

增强紫外线-B 辐射对凋落物分解的影响研究综述

张慧玲, 宋新章, 哀建国, 江洪, 余树全

(浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 紫外线-B (UV-B) 辐射增强将对陆地生态系统凋落物的分解和养分循环产生直接和间接的多重影响。直接影响表现在将增加对凋落物木质素的光降解作用从而促进凋落物的分解, 改变分解者包括土壤动物和微生物的种类组成、数量、活性和移殖, 从而抑制凋落物的分解。间接影响表现为改变植物生长期间叶、茎等器官化学成分如纤维素、类黄酮、多酚和丹宁等的含量, 并进而影响分解过程中分解者的种类和动态。UV-B 辐射对凋落物分解的作用最终将影响到生态系统的营养循环和碳储量。由于试验材料和试验方法不一致, 已有研究结果之间差异较大, 可比性较差。在今后的研究中, 应重点从凋落物的基质质量变化和分解者的组成及活性等方面加强 UV-B 辐射对凋落物分解影响机制的研究。参 65

关键词: 森林生态学; 紫外线-B 辐射; 凋落物分解; 碳循环; 营养循环; 全球变化; 综述

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)01-0134-09

A review of UV-B radiation and its influence on litter decomposition

ZHANG Hui-ling, SONG Xin-zhang, AI Jian-guo, JIANG Hong, YU Shu-quan

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Elevated solar ultraviolet-B (UV-B) radiation has been a hot issue in regards to global environmental change as UV-Bs could directly or indirectly affect litter decomposition and nutrient cycling in terrestrial ecosystems. As a consequence of accelerated photochemical breakdown of lignin, solar UV-B radiation could increase the litter decomposition rate; it could also decrease decomposition by directly altering species composition, quantity, activity, and colonization of decomposers (including animals and soil microbes) exposed to solar radiation. Indirect effects of UV-B radiation on litter chemical composition have included both reductions and increases in the concentrations of cellulose, flavonoids, and tannins during growth. This has subsequently affected community composition and competitive ability of decomposers thereby either decreasing or accelerating litter decomposition rates in soils. Through its influence on litter decomposition, UV-B radiation could further affect nutrient cycling and carbon storage of the ecosystem. Effects of UV-B radiation (both direct and indirect) on litter decomposition have been species-specific making previous studies difficult to compare due to differences in litter type, ecosystems, and experimental approaches simulating ozone depletion. Thus, further research on how UV-B radiation influences litter decomposition, which focuses mainly on changes in litter quality and composition as well as decomposer activity, is necessary. [Ch, 65 ref.]

Key words: forest ecology; solar ultraviolet-B (UV-B) radiation; litter decomposition; carbon cycling; nutrient cycling; global change; review

收稿日期: 2009-02-26; 修回日期: 2009-04-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30800152; 40671132); 浙江省自然科学基金资助项目(Y5090007)

作者简介: 张慧玲, 从事森林生态学等研究。E-mail: zhzhling@126.com。通信作者: 宋新章, 副教授, 博士, 从事森林生态学和全球变化研究。E-mail: xzsong@126.com

紫外线-B(UV-B, 290~320 nm)辐射增强是全球环境变化中十分引人注目的热点问题之一。大量研究已经证实, 不仅在地球的两极, 整个地球平流层的臭氧都在减少。若以 1980 年为基准, 1997~2000 年间南半球中纬度地区臭氧层每年减少 6%, 北半球中纬度地区冬春季臭氧层减少 4%, 夏秋季减少 2%, 全球年平均减少约 3%^[1]。臭氧层的削减导致了太阳紫外辐射, 尤其是 UV-B 显著增强。据估计, UV-B 辐射增强的趋势将会至少持续到 2050 年^[2]。过度的 UV-B 辐射可破坏植物细胞内的 DNA 和叶绿素, 削弱其光合能力, 影响植物一系列的分子生物学与生理生化过程^[3~4], 甚至改变植株器官的碳库分配平衡^[5~7]。UV-B 辐射变化对陆地生态系统的影响引起科学家们的广泛关注, 有关 UV-B 辐射增强生物效应方面的研究已成为全球变化研究中的一个重大科学问题, 成为继全球大气二氧化碳浓度升高对植物影响的研究之后的又一热点领域^[8~9]。目前, 有关 UV-B 辐射增强对植物影响的研究多从植株形态结构、细胞结构、光合与呼吸系统、细胞保护酶与抗氧化系统、内源激素与多胺代谢系统、紫外线接收蛋白、信号传导及其调控等方面展开, 还很少有研究来评估 UV-B 辐射对植物凋落物分解的影响^[10~12]。凋落物是植物在其生长发育过程中新陈代谢的产物, 其分解是陆地生态系统物质循环和能量转换的主要途径^[13~14], 在维持土壤肥力, 保证植物再生长养分的可利用性中起着重要作用, 同时对生态系统的碳预算也具有重要的科学意义^[15]。研究 UV-B 辐射变化对凋落物分解的影响, 对于阐述生态系统中凋落物的周转、生物地球化学循环和土壤营养动态是极其重要的, 也是当前生态系统对全球环境变化响应的研究中必不可少的一个重要组成部分。笔者在查阅国内外大量文献资料的基础上, 综述了 UV-B 辐射变化对凋落物分解影响研究的进展, 以期为国内开展该领域的研究提供参考。

1 UV-B 辐射对凋落物分解的直接影响

凋落物分解过程受到分解时照射的 UV-B 的直接影响和植物生长时照射的 UV-B 的间接影响。UV-B 辐射主要通过对凋落物基质质量和生物因素的影响而作用于凋落物分解过程。

UV-B 辐射对凋落物分解过程的直接影响主要有 2 种机制: 一种是非生物机制, 即 UV-B 辐射通过增加对凋落物木质素的光降解作用而促进分解^[16]。植物木质素是土壤中难分解有机质的主要组分, 是决定凋落物分解快慢的重要基质因素。UV-B 辐射对木质素的光降解作用可加快凋落物的分解速率。如增强 UV-B 辐射可以促进笃斯越橘 *Vaccinium uliginosum* 叶片^[17]和欧石南 *Calluna vulgaris* 灌丛中悬钩子 *Rubus chamaemorus* 叶片^[18]的光降解。Austin 等^[19]对半干旱生态系统凋落物分解的研究表明, 光降解对凋落物的分解起着主要的控制作用, UV-B 辐射的减弱导致凋落物分解降低了 33%。UV-B 辐射光解木质素及有机化合物总体上包括 3 个起始阶段: 辐射能的吸收、自由基形成、自由基与氧联合形成过氧化自由基。然后, 大量的光化学反应会改变被分解物的性质, 从而促进分解^[20]。用 CENTURY 模型检验 UV-B 辐射对木质素降解的直接影响发现, 木质素周转增加 25% 导致试验结束时余留的植物残体中木质素和粗纤维的数量分别比对照低 64% 和 32%^[21]。可见, UV-B 辐射通过加快植物残体中木质素的分解速率而促进了植物残体周转。

另一种是生物机制, 即通过改变生物分解者的群落组成和数量而直接降低了凋落物的分解速率^[22~23]。大型土壤动物在生态系统的营养循环与转化中起着重要作用。土壤动物种类、数量和生物量均与土壤中凋落物数量、含水率、pH 值、有机质含量和营养元素含量显著相关^[24~25]。如蚯蚓 *Pheretima* 可促进植物凋落物与土壤混合, 在植物凋落物转化为腐殖质的过程中, 也发挥着重要作用。UV-B 辐射可使麦田中大型土壤动物的种类和数量降低, 特别是蚯蚓数量显著下降^[26]。微生物作为生态系统中的分解者, 在生态系统结构及物质循环和能量流动中发挥着不可或缺的重要作用, 尤其在土壤矿质养分的循环、转化、利用以及叶片分解方面的作用十分突出。UV-B 辐射将导致春小麦 *Triticum aestivum* 根际土壤细菌、真菌和放线菌的数量下降并使得土壤微生物多样性增加^[27~28]。增强 UV-B 辐射还会直接影响到植物叶片分解真菌的生长, 使笃斯越橘叶片的真菌活动显著下降, 冻土毛霉 *Mucor hiemalis* 和 *Truncatella truncata* 的移植率明显降低^[29]。Pancotto 等^[23]发现, UV-B 辐射对真菌群落组成和移植的作用所导致的对凋落物分解的影响显得比光降解作用更重要。由于 UV-B 辐射对土壤的穿透能力通常不超过 5 mm, 其对土壤中分解者的影响途径之一可能是通过对地上植物生理代谢产物如类

黄酮、丹宁及其他根系分泌物的作用而实现的，但具体情形尚不清楚。

事实上，UV-B 辐射影响凋落物分解过程的这 2 种机制的作用效果可能是相反的，因为增强的 UV-B 辐射加大了光降解作用但却削弱了分解者的生物活性。而且，这 2 种机制作用的大小还受到凋落物品质的调节，低品质的凋落物限制了微生物的活性，使得分解过程主要由非生物因子来驱动^[23]。

2 UV-B 辐射对凋落物分解的间接影响

在植物生长过程中，UV-B 辐射能够引起植物各部分次生化学组成和形态特征的改变，包括增加叶片的 α 纤维素^[16]和类黄酮^[30]含量、减少可溶性碳水化合物而增加可溶性氮含量^[31]，改变叶片厚度和面积等^[17,32]，进而间接地影响到其凋落后的分解过程，使分解加快或减缓。生长期接受 UV-B 辐射的笃斯越橘叶片的可溶性糖、鞣酸、氨、丹宁含量增加，而纤维素以及纤维素与木质素之比降低，其中丹宁增加了 9%，纤维素减少了 8%^[17,29]，使其后的分解速率下降，这与粗纤维易被微生物分解而木质素和丹宁等很难被微生物分解有关。增强的 UV-B 辐射使沙丘草地拂子茅 *Calamagrostis epigejos* 叶片的木质素含量增加，分解速率下降^[16]。Newsham 等^[33]将在增强 UV-B 辐射环境下生长了 8 个月的英国栎 *Robur ornament* 的凋落叶放在自然状态下分解了 4 a，结果发现质量损失率增加了 17%。尽管都观测到生长在增强 UV-B 辐射下的植物的凋落物具有更高的木质素/氮比，但 Cybulski 等^[34]发现这类凋落物分解得更快，而 Pancotto 等^[10]则发现这类凋落物分解得更慢。增强 UV-B 辐射还使 *Populus kangdingensis* 叶片中吸收 UV-B 的化合物含量及 *Populus cathayana* 叶片中超氧化物歧化酶的活性显著增加^[35]。Zu 等^[36]发现生长在增强 UV-B 辐射环境下的 10 种小麦中有 5 种小麦的蛋白质含量显著增加，2 种小麦的糖类含量显著增加而另 2 种显著降低。对增强环境下生长的春小麦的分解试验表明，春小麦茎、根和穗的氮含量显著增加，叶片中镁、铁、锌的含量显著增加，在其后的分解过程中，叶和茎的分解速率加快，且与难分解的可溶性蛋白含量呈显著负相关，而与易分解的可溶性蛋白和粗纤维含量呈显著正相关^[26,31,37]。张瑞恒等^[38]也观测到增强 UV-B 辐射增加了反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 叶片和根茎中的木质素和纤维素的含量。UV-B 辐射还会影响到叶片的形态特征。如使落叶树种的叶片变薄而使常绿树种的叶片变厚^[17]，增加比叶质量和叶片长度，增加叶表皮和叶肉的厚度，改变叶表面气孔密度等^[39]，进而影响到其后的分解过程。

也有一些研究发现植物生长期接受的 UV-B 辐射对凋落物的化学组成和分解没有影响。如在 UV-B 辐射增强 30% 的环境下生长了 2 个生长季的苏格兰松 *Pinus sylvestris* 和 3 个生长季的挪威云杉 *Picea abies*，其针叶中的酚醛等次生化合物含量没有受到影响^[40]。对增强 UV-B 辐射环境下生长了 3 个生长季的 2 种沙丘草地植物 *Carex arenaria* 和拂子茅的凋落叶历时 2 a 的分解研究也表明，UV-B 辐射对 2 种植物凋落叶的化学组成及其分解均没有显著影响^[41]。增强 UV-B 辐射对欧洲越橘 *Vaccinium myrtillus* 和欧石南叶片的氮、磷、钾含量^[42]和欧石南灌丛中悬钩子^[18]叶片的分解均没有显著影响，对英国栎凋落叶化学成分的影响也可以忽略不计^[43]。上述研究结果之间的差异可能与试验材料、试验方法及试验时间的不同有关。

UV-B 辐射引起的植物各部分化学组成和形态特征的改变还将影响到其凋落后分解时分解者的群落组成和数量，进而影响其分解过程。其作用机制可能在于，增强 UV-B 辐射使植物体内类苯丙氨酸氨裂解酶和苯基苯乙烯酮合成酶活性增强，导致类黄酮、丹宁、木质素等次生代谢产物合成的量增加，这些次生代谢产物通过根系排出的数量可能增加，从而影响了植物与菌根和固氮细菌等根际微生物之间的共生关系，也可能对大型土壤动物的种类和数量动态产生重要影响^[16]。Newsham 等^[44]观察到英国栎凋落叶的分解速率同叶片上的真菌数量呈密切正相关，生长在增强 UV-B 辐射环境下的英国栎凋落叶上发生真菌移植的频率大大提高了，导致凋落叶分解的更快，并认为这可能是由于 UV-B 辐射降低了叶片细胞壁中碳水化合物的活性造成的^[3]。Johanson 等^[17]发现，生长期接受 UV-B 辐射的笃斯越橘叶片，冻土毛霉移植率降低 65%，使分解速率下降。李元等^[45]对生长在增强 UV-B 辐射环境下植物叶片上 5 种真菌的移植进行了研究，结果表明 5 种真菌的移植率均发生了显著变化，其中赭绿青霉 *Penicillium ochroclloren* 和黑曲霉 *Aspergillus niger* 的移植率随 UV-B 辐射而变化的趋势与叶、茎分解速

率是一致的。但也有学者观察到生长期接受 UV-B 辐射虽然降低了橡树 *Quercus palustris* 叶片的分解速率, 但对分解真菌的群落组成并无明显影响^[46]。这可能与试验真菌种类的敏感性有关。

可见, UV-B 辐射对植物凋落物分解的间接影响是通过改变凋落物的基质品质和物理特性, 影响分解者的种类组成和活性而间接完成的。但 UV-B 辐射能否引起植物凋落物化学成分的变化以及变化程度大小, 并进而如何影响凋落物的分解过程同凋落物的种类和分解者群落的组成有关, 不同的植物种类和分解者类群对 UV-B 辐射的敏感性和响应程度也不同, 其作用机制尚不清楚, 有待于进一步研究。

3 对营养循环和碳循环的影响

在生态系统中, UV-B 辐射影响分解过程的生态学意义在于它与营养周转、土壤库中营养储量和土壤肥力有密切的联系。UV-B 辐射通过对凋落物分解的直接作用和间接作用而影响到生态系统的营养循环、初级生产力、碳储量以及土壤与大气间的碳通量^[47-48]。Pancotto 等^[10]发现, 生长在增强 UV-B 辐射环境下的植物的凋落物氮的释放减少, 但磷的释放加快了。增强 UV-B 辐射也显著加快了干旱草原凋落物氮的释放^[19]。李元等^[45]观测到增强 UV-B 辐射环境下, 麦田生态系统的营养周转加快, 并认为这可能是由小麦植株化学成分和真菌移植率改变及分解率增加导致的。Moorhead 等^[21]对笃斯越橘的研究表明, UV-B 辐射诱导的叶化学组分的变化以及对微生物的直接影响的联合, 将导致分解速率和营养周转减慢, 从而影响土壤肥力。这对营养有限的生态系统的生产力的限制比 UV-B 辐射的直接影响更重要。在 UV-B 辐射下, 大型土壤动物种群和根际微生物数量的降低, 必然会影响到它们在物质分解和营养形态转化方面的功能, 影响到植物营养有效性, 特别是氮和磷的有效性, 导致生态系统初级生产的改变, 并可能间接影响到土壤有效营养含量及储量^[16,49]。如 UV-B 辐射可以降低稻田中蓝藻和根瘤菌的固氮作用和热带豆科作物的固氮作用, 抑制烟草 *Nicotiana tabacum*, 黑麦 *Secale cereale* 和大豆 *Glycine max* 对氮的吸收, 增加麦田土壤有效氮、磷、钾、铁和交换性镁的含量^[50]。UV-B 辐射还能破坏麦田系统中植物—土壤系统的输入/输出平衡, 导致植物体内氮、磷、钾、铁、锰、锌等营养元素的积累量下降^[37,51-53]。Ernst 等^[54]还发现 UV-B 辐射阻碍草原灌木 *Acacia tortilis* 中铁、镁和锰从子叶向幼苗移动以及锰、磷从老叶向幼叶运转。

地表凋落物层对 UV-B 辐射的敏感性会影响它们的碳含量, 并通过改变隔热作用而提高土壤温度, 导致微生物活动量增加并排放更多的二氧化碳到大气中。在增强 UV-B 辐射下生长的石南灌丛中笃斯越橘的叶片与取自实验地的土壤相混使分解速率下降, 分解时二氧化碳释放量和质量损失分别减少 35% 和 56%^[17]。由于高纬度地区的太阳 UV-B 辐射增加较多, 这种压力会导致森林增加瞬时碳排放量^[55]。截至目前, 关于 UV-B 增强对凋落物分解过程中养分释放和碳循环的影响研究的很少, 这方面的认识积累的不多。在今后的研究中应重点加强这方面的研究, 以更好地认识 UV-B 辐射变化对陆地生态系统养分循环的影响。

4 问题与展望

UV-B 辐射主要通过对凋落物的直接光降解作用, 对分解者种类组成、数量和活性的影响, 对植物生长期叶、茎等器官化学成分和形态的改变等途径综合作用于凋落物的分解过程, 进而影响到生态系统的营养循环和碳平衡。

在自然生态系统中, 植物种类的多样性、植物与动物、植物与微生物以及生物与环境之间相互关系的复杂性, 决定了植物凋落物分解对 UV-B 辐射响应的复杂性, 目前, 尚观测不到一致的响应模式。从已有文献来看, 已有研究结果之间的可比性较差, 甚至常常相互矛盾。这些研究结果之间的差异可能与试验材料、试验方法、试验时的环境状况、模拟 UV-B 辐射的强度及持续时间不同等方面有关。

植物凋落物的分解是一个长期的物理与化学综合作用的过程, 其分解规律在短期内难以表现出来。已有的关于 UV-B 辐射对凋落物分解影响的研究时间大多是短时间尺度的, 一般在 2 a 之内, 有

的甚至只有几十天，其结果的准确可靠程度尚存在不确定性，需要更长时间的试验来检验。为了深入认识自然生态系统中UV-B辐射增强对凋落物化学组成以及之后分解的影响，在设计试验时应选用长期接受真实UV-B辐射剂量处理的材料，在自然的野外状况下进行长期分解试验。然而，从目前出版的文献来看，还很少有研究将上述因素综合考虑进去^[41]。

土壤动物、微生物和土壤酶等分解者对凋落物的分解快慢有着重要作用。已有的研究多集中在UV-B辐射对凋落物的光降解和化学成分的改变方面，对于分解者特别是土壤酶的影响研究的很少。由于UV-B辐射穿透土壤的能力较弱，其对土壤中凋落物分解者的影响程度及作用机制仍不清楚。加强这方面的研究将有助于我们从内在机制上阐明UV-B辐射对植物凋落物分解的影响，同时也是生态系统对UV-B辐射响应的研究中不可缺少的一部分。

增强UV-B辐射的生物学效应也开始引起中国学者的重视。西北大学的岳明等^[31]、云南农业大学的李元等^[51-53]、南京信息工程大学的郑有飞等^[56]较早开始了这方面的研究。受多种因素制约，上述研究主要集中在UV-B辐射对农作物如小麦^[51-53]、水稻*Oryza sativa*^[57-58]、玉米*Zea mays*^[59]、豆类^[60]、蔬菜^[61]等的形态结构、生理生化、代谢调控以及基因表达等方面的影响上，虽然也涉及到对部分农作物残体的分解和土壤动物、微生物组成及活性的影响^[28,45]，但总体来看还远远不够，UV-B辐射对凋落物分解的影响尚未引起足够的关注。而另一方面，中国虽然已对不同森林类型凋落物的产量动态及其化学组成、凋落物的分解过程及养分释放等进行了较为全面的研究，基本摸清了中国主要森林类型及主要树种的凋落物产量及其分解^[62]，也进行了一些全球环境变化如氮沉降对森林凋落物分解影响方面的试验^[63-65]，但UV-B辐射对森林凋落物分解影响的研究工作还没有开展。在未来UV-B辐射增强的全球变化背景下，中国森林生态系统的凋落物分解及营养循环将产生怎样的响应，这种响应进而会对植被的生产力及其碳储量带来怎样的影响，对此我们还知之甚少。因此，今后应加强UV-B辐射变化对中国植物凋落物的化学性质及其分解、养分循环等方面的影响和作用机制的研究，评估UV-B辐射增强影响生态系统的后果，探讨UV-B辐射增强背景下凋落物分解模式的改变对中国生态系统的发育、恢复和演替以及碳平衡和养分循环的深远影响，为全面、深刻理解并准确预估中国生态系统对UV-B辐射变化的响应提供基础支撑。

参考文献：

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP). *Environmental Effects of Ozone Depletion and its Interactions With Climate Change: 2002 Assessment* [EB/OL]. [2009-02-20] <http://www.gerio.org/UNEP2002/index.html>.
- [2] International Arctic Science Committee(IASC). *Arctic Climate Impact Assessment* [M]. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [3] MCLEOD A R, NEWSHAM K K, FRY S C. Elevated UV-B radiation modifies the extractability of carbohydrates from leaf litter of *Quercus robur* [J]. *Soil Biol Biochem*, 2007, **39**: 116 – 126.
- [4] 蔡锡安, 彭少麟, 夏汉平. 不同演替阶段树种的光合和生长对增强UV-B辐射的响应[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, **46** (2): 72 – 76.
- CAI Xian, PENG Shaolin, XIA Hanping. Growth and photosynthetic responses of different successional tree species in low subtropics to enhanced UV-B radiation in the field [J]. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni*, 2007, **46** (2): 72 – 76.
- [5] CALDWELL M M, BJORN L O, BORNMAN J F, et al. Effects of increased solar UV radiation on terrestrial ecosystem [J]. *J Photochem Photobiol B*, 1998, **46**: 40 – 52.
- [6] FENG Huyuan, AN Lizhe, CHEN Tuo, et al. The effect of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, photosynthesis and stable carbon isotope composite on ($\delta^{13}\text{C}$) of two soybean cultivars (*Glycine max*) under field conditions [J]. *Environ Exp Bot*, 2003, **49**: 1–8.
- [7] 陈章和, 朱素琴, 李韶山, 等. UV-B辐射对南亚热带森林木本植物幼苗生长的影响[J]. 云南植物研究, 2000, **22** (4): 467 – 474.
- CHEN Zhanghe, ZHU Suqin, LI Shaoshan, et al. Effects of UV-B radiation on seedling growth of several woody species in the southern subtropical forest [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2000, **22** (4): 467 – 474.
- [8] CALDWELL M M, TERAMURA A H, TEVINI M. Effects of increased solar UV radiation on terrestrial plants [J]. *Ambio*,

- 1995, **24**: 166.
- [9] 刘爱琴, 马祥庆. UV-B 辐射增强对木本植物的影响研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2004, **12** (4): 36 – 39.
LIU Aiqin, MA Xiangqing. The effect of enhanced ultraviolet-B radiation on xylophyte [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2004, **12** (4): 36 – 39.
- [10] PANCOTTO V A, SALA O E, ROBSON T M, *et al*. Direct and indirect effects of solar ultraviolet-B radiation on long-term decomposition [J]. *Global Change Biol*, 2005, **11**: 1982 – 1989.
- [11] 王海云, 李元, 祖艳群. UV-B 辐射对植物残体分解的影响及其机理[J]. 农业环境科学学报, 2006, **25** (增刊): 443 – 446.
WANG Haiyun, LI Yuan, ZU Yanqun. Effects of UV-B radiation on litter decomposition and mechanism [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2006, **25** (supp): 443 – 446.
- [12] 宋新章, 江洪, 张慧玲, 等. 全球环境变化对森林凋落物分解的影响[J]. 生态学报, 2008, **28** (9): 4414 – 4423.
SONG Xinzheng, JIANG Hong, ZHANG Huiling, *et al*. A review on the effects of global environment change on litter decomposition [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (9): 4414 – 4423.
- [13] BERGB, MCCLAUHERTY C. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
- [14] LISKI J, NISSINEN A, ERHARD M, *et al*. Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest [J]. *Global Change Biol*, 2003, **9**: 575 – 584.
- [15] AERTS R. The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes [J]. *J Ecol*, 2006, **94**: 713 – 724.
- [16] ROZEMA J, TOSSERAMS M, NELISSEN H J M, *et al*. Stratospheric ozone reduction and ecosystem processes: enhanced UV-B radiation affects chemical quality and decomposition of leaves of the dune grassland species *Calamagrostis epigeios* [J]. *Plant Ecol*, 1997, **128**: 284 – 294.
- [17] JOHANSON U, GEHRKE F K C, BJORN L O, *et al*. The effects of enhanced UV-B radiation on a subarctic heath ecosystem [J]. *Ambio*, 1995, **24** (2): 106 – 111.
- [18] MOODY S A, COOP D J S, PAUL N D. Effects of elevated UV-B on heathland communities [J]. *J Exp Bot*, 1996, **24** (supp 1): 19.
- [19] AUSTIN AT, VIVANCO L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation [J]. *Nature*, 2006, **442**: 555 – 558.
- [20] 李元, 岳明. 紫外辐射生态学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [21] MOORHEAD D L, CALLAGHAN T. Effects of increasing ultraviolet-B radiation on decomposition and soil organic matter dynamics: a synthesis and modeling study [J]. *Biol Fertil Soil*, 1994, **18**: 19 – 26.
- [22] MOODY S A, PAUL N D, BJORN L O, *et al*. The direct effects of UV-B radiation on *Betula pubescens* litter decomposing at four European field sites [J]. *Plant Ecol*, 2001, **154**: 29 – 36.
- [23] PANCOTTO V A, SALA O E, CABELO M, *et al*. Solar UV-B decreases decomposition in herbaceous plant litter in Tierra del Fuego, Argentina: potential role of an altered decomposer community [J]. *Global Change Biol*, 2003, **9**: 1465 – 1474.
- [24] 张雪萍, 崔国发, 陈鹏. 人工落叶松林土壤动物生物量的研究[J]. 应用生态学报, 1996, **7** (2): 150 – 154.
ZHANG Xueping, CUI Guofa, CHEN Peng. Biomass of soil animals in larch plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1996, **7** (2): 150 – 154.
- [25] 殷秀琴, 张桂荣. 森林凋落物与大型土壤动物相关关系的研究[J]. 应用生态学报, 1993, **4** (2): 167 – 173.
YIN Xiuqin, ZHANG Guiying. Correlation between forest litter and soil macrofauna [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1993, **4** (2): 167 – 173.
- [26] 李元, 王勋陵. 增强的 UV-B 辐射对麦田生态系统杂草、大型土壤动物和麦蚜种群数量动态的影响[J]. 生态学报, 2001, **21** (1): 131 – 135.
LI Yuan, WANG Xunling. Effects of enhanced UV-B radiation on population quantity dynamics of weeds, soil macrofauna and wheat aphids in the wheat field ecosystem [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, **21** (1): 131 – 135.
- [27] 李元, 杨济龙, 王勋陵, 等. 紫外辐射增加对春小麦根际土壤微生物种群数量的影响[J]. 中国环境科学, 1999, **19** (2): 157 – 160.
LI Yuan, YANG Jilong, WANG Xunling, *et al*. The effect of UV-B radiation on the population quantity of spring wheat

- rhizosphere microorganisms [J]. *China Environ Sci*, 1999, **19** (2): 157 – 160.
- [28] 祖艳群, 魏兰芳, 杨济龙, 等. 紫外辐射增加对40个割手密无性系土壤微生物种群数量动态和多样性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2005, **24** (1): 6 – 11.
ZU Yanqun; WEI Lanfang; YANG Jilong, et al. Effects of UV-B radiation on population dynamic and diversity of 40 wild sugarcane (*Saccharum spontaneum* L.) clones rhizosphere microorganisms [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2005, **24** (1): 6 – 11.
- [29] GEHRKE C, JOHANSON U, CALLAGHAN T V, et al. The impact of enhanced ultraviolet-B radiation on litter quality and decomposition processes in *Vaccinium* leaves from the Subarctic [J]. *Oikos*, 1995, **72**: 213 – 222.
- [30] WARREN J M, BASSMAN J H, MATTINSON D S, et al. Alteration of foliar flavonoid chemistry induced by enhanced UV-B radiation in field-grown *Pinus ponderosa*, *Quercus rubra* and *Pseudotsuga menziesii* [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2002, **66**: 125 – 133.
- [31] MING Yue, LI Yuan, WANG Xunling. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on plant nutrients and decomposition of spring wheat under field conditions [J]. *Environ Exp Bot*, 1998, **40**: 187 – 196.
- [32] GAO Wei, ZHENG Youfei, SLUSSER J R, et al. Impact of enhanced ultraviolet-B irradiance on cotton growth, development, yield, and qualities under field conditions [J]. *Agric For Meteorol*, 2003, **120**: 241 – 248.
- [33] NEWSHAM K K, ANDERSON J M, SPARKS T H, et al. UV-B effect on *Quercus robur* leaf litter decomposition persists over four years [J]. *Global Change Biol*, 2001, **7**: 479 – 483.
- [34] CYBULSKI III W J, PETERJOHN W T, SULLIVAN J H. The influence of elevated ultraviolet-B radiation (UV-B) on tissue quality and decomposition of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) needles [J]. *Environ Exp Bot*, 2000, **44**: 231 – 241.
- [35] REN Jian, DAI Weiran, XUAN Zuying, et al. The effect of drought and enhanced UV-B radiation on the growth and physiological traits of two contrasting poplar species [J]. *For Ecol Manage*, 2007, **239**: 112 – 119.
- [36] ZU Yanqun, LI Yuan, CHEN Jianjun, et al. Intraspecific responses in grain quality of 10 wheat cultivars to enhanced UV-B radiation under field conditions [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2004, **74**: 95 – 100.
- [37] 李元, 王勋陵. UV-B辐射对麦田生态系统氮磷累积和循环的影响[J]. *农业环境保护*, 2000, **19** (3): 129 – 132.
LI Yuan, WANG Xunling. Effects of enhanced UV-B radiation on accumulation and cycling of nitrogen and phosphorus in plant tissues under wheat field ecosystem [J]. *Agro-Environ Prot*, 2000, **19** (3): 129 – 132.
- [38] 张瑞恒, 刘晓, 田向军, 等. UV-B辐射增强对反枝苋形态、生理及化学成分的影响[J]. *生态学杂志*, 2008, **27** (11): 1869 – 1875.
ZHANG Ruiheng, LIU Xiao, TIAN Xiangjun, et al. Effects of enhanced UV-B radiation on the morphology, physiology, and chemical composition of *Amaranthus retroflexus* [J]. *Chin J Ecol*, 2008, **27** (11): 1869 – 1875.
- [39] KOSTINA E, WULFF A, TIITTO R J. Growth, structure, stomatal response and secondary metabolites of birch seedlings (*Betula pendula*) under elevated UV-B radiation in the field [J]. *Trees*, 2001, **15**: 483 – 491.
- [40] TURTOLA S, SALLAS L, HOLOPAINEN J K, et al. Long-term exposure to enhanced UV-B radiation has no significant effects on growth or secondary compounds of outdoor-grown Scots pine and Norway spruce seedlings [J]. *Environ Poll*, 2006, **144**: 166 – 171.
- [41] HOORENS B, AERTS R, STROETENGA M. Elevated UV-B radiation has no effect on litter quality and decomposition of two dune grassland species: evidence from a long-term field experiment [J]. *Global Change Biol*, 2004, **10**: 200 – 208.
- [42] BJORN L O, CALLAGHAN T V, JOHANSON I, et al. The effects of UV-B radiation on European heathland species [J]. *Plant Ecol*, 1997, **128**: 252 – 264.
- [43] NEWSHAM K K, SPLATT P, COWARD P A, et al. Negligible influence of elevated UV-B radiation on leaf litter quality of *Quercus robur* [J]. *Soil Biol Biochem*, 2001, **33**: 659 – 665.
- [44] NEWSHAM K K, GREENSLADE P D, KENNEDY V H, et al. Elevated UV-B radiation incident on *Quercus robur* leaf canopies enhances decomposition of resulting leaf litter in soil [J]. *Global Change Biol*, 1999, **5**: 403 – 409.
- [45] 李元, 王勋陵, 祖艳群. 增强的UV-B辐射对春小麦植株化学成分、真菌定殖和分解的影响[J]. *应用生态学报*, 2001, **12** (2): 223 – 225.
LI Yuan, WANG Xunling, ZU Yanqun. Effect of enhanced UV-B radiation on chemical composition, fungal colonization and decomposition of spring wheat plant [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (2): 223 – 225.
- [46] NEWSHAM K K, MCLEOD A R, GREENSLADE P D, et al. Microbial response to UV-B: effects on phylloplane and decomposer microorganisms of oak [J]. *J Exp Bot*, 1996, **24**: 19.

- [47] ROBSON T M, PANCOTTO V A, SCOPEL A L, et al. Solar UV-B influences microfaunal community composition in a Tierra del Fuego peatland [J]. *Soil Biol Biochem*, 2005, **37**: 2205 – 2215.
- [48] NIEMI R, MARTIKAINEN P, SILVOLA J, et al. Elevated UV-B radiation alters fluxes of methane and carbon dioxide in peatlands microcosms [J]. *Global Change Biol*, 2002, **8**: 361 – 371.
- [49] KRYWULT M, SMYKLA J, KINNUNEN H, et al. Influence of solar UV radiation on the nitrogen metabolism in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) [J]. *Environ Poll*, 2008, **156**: 1105 – 1111.
- [50] 杜彩艳, 祖艳群, 李元. UV-B 辐射增强对生态系统矿质营养循环的影响 [J]. 云南农业大学学报, 2004, **19** (6): 731 – 736.
DU Caiyan, ZU Yanqun, LI Yuan. Effect of enhanced UV-B radiation on the cycling of mineral nutrient of ecosystem [J]. *J Yunnan Agric Univ*, 2004, **19** (6); 731 – 736.
- [51] 李元, 王勋陵, 胡之德. 田间增强 UV-B 辐射对麦田生态系统铁营养、累积和循环的影响 [J]. 环境科学, 2000, **21** (2): 36 – 39.
LI Yuan, WANG Xunling, HU Zhide. Effects of enhanced UV-B radiation on nutrients and accumulation of Fe of wheat field ecosystem [J]. *Chin J Environ Sci*, 2000, **21** (2): 36 – 39.
- [52] 李元, 王勋陵, 胡之德. 增强的 UV-B 辐射对麦田生态系统锰和锌累积和循环的影响 [J]. 生态学杂志, 2001, **20** (1): 26 – 29.
LI Yuan, WANG Xunling, HU Zhide. Effects of enhanced UV-B radiation on accumulation and cycling of Mg and Zn of wheat field ecosystem [J]. *Chin J Ecol*, 2001, **20** (1): 26 – 29.
- [53] 李元, 王勋陵. UV-B 辐射对麦田生态系统钾累积和循环的影响 [J]. 西北植物学报, 2001, **21** (2): 313 – 317.
LI Yuan, WANG Xunling. Effects of enhanced UV-B radiation on nutrients and accumulation of K of wheat field ecosystem [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2001, **21** (2): 313 – 317.
- [54] ERNST W H O, JOS W M, VANDE S, et al. Reaction of savanna plants from bostwana on UV-B radiation [J]. *Plant Ecol*, 1997, **128**: 162 – 170.
- [55] SMITH T, SHUGART H H. The transient response of terrestrial carbon storage to a perturbed climate [J]. *Nature*, 1993, **361**: 523 – 526.
- [56] 郑有飞, 杨志敏, 颜景义, 等. 谷物对增强紫外辐射的响应及其评价 [J]. 应用生态学报, 1996, **7** (1): 107 – 109.
ZHENG Youfei, YANG Zhimin, YAN Jingyi, et al. Biological response of crops on enhanced solar ultraviolet radiation and its estimation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1996, **7** (1): 107 – 109.
- [57] 黄少白, 戴秋杰, 刘晓忠, 等. 紫外光 B 辐射增强对水稻叶片内 IAA 和 ABA 含量的影响 [J]. 植物学通报, 1998, **15** (增刊 1): 87 – 90.
HUANG Shaobai, DAI Qiuji, LIU Xiaozhong, et al. Influence of supplemental UV-B on IAA and ABA content in the leaves of rice [J]. *Chin Bull Bot*, 1998, **15** (supp 1): 87 – 90.
- [58] 董铭, 李海涛, 廖迎春, 等. 大田条件下模拟 UV-B 辐射滤减对水稻生长及内源激素含量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2006, **14** (3): 122 – 125.
DONG Ming, LI Haitao, LIAO Yingchun, et al. Influences of reduced UV-B radiation on growth and endogenesis hormone contents of rice (*Oryza sativa* L.) under field conditions [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2006, **14** (3): 122 – 125.
- [59] 吴荣军, 郑有飞, 王传海, 等. 紫外辐射增强对玉米地上部分与根系生长的影响比较 [J]. 生态环境, 2007, **16** (2): 323 – 326.
WU Rongjun, ZHENG Youfei, WANG Chuanhai, et al. Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of aerial parts and root of maize [J]. *Ecol Environ*, 2007, **16** (2): 323 – 326.
- [60] 侯扶江, 贵贵英, 颜景义. 增强紫外辐射对田间大豆生长和光合作用的影响 [J]. 植物生态学报, 1998, **22** (3): 256 – 261.
HOU Fujiang, BEN Guiying; YAN Jingyi. Effects of supplemental UV-B on the growth and photosynthesis of soybean growing in the field [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1998, **22** (3): 256 – 261.
- [61] 安黎哲, 冯虎元, 王勋陵. 增强的紫外线-B 辐射对几种作物和品种生长的影响 [J]. 生态学报, 2001, **21** (2): 249 – 253.
AN Lizhe, FENG Huyuan, WANG Xunling. Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of some crops [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, **21** (2): 249 – 253.
- [62] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应 [J]. 生态学报, 2002, **22** (9): 1534 – 1544.

- PENG Shaolin, LIU Qiang. The dynamics of forest litter and its responses to global warming [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22** (9): 1534 – 1544.
- [63] 莫江明, 薛璟花, 方运霆. 鼎湖山主要森林植物凋落物分解及其对氮沉降的响应 [J]. 生态学报, 2004, **24** (7): 1413 – 1420.
- MO Jiangming, XUE Jinghua, FANG Yunting. Litter decomposition and its responses to simulated N deposition for the major plants of Dinghushan forests in subtropical China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (7): 1413 – 1420.
- [64] 徐国良, 莫江明, 周国逸, 等. 氮沉降下鼎湖山森林凋落物分解及与土壤动物的关系 [J]. 生态环境, 2005, **14** (6): 901 – 907.
- XU Guoliang, MO Jiangming, ZHOU Guoyi, et al. Litter decomposition under N deposition in Dinghushan forests and its relationship with soil fauna [J]. *Ecol Environ*, 2005, **14** (6): 901 – 907.
- [65] 樊后保, 刘文飞, 徐雷, 等. 氮沉降下杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林凋落叶分解过程中碳氮元素动态变化 [J]. 生态学报, 2008, **28** (6): 2546 – 2553.
- FAN Houbao, LIU Wenfei, XU Lei, et al. Carbon and nitrogen dynamics of decomposing foliar litter in a Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation exposed to simulated nitrogen deposition [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (6): 2546 – 2553.



浙江林学院正式启动中长期改革与发展规划工作

2009年11月4日，学校中长期改革与发展规划工作领导小组召开首次会议，正式启动中长期改革与发展规划制定工作。

领导小组组长周国模、汤勇在会上讲话，强调了学校中长期改革与发展规划工作的重要性，指出中长期改革与发展规划是学校自主发展的行动纲领和发展成功的保障措施；编制发展规划，既是社会经济和高等教育发展的外部环境要求，也是学校发展到一个新阶段的内在需要。希望领导小组全体成员和牵涉到的所有职能部门都能高度重视，深入思考，并充分调动教职工的积极性，抓紧时间，密切配合，全力以赴做好这项工作。

校领导还就下一步如何开展规划工作提出了具体的指导意见。周国模校长提出，在制定规划过程中，理论学习要优先。通过研究高等教育发展规律，准确把握我国高等教育所处的阶段；深入了解当前国际国内形势，特别是长三角地区的经济社会发展情况，分析社会需求的变化。要广泛开展校内外调研，可以请进来，走出去，也可以通过网络等方式了解国内外高校的情况。要在校内组织多层次、多类别的座谈会，充分征求师生的意见和建议。要积极拓展思路，在农林大学框架下思考学校的中长期发展规划。

主持学校党委工作副书记汤勇指出，制定规划应注意内外结合，既要“站在浙林看浙林”，又能“跳出浙林看浙林”。一方面要分析学校当前面临哪些机遇和挑战，存在的关键问题是什么；另一方面要分析国际、国内的大背景，从经济转型升级、新农村建设等多个角度来思考学校下一步如何发展。要了解省教育厅、农业厅、林业厅、发改委等部门的工作规划，特别是对未来产业发展的想法和打算，在制定学校规划时与之相结合，主动适应社会需求。

这次制定的学校中长期改革与发展规划将包括一个总规划和4个子规划(学科建设规划、专业建设规划、人才队伍建设规划和校园建设规划)。