空

10.3.3 林窗内太阳辐射月变化特征	149
---------------------	-----

10.3.4 林窗内日照时长的计算	150
-------------------	-----

(Guillemette and Stephen, 2001; Peter, 2002) 高山对温带影响植物生长的气

候因素, 且为后续研究的日及夜产生而由空

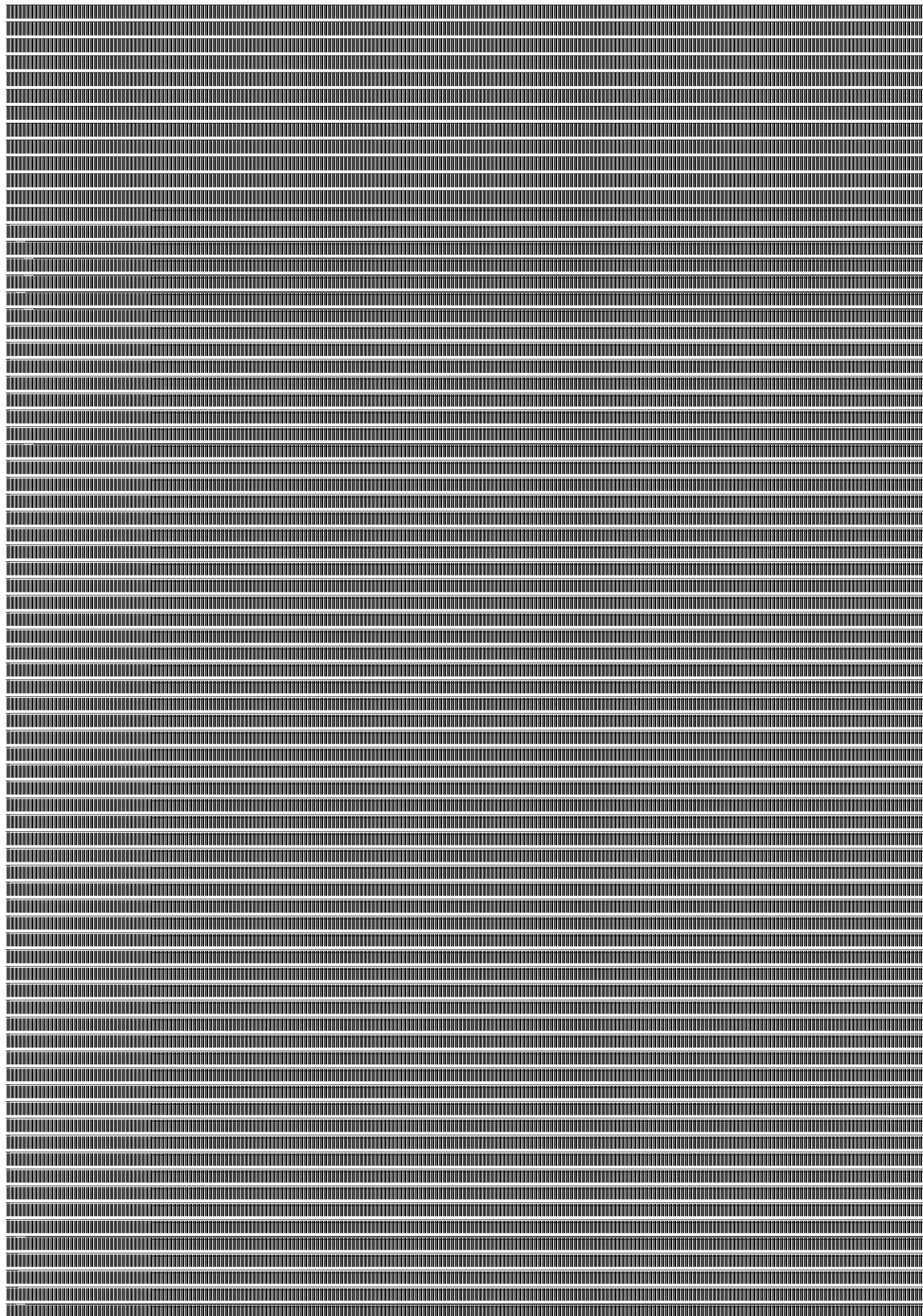
林窗内日照时长的计算, 且为后续研究的日及夜产生而由空

11.1 太白红杉致危因素	152
---------------	-----

11.2 太白红杉保护建议	155
---------------	-----

参考文献	157
------	-----

彩图



无关系的,因为在有机生命中,温度是许多发育过程的主要驱动因子。生物体内的各种生物化学反应与温度有密切关系,温度升高一般会提高生命活动的速率。多数情况下,温度升高加速了植物的发育,导致下一个发育阶段的提前到来。当然,温度只是对物候产生影响的气候因素之一,对受水分限制的生物来说,降水格局可能会是物候产生变化的主导因素。

也有证据表明秋季物候事件结束推迟,但这些变化并不如春季物候事件明显。鸟类中,秋季迁徙提前、推迟或不改变的物种所占的比例存在较大差异,树叶颜色变化也常常显现不同趋势(Menzel and Estrella, 2001)。在欧洲,树叶颜色变化监测结果为每 10 年逐渐推迟 0.3~1.6 天,然而在过去 50 年中,一些区域内植物生长季长度每隔 10 年增加 3.6 天(Menzel and Fabrian, 1999; Menzel and Estrella, 2001)。

1.1.2 气候变化对物种分布范围的影响

因为物种对温度和降水的耐受性具有一定的生理阈值,所以气候条件成为一个地区物种分布格局的主要限制因子之一(Woodward, 1987; Hoffman and Parsons, 1997)。化石记录和最近的观测数据均证明物种分布范围的扩展和收缩与持续变化的气候有密切的关系(Woodward, 1987; Hughes, 2000; McCarty, 2001)。不过,这种关系因纬度或地理位置而异。例如,如果物种的纬度分布也被其他因素如光照等限制(如珊瑚礁),那么物种分布范围对气候变化不会产生响应(Hoegh-Guldberg, 1999)。大量有关气候变化对生物影响的研究集中在物种丰富度和分布范围方面,进而预测生态系统结构与功能的变化。具有迁徙习性的物种是最佳的研究对象,但这些物种繁殖地区的多年监测结果却显示出物种分布范围存在巨大的波动性,使得物种分布范围变化难以辨别(Crick and Sparks, 1999; Easterling, 2000)。通过对比研究发现不迁徙的物种在气候变化影响下分布范围往往发生变化,这个结论可通过缓慢的种群灭绝与定居过程来解释。当物种原来分布地区的气候条件发生变化而不再适合该物种的生长、发育、繁殖和存活时,物种就会在这一地区从个体到种群逐渐消失。当物种的分布范围以外地区的气候变得适合物种的生长、发育、繁殖和存活等各个过程时,动物可通过直接迁徙或被动迁徙等方式扩散,植物则会通过种子或其他的繁殖体传播,并最终在这一地区定居、繁殖,或者进一步迁移。

众所周知,20 世纪随着全球温度的升高,物种分布范围正在向高纬度和高海拔地区迁移(Easterling, 2000; McCarty, 2001)。相对应地,原来在极地和高海拔地区的物种除了受到气候变化的直接影响外,也会受到新扩张来的物种的影响,经过长期的相互作用,在这些地区分布的物种组成也会发生变化。另外,极端气候也是物种分布范围变化重要的助推剂,因为极端气候事件的不连续性,造成物种分布

物种分布范围的扩大和物种的增加可以归因于全球气候变化(Pounds et al., 1997)。物种分布范围的变化往往是不对称的,来自低海拔(Pounds et al., 1997)。

无关系的,因为在有机生命中,温度是许多发育过程的主要驱动因子。生物体内的各种生物化学反应与温度有密切关系,温度升高一般会提高生命活动的速率。多数情况下,温度升高加速了植物的发育,导致下一个发育阶段的提前到来。当然,温度只是对物候产生影响的气候因素之一,对受水分限制的生物来说,降水格局可能会是物候产生变化的主导因素。

也有证据表明秋季物候事件结束推迟,但这些变化并不如春季物候事件明显。鸟类中,秋季迁徙提前、推迟或不改变的物种所占的比例存在较大差异,树叶颜色变化也常常显现不同趋势(Menzel and Estrella, 2001)。在欧洲,树叶颜色变化监测结果为每 10 年逐渐推迟 0.3~1.6 天,然而在过去 50 年中,一些区域内植物生长季长度每隔 10 年增加 3.6 天(Menzel and Fabrian, 1999; Menzel and Estrella, 2001)。

1.1.2 气候变化对物种分布范围的影响

因为物种对温度和降水的耐受性具有一定的生理阈值,所以气候条件成为一个地区物种分布格局的主要限制因子之一(Woodward, 1987; Hoffman and Parsons, 1997)。化石记录和最近的观测数据均证明物种分布范围的扩展和收缩与持续变化的气候有密切的关系(Woodward, 1987; Hughes, 2000; McCarty, 2001)。不过,这种关系因纬度或地理位置而异。例如,如果物种的纬度分布也被其他因素如光照等限制(如珊瑚礁),那么物种分布范围对气候变化不会产生响应(Hoegh-Guldberg, 1999)。大量有关气候变化对生物影响的研究集中在物种丰富度和分布范围方面,进而预测生态系统结构与功能的变化。具有迁徙习性的物种是最佳的研究对象,但这些物种繁殖地区的多年监测结果却显示出物种分布范围存在巨大的波动性,使得物种分布范围变化难以辨别(Crick and Sparks, 1999; Easterling, 2000)。通过对比研究发现不迁徙的物种在气候变化影响下分布范围往往发生变化,这个结论可通过缓慢的种群灭绝与定居过程来解释。当物种原来分布地区的气候条件发生变化而不再适合该物种的生长、发育、繁殖和存活时,物种就会在这一地区从个体到种群逐渐消失。当物种的分布范围以外地区的气候变得适合物种的生长、发育、繁殖和存活等各个过程时,动物可通过直接迁徙或被动迁徙等方式扩散,植物则会通过种子或其他的繁殖体传播,并最终在这一地区定居、繁殖,或者进一步迁移。

众所周知,20 世纪随着全球温度的升高,物种分布范围正在向高纬度和高海拔地区迁移(Easterling, 2000; McCarty, 2001)。相对应地,原来在极地和高海拔地区的物种除了受到气候变化的直接影响外,也会受到新扩张来的物种的影响,经过长期的相互作用,在这些地区分布的物种组成也会发生变化。另外,极端气候也是物种分布范围变化重要的助推剂,因为极端气候事件的不连续性,造成物种分布

范围变化通常也是非连续性的。除气候变化外,影响物种分布范围的因素还有很多,如地形地貌特征、人类干扰等,不同物种的分布范围相差很大,而物种自身的扩散能力也是影响其分布的内在因素之一,这意味着他们的扩散能力不尽相同,对气候变化的响应也存在较大差异(Parmesan, 1996; 1999)。

1.1.3 气候变化对物种入侵的影响

气候变化对物种入侵的影响主要表现在两个方面:一方面,正如前文所述,气候变化可导致本地物种入侵到邻近适合其生长的生境区而成为入侵物种(Dukes and Mooney, 1999),之所以入侵物种可以在气候变化的条件下成功定居,是因为大多数入侵物种具有快速的传播能力,可以抢在其他物种到达之前定居下来(Rejmánek and Richardson, 1996);另一方面,气候变化改变陆地和水生生态系统中资源的流动性,造成本地物种生长受到限制而使得分布范围较广的外来种有更多的机会成功入侵(Dukes and Mooney, 1999)。此外,入侵过程往往还会受到人为活动影响,入侵物种更适应其原来生境,如果入侵地环境条件不发生变化,入侵物种不大可能会在新生境中定居下来。一旦人为活动引起物种扩散到新的环境,并且新生境由于受到气候变化的影响已变得适应入侵物种的繁殖和定居,那么入侵物种会在不同的历史时期大量涌出其生境并扩散(Nehring, 1996; Walther, 2000)。试验研究表明,在一定条件下,短期提高水分可利用性可以促进外来物种的长期定居(Milchunas and Lauenroth, 1995);在北美洲干旱半干旱地区的长期观测研究表明,年降水量的增加使外来草本的优势度增加(Hobbs and Mooney, 1991);有研究表明,受气候变化影响的一些喜温水生的物种最近出现在了地中海和北海(Chisholm et al., 1995; Nieder et al., 2000)区域,另有一些喜温植物逐渐从城市向周围的农村扩散(Dukes and Mooney, 1999; Walther, 2000)。此外,有许多证据表明温度逐年上升与蚊子所携带的疾病在亚洲高原、东非和拉丁美洲的不断扩散存在显著相关性(Epstein, 1998)。入侵成功后,气候变化还会影响本地物种和入侵物种之间的相互关系,加速入侵物种代替本地物种(Human and Gordon, 1996)。

1.1.4 气候变化对群落动态的影响

群落物种组成能反映群落内生物个体之间以及生物与非生物环境之间的相互作用,气候变化和极端气候事件频繁发生会改变群落的物种组成,从而影响群落演替过程。例如,近年来在美国西南部的索诺兰沙漠里,灌木丛密度的增加以及该地区原来常见物种的减少和少见物种的增加都可以归因于区域气候变化(Brown et al., 1997)。物种分布范围的变化往往是不对称的,来自低海拔(Pounds et al., 1999)或低纬度(Brown et al., 1997)的物种入侵速度远比本地物种向高海拔或者

蝌蚪孵化越早,越易被蝶螈捕食,一旦蝶螈物候期提前而青蛙没有变化,会造成池塘食物网结构的改变,进而影响整个生态系统的结构和功能。气候变化也间接影响山地两栖动物种群动态(Pounds et al., 1999)。在哥斯达黎加和美国西部山地两栖物种种群数量的锐减,主要原因是温度上升导致的降水模式改变和传染病蔓延(Pounds et al., 1999; Kiesecker et al., 2001)。此外,哥斯达黎加青蛙数量下降和蜥蜴(*Norops* spp.)数量的减少同时发生,它们的分布区具有相同的气候模式(Pounds et al., 1999)。虽然气候变化对大型哺乳动物种群数量并没有显著影响,但会对年幼个体的生存造成较大影响,特别是冬季的气候变化(Milner et al., 1999; Post and Stenseth, 1999)。例如,不断升温的冬季对挪威和英国的马鹿(*Cervus elaphus*) (Post et al., 1997)和索艾羊(*Ovis aries*) (Forchhammer et al., 2001)的繁育能力具有重要影响,从而影响其种群数量,以致影响两种动物栖息地中森林植被群落的演替变化。

1.2 高山林线形成机理及其对气候变化的响应

林线是植被类型迥然不同的山地带和高山带的分界线(Weaver and Clem-