

植物外来种对土壤理化特性的影响

向言词^{1,2}, 彭少麟², 饶兴权²

(1. 湖南科技大学生命科学系, 湖南湘潭 411201; 2. 中国科学院华南植物研究所, 广东广州 510650)

摘要: 植物外来种对土壤特性可产生深刻的影响。植物外来种可影响土壤的温度、湿度、土壤侵蚀等土壤物理特性; 同样会影响土壤的含氮量、有机质、金属元素等化学特性。植物外来种对土壤特性的影响是十分复杂的, 在不同的环境里同一植物外来种可产生不同的影响。总的来说, 植物外来种对土壤特性的影响有正面、中性和负面 3 种效应。

关键词: 植物外来种; 入侵; 影响; 土壤特性

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)03-0253-06

Effects of exotic plants on soil characteristics

XIANG Yan-ci^{1,2}, PENG Shao-lin², RAO Xing-quan²

(1. *Biology Department of Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;*

2. *South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China*)

Abstract: This paper shows the effects of exotic plants on the properties of soil. These effects include: (1) Effects on soil physical properties such as soil humidity and temperature, soil erosion etc; (2) Effects on soil chemical properties such as soil nitrogen, soil organic matter, and soil metallic elements etc. The effects of exotic plants on soil properties are complex. The effects of one same species are different at different environment. Generally, the effects of exotic plants on soil properties may be positive, negative, or neutral.

Key words: exotic plants; invasion; effects; physical and chemical properties of soil

外来种分布普遍, 影响广泛, 其入侵已成为一个引人注目的生态学现象。目前国际上许多专家学者认为外来种的入侵已成全球变化现象之一 (Baskin, 1999)。植物外来种侵入一个生态系统后, 如果该种植物能成功地定居并扩展, 那么它就会影响生态系统, 尤其对土壤的理化特性产生深远的影响。本文主要论述植物外来种对土壤理化特性的影响。

1 外来种和生物入侵的概念

外来种则是由于人类的影响, 分布范围超出了

它们的历史自然区域的物种。本地种就是那些分布在没有受到人类活动直接或间接影响的地域的物种。Webb 和 Presten 提出了 9 条确定外来种的标准 (Schwartz, 1997)。有些物种是难以确定为本地种或外来种的, 那么就把它统称为隐秘种 (Carlton, 1996), 隐秘种是普遍存在的。

生物入侵的概念是: 物种向近代进化史上不曾分布的区域所进行的永久性的扩展, 物种在新的环境里可以自由繁衍。生物入侵有一个过程, 该过程可分为 4 个阶段: 引进、入侵、定居和扩展。

收稿日期: 2002-01-06 修订日期: 2002-08-12

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (39899370); 广东省自然科学基金项目及团队项目 (970656, 003031); 中国科学院重大项目 (KZ951-B1-110); 中国科学院华南植物研究所所长青年基金资助。

作者简介: 向言词 (1969-), 男, 湖南永顺县人, 博士, 生态学专业。

2 植物外来种对土壤物理特性的影响

2.1 对土壤水分的影响

植物外来种入侵一个群落同本地的优势种竞争而取代本地种,那么该植物外来种对水分的影响同其特性息息相关。同本地种相比,当外来种植物的叶面积大或者其蒸腾作用强,那么它消耗水的量大,土壤就会由于水分过度蒸发而变干燥,如怪柳(*Tamarix pendants*)可使湿地干涸(Walker 和 Smith, 1997)。这些植物外来种可以通过造成大量土壤水的消耗而排挤其它物种,从而成为群落的优势种。而有的可以通过减少林冠层的蒸发速率,使土壤潮湿,甚至形成沼泽,如须芒草属类植物(*Andropogon*) (Walker 和 Smith, 1997)。植物外来种的叶大小和密度不同时,群落的冠层结构会变化;如扶芳藤(*Euonymus fortunei*)可形成厚密的植被层,影响本地种的生存,同时会影响到生态系统的渗透进程。植物外来种产生疏水性的凋落物也可影响水分平衡,一个显著例子是侵入草地和北美长满蒿属植物(*Artemisia*)草原的刺柏属类植物(*Juniperus*),当该种外来植物密度大时,其林冠可以截留大量的雨水和雪,使大量的水分蒸发和升华掉,使土壤水分大量减少(Walker 和 Smith, 1997)。此外,植物外来种如果增加干扰强度,会造成水分的大量丧失。这方面比较显著的是外来草本类植物,它们可形成大量易燃的凋落物而增加火灾的频率,加大干扰。植物外来种可以通过改变群落的物候进程,来改变土壤的水分平衡(Walker 和 Smith, 1997)。植物外来种的许多特性可能与本地种有差异,如其叶的形成与凋落、最大生长速率不同于本地种,这些特性影响到植物外来种的生存竞争,当这些种在群落里占优势时,就会影响到群落的水分状况。如早雀麦(*Bromus tectorum*)的根能达到本地种难以达到的深度,可以利用深处的水源,故其可以在寒冷干燥的春季早于本地种萌发。植物外来种如能利用本地种难以利用的水源时,就能影响水分的平衡,象深根植物侵入禾草类湿地,它们利用以前未曾利用的水源时,就增加系统的生物量和叶面积,使得系统的蒸腾速率加大,就造成被入侵生态系统的水分大量丧失(Walker 和 Smith, 1997)。

上面所谈的是植物外来种对正常生态系统水分的影响。实际上植物外来种如果侵入植被稀少的退

化生态系统时,退化生态系统的植被就得到恢复,土壤理化性状得到改善,土壤里的水分含量增加。如在广东电白县小良极度退化的生态系统里,通过引种桉树、相思类等耐旱和耐贫瘠特性的植物,改造这里的退化生态系统,使其土壤的含水量均大于光板地,但是由于桉树本身蒸腾作用大,其林地的土壤保水量不如混交林(余作岳等, 1995)。通过引进这些先锋树种来改善土壤,给后继的生物提供适宜的环境,从而推动整个退化生态系统的恢复。

2.2 对土壤侵蚀的影响

植物外来种对土壤侵蚀的影响有减弱和加强两方面效应。部分植物外来种有减少侵蚀的一面。如大米草(*Spartina anglica*)可使潮汐的沉积物沉积固定,减少海岸边崖的侵蚀(王维中等, 1992; 彭少麟等, 1999)。有些植物外来种生长快,林冠层可阻挡雨水,根分布广或地下茎生长密聚,有利于减少侵蚀。而易遭受植物外来种入侵的地方多是受干扰而且土壤侵蚀较严重的地方,通过引种能快速生长且能形成大量根和叶的植物外来种,就可减少土壤的侵蚀。这种情况在退化生态系统恢复中尤为重要,例如小良站的研究表明,引种桉树后群落的侵蚀减轻,为 $10.79 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$,而同一地方的光板地则为 $52.3 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ (余作岳等, 1996)。但是,有些植物外来种却能增加土壤的侵蚀,这种现象发生于以下情况:一年生的植物入侵取代了多年生的植物;分散型生长的外来树种取代密聚型的本地矮生种;外来植物的根分布浅(王震洪等, 1998);植物外来种产生的他感物质较多,对多数本地种有抑制作用,就减少群落内的物种数和地表的覆盖物(王震洪等, 1998)。当然如上述的须芒草属类植物把林地变成沼泽地,也会加剧土壤的侵蚀。外来的草本类可大量增加易燃的凋落物(D'Antonio, 1992),可造成野火的频率和强度加大,使得群落的抗洪水能力减弱,土壤的侵蚀加剧。如果外来树种的抗风雪暴雨的能力弱,当自然干扰加大时,由这些树种构成的森林就会出现大面积的倒伏,从而加重土壤的侵蚀。

2.3 对土壤温度的影响

植物外来种对土壤温度的影响有几种情况。第一,植物外来种对土壤的温度没有影响。植物外来种入侵群落后,没有对本地种产生影响或其功能与取代的本地种的功能相似时,那么植物外来种不会影响群落的结构,群落内的环境不会改变,土壤的温度就不受影响。第二,植物外来种使土壤的温度增

加。植物外来种侵入群落后,通过化感、过度利用土壤养分、水分等方式同本地种竞争而成为优势种时,可抑制其它物种生长,减少群落的生物多样性,造成林地的苗木数目减少,同时可能使林冠的郁闭度减少而透光率增加,造成土壤温度升高。但是这种影响同入侵种的特性有关,如阔叶树林的透光率就比针叶树林的要低。余作岳等在鹤山研究发现相思等构成的豆科混交林的透光率是 28.8%,低于湿地松等构成的针叶混交林的 42.3%,同样,由荷木所形成的乡土林的透光率是 32.6%(余作岳等,1995;任海等,1997)。第三,植物外来种可降低土壤的温度。植物外来种侵入物种稀少的退化生态系统时,一般都会增加该生态系统的覆盖率,或地表凋落物积累多,减少直达地表的光线,在夏季可降低土壤的温度,冬季有助于保持土壤的温度,从而有利于其它物种的生存(余作岳等,1995,1996;任海等,1998)。

3 对土壤化学特性的影响

植物外来种对土壤化学特性的影响主要体现在养分上。植物外来种对土壤养分的影响有以下几个方面。

3.1 对土壤含 N 量的影响

植物外来种对土壤含 N 量的影响的报道很多。这些外来种多是能够固氮的植物(Walker 和 Smith, 1997; 余作岳等, 1995, 1996; Vitousek 和 Walker, 1989; Witkowski, 1991)。如 *Myrica faya* 侵入夏威夷群岛的旧火山地带,这些地带的土壤缺乏 N,而该种外来种能够通过生物共生固 N 而大量增加土壤的总 N 量,在 *Myrica faya* 林中,它通过生物共生固定的 N 为 $18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,而经本地生物固定的 N 则为 $0.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,降雨带来的 N 不到 $4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$;通过对落叶的分解和 N 的释放以及土壤 N 的矿化等情况的测定,发现由 *Myrica faya* 固定的 N 能被其它植物利用;*Myrica faya* 通过对群落的限制因子 N 的影响而决定了该群落的演替方向(Vitousek 和 Walker, 1989);另外如相思类植物,也有固 N 的功能,而且它们能生长于贫瘠干旱的地方,通过固 N 而增加土壤的含 N 量,给后来的植物提供条件,促进植被的恢复(余作岳等, 1995, 1996; Witkowski, 1991; 丁明懋等, 1991)。

尽管有些植物外来种没有固 N 的功能,但它们仍然能够影响土壤的 N 含量。这同植物外来种的

自身组成成分有关。有些植物外来种的凋落物里含有次生物质(如单宁、酚类等)(Cameron 和 Spencer, 1989; Bottger 和 Kalisz, 1990),这些物质会影响各类食碎屑者,从而影响营养物的循环。有些外来植物体内含木质素多,其凋落物分解受到影响,那么大量凋落物变成腐殖质,束缚在腐殖质中的 N 元素释放慢,这样就影响到土壤有效 N 的含量(Cameron 和 Spencer, 1989; Melillo 等, 1982)。有的植物外来种的凋落物中 C/N 比低,反映了其木质素、纤维素等含量低,含氮化合物多,这样的凋落物易于分解,物质循环快,有利于提高土壤里的有效 N 量,如外来种柳相思树叶中的含 N 量是本地种锐裂黎可斯帕(*Leucospermum parile*)的两倍,每年由柳相思树落叶释放的 N 为 $4.84 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,远高于锐裂黎可斯帕落叶的 $1.72 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$;在柳相思树入侵较轻的林地里,林下和邻近空旷地的土壤的总 N 量分别为 $386 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $289 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,铵态 N 为 $2.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $1.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;而在其入侵较重的林地里,林下和邻近空旷地的土壤的总 N 量分别为 $284 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $467 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,铵态 N 为 $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $2.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;而在本地种锐裂黎可斯帕的林地里,林下和邻近空旷地的土壤的总 N 量分别为 $210 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $183 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,铵态 N 为 $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $1.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。很显然,外来种柳相思树使土壤的总 N 量和铵态 N 增加了很多(Witkowski, 1991)。

植物外来种还可通过其它方式来影响土壤的含 N 量。有的外来种的根产生抑制菌类的分泌物,使一些共生固 N 的菌类减少,影响共生固 N(范俊岗等, 1995)。植物外来种还可通过增加火灾,使植被燃烧而使 N 不断地挥发掉,据报道火灾可使土壤 K 含量提高(Walker 和 Smith, 1997; 唐季林等, 1995)。植物外来种可通过影响食物而对一些大的动物(如野猪、山羊等)的活动产生影响,如果使这些动物的活动增加,那么动物对环境的干扰增大,土地的侵蚀加大,引起土壤养分流失。植物外来种通过竞争来抑制能固 N 的本地种生存或植物外来种的凋落物的营养贫乏,也会使土壤的肥力降低。而有些植物的凋落物中含的阳离子多,对酸雨的缓冲力强,如木荷就有这种特性,在酸雨多的地区,用它和其它植物营造混交林有利于改善土壤,维持生态系统生产力,使土壤的有效 N 等的量增加(汪思龙等, 1992)。

此外,由于凋落物的分解受到环境中温度和湿度的影响,那么当植物外来种能增加土壤的温度和

湿度时,就使凋落物的分解速率加快,有利于物质循环;而当植物外来种降低土壤温度和湿度时,就使凋落物的分解时间延长,不利物质循环,甚至造成土壤营养降低。

3.2 对有机质的影响

植物外来种侵入生态系统,如果使该系统的生产力增加,凋落物量增多,那么就可能使土壤的有机质量增加。这种情况多发生于以下条件:(1)植物外来种利用了空的生态位,得以生存发展,如在海滩上引种的互花米草(*Spartina alterniflora*)和大米草(*Spartina anglica*),这两种植物的生物量高;尤其是互花米草的总生物量(干重)的净值高达成 $3154.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,它可以列入世界高生力的植被。通过引种这两种植物,增加海滩土壤里的有机质,同时土壤中的动物(如沙蚕)增多,土壤结构得改善(王维中等,1992;钦佩等,1993;赵清良等,1997)。(2)植物外来种能利用本地种不能利用的资源,使生态系统的总生产力得到提高。(3)植物外来种产生的凋落物量比其取代的本地种的高(Walker 和 Smith,1997)。上述条件下,植物外来种是可以增加土壤的有机质量,但是植物外来种对土壤有机质的影响同土壤分解者的活动密切相关。如果植物外来种通过其分泌物或通过调节生态系统的温度、湿度来促进分解者的活动,那么分解就快,就使土壤的有机质矿化加速。

此外,植物外来种影响土壤的酸碱性会影响凋落物的分解,这样就间接影响到有机质。在贫瘠退化的生态系统里引种植物外来种,会使土壤的有机质增加(Chiarucci 和 Diminici,1995)。

植物外来种的入侵造成生态系统里的凋落物产量降低,会使土壤的有机质减少。这同植物外来种入侵造成以下变化相关:(1)生态系统遭入侵后,物种的数量减少,总的生物量降低;(2)树侵入草地,并取代之;(3)多年生的植物外来种取代一年生的本地草本类(DAntonio,1992)。有些植物外来种的凋落物营养贫乏,那么也可降低土壤营养。

3.3 其它元素

不同的植物外来种的特性各不一样,那么它们对土壤里每种元素的影响不同。植物外来种可以改变贫瘠土壤里的钙与镁的比例,如矮松(*Pinus virginiana*)侵入蛇纹石地带对其土壤的影响是个典型的例子(Andrew 和 Wallensten,1997)。蛇纹石地的土层薄,有机质少,N、P、K、Ca的含量低,矮松

侵入后,使土壤的钙与镁的比例升高,这与其凋落物的酸性较强,引起土壤的pH值降低,使得矿石溶化而释放出钙有关。土壤的肥力同时得到提高。

有些植物外来种可以在生长过程中积累盐分,体内的盐分会从凋落物中淋溶出来,使土壤的盐分增加,土壤的渗透势升高,对其它物种造成危害。如松叶菊(*Mesembry anthemum Crystallinum*)是一年生的植物,在其生长过程中,主要通过叶片吸收雾气中的盐分或深根从土壤溶液中吸收各种离子,体内不断地积累盐分;其穿透雨中的Na和氯化物的含量很高,分别为 $9400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $7000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而K、Ca和Mg的含量却低,分别为 $680 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;刚死亡的植物体的穿透雨的渗透势为 400 mOsm/kg ,死了一年的则为 35 mOsm/kg ,没有该种植物的开阔地带的渗透势则为 15 mOsm/kg 。其凋落物经雨水淋洗,盐分就不断地进入土壤,土壤中盐分升高,而在渗透势高达 200 mOsm/kg 时,该种植物幼苗还能健康生长(Vivrette 和 Muller,1977)。在这种高盐分的土壤里,其它植物难以生存,那就会形成单一物种的群落。

有些植物外来种的体内含有丰富的酚类等化合物,会造成土壤的pH值低(徐秋芳等,1998),使这些植物外来种的周围缺乏草本植物,矿质元素难以保存,使土壤中的养分流失(Bottcher 和 Kalisz,1990)。

3.4 对地表凋落物的影响

植物外来种侵入一个群落,如果该种植物成为优势种时,就影响群落里的凋落物。由于入侵种的特性不一样,那么产生的凋落物的量就有差异,有的多,而有的少(陈永瑞,1995)。在外来种巨相思树和柳相思树的群落里,其凋落物的量为 $804 \sim 968 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,远高于本地种形成的植被($78 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $70 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,林龄分别为 $5 \sim 7 \text{ a}$ 和 $4 \sim 7 \text{ a}$)(Milton,1981)。另外由于植物外来种对群落内其它本地种的影响,同样会影响到群落的凋落物量。有的植物外来种通过影响森林的透光率等因子而影响林下层的植物生长,例如草莓番石榴(*Psidium cattleianum* Sabine)有耐阴和可形成厚密的冠层的特点,它就可以阻止其它物种的生长(Hueneke 和 Vitousek,1989)。有的植物外来种还会通过他感作用来影响其他物种的生存,这方面报到较多的是桉树,它可释放酚酸类物质抑制其它植物的生长(王大力,1995;王大力等,1996a,b;曾任森等,1996;曹潘荣,1996;祝心如等,1997)。这样就会间接地影响到

地表的覆盖物的量。如果植物外来种的凋落物由于含有他感物质,对分解者的活动有影响,那么它就会间接地影响到凋落物的分解速率。有些外来植物凋落物木质素含量高,其凋落物分解速率减慢(Melillo等,1982;陈永瑞,1995)。这种现象在华南地区的湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)林中常见。如果凋落物中的N含量多,营养丰富,则易于分解,凋落物的积留量就少。此外,植物外来种会通过影响群落的温度、湿度等小气候因子来间接地影响凋落物的分解。

3.5 其它方面的影响

植物外来种对土壤的含水量和凋落物等均有影响,由此会影响土壤的动物和微生物(蒋福兴等,1992)。南亚热带地区的土壤动物的生物量与土壤含水量呈正相关,食碎屑者的生物量同凋落物相关(廖崇惠等,1995)。

在林业上,引种的植物林型对土壤的肥力有很大影响。人工纯林的土壤肥力普遍比混交林的要低(陈永瑞,1995;梁宏温等,1993)。混交林土壤中各类微生物(包括细菌、放线菌、真菌)及相关的生化作用强度在一定程度上比纯林的要高,反映了混交林各种生化过程比纯林活跃,有利于养分的转化和积累(王楚红等,1999)。

本文得到华南植物所的李志安副研究员的指正,在此表示感谢!

参考文献:

- 余作岳, 彭少麟. 1996. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 85-95.
- Andrew MB, Wallensten MD. 1997. Effects of invasion of *Pinus virginiana* on soil properties in serpentine barrens in southeastern Pennsy Lvania[J]. *J Torr Bot Soc*, **124**(4): 297-305.
- Baskin Y. 1999. Winners and losers in a changing world—global changes may promote invasions and alter the fate of invasions species[J]. *BioScience*, **48**(10): 788-792.
- Bottcger SE, Kalisz PJ. 1990. Single-tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky[J]. *Ecology*, **71**(5): 1 365-1 372.
- Cameron GN, Spencer SR. 1989. Rapid leaf decay and nutrient release in a Chinese tallow forest[J]. *Oecologia*, **80**(2): 222-228.
- Cao PR(曹潘荣), Luo XM(骆世明). 1996. Studies on the allelopathy of *Eucalyptus citriodora* hook(柠檬桉的他感作用研究)[J]. *Journal of South China Agricultural University*(华南农业大学学报), **17**(2): 7-11.
- Carlton JT. 1996. Biological invasions and cryptogenic species[J]. *Ecology*, **77**(6): 1 653-1 655.
- Chen YR(陈永瑞). 1995. A study on soil fertility changes of different artificial forests(不同林型人工林土壤肥力变化的研究)[J]. *Natural Resources*(自然资源), **2**(2): 146-151.
- Chiarucci A, Dominicis VD. 1995. Effects of pine plantations on ultramafic vegetation of central Italy[J]. *Israel J plant Scien*, **43**(1): 7-20.
- DAntonio CM. 1992. Biological invasion by exotic grasses, the grass /fire cycle, and global change[J]. *Ann R Ecol and Syst*, **23**(1): 63-87.
- Ding MM(丁明懋), Yi WM(蚁伟民), Liao YL(廖玉兰). 1991. The quantities of nitrogen fixation by *Acacia auricalae* and *Acacia mangium*(大叶相思和马占相思固氮量的研究)[J]. *Acata Ecologica Sinica*(生态学报), **11**(3): 289-290.
- Fan JG(范俊岗), Fan GR(范国儒). 1995. Plant root exudation and its significance in forestry(植物根系分泌及其在林业中的意义)[J]. *Bulletin of Botanical Research*(植物研究), **15**(2): 246-251.
- Huenneke LF, Vitousek PM. 1989. Seedling and clonal recruitment of the invasive tree, *Psidium cattleianum*: implications for management of native Hawaiian forests[J]. *Biol Conserv*, **53**(1): 199-211.
- Jiang FX(蒋福兴), Wang WZ(王维中), Huang YS(黄耀生), et al. 1992. Preliminary study on interactions between *Spartina anglica* C. E. Hubbard and *Perinereis aihuhitensis* Grube(大米草—双齿沙蚕相关性初探)[J]. *Acata Ecologica Sinica*(生态学报), **12**(1): 84-88.
- Liang HW(梁宏温), Huang CB(黄承标), Hu CB(胡承彪). 1993. A study on the litterfall and soil fertility of the different planted forests in Guangxi(广西宜山县不同林型人工林凋落物与土壤肥力的研究)[J]. *Acata Ecologica Sinica*(生态学报), **13**(3): 235-242.
- Liao CH(廖崇惠), Lin SM(林少明). 1995. The relationship between biomass of soil animals and decomposition of forest litter(土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系)[J]. *Acata Ecologica Sinica*(生态学报), **15**(Supp. A): 156-164.
- Melillo JM, Aber JD, Muratore JF. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics[J]. *Ecology*, **63**(2): 621-626.
- Milton SJ. 1981. Litterfall of the exotic acacias in the southwestern Cape[J]. *J South African Bot*, **47**(1): 147-155.

- Peng SL(彭少麟), Xiang YC(向言词). 1999. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems(植物外来种入侵及其对生态系统的影响)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 19(4): 560-569.
- Qin P(钦佩), Ma LQ(马连琨), Xie M(谢民), et al. 1993. A study on dynamics of Fe, Cu, Mn, Zn in primary production of *Spartina alterniflora* (Fe, Cu, Mn, Zn 在互花米草初级生产中的动态研究)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 13(1): 67-74.
- Ren H(任海), Peng SL(彭少麟). 1997. Solar energy utilization efficiency of man-made forests in Heshan, Guangdong, China(鹤山人工林的光能利用效率)[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 23(Supp.): 104-112.
- Ren H(任海), Peng SL(彭少麟), Liu HX(刘鸿先), et al. 1998. Litterfall and its ecological effects at Xiaoliang tropical artificial mixed plantation(小良热带人工混交林的凋落物及其生态效益研究)[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 9(5): 458-462.
- Schwartz MW. 1997. Defining indigenous species: An introduction[A]. In: Luken JO and Thieret JW. eds: Assessment and management of plant invasions[C]. Berlin; Springer, 8-9.
- Tang JL(唐季林), Ou GQ(欧国菁). 1995. Influence of fire on soil property under the canopy of Yunnan pine(林火对云南松林土壤性质的影响)[J]. *Journal of Beijing Forestry University*(北京林业大学学报), 17(2): 44-49.
- Vitousek PM, Walker LR. 1989. Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii: plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects[J]. *Ecol Monogr*, 59(3): 247-265.
- Vivrette NJ, Muller CH. 1977. Mechanism of invasion and dominance of coastal grassland by *Mesembryanthemum Crystallinum*[J]. *Ecol Monogr*, 47(3): 301-318.
- Walker LR, Smith SM. 1997. Impacts of invasive plants on community and ecosystem properties. In Luken JO and Thieret JM eds: Assessment and management of plant invasions[M]. Berlin; Springer, 59-85.
- Wang CR(王楚荣), Chen HY(陈红跃), Xu LF(许炼烽). 1998. Benefits of improving soil productivity from mixed plantation and their preventive roles in the depletion of soil productivity(混交林的改土效益及其在防止地力衰退上的应用)[J]. *Soil and Environmental Sciences*(土壤与环境), 8(1): 58-60.
- Wang DL(王大力). 1995. Review of allelopathy research of *Ambrosia* Genus(豚草属植物的化感作用研究综述)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 14(2): 48-53.
- Wang DL(王大力), Zhu XR(祝心如). 1996a. Allelopathic research of *Ambrosia trifida*(三裂叶豚草的化感作用研究)[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 20(4): 330-337.
- Wang DL(王大力), Zhu XR(祝心如). 1996b. Allelopathic research of *Ambrosia artemisiifolia*(豚草的化感作用研究)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 16(1): 11-19.
- Wang SL(汪思龙), Chen CY(陈楚莹). 1992. Buffering of forest litter to soil acidification and its effect on root growth(凋落物对土壤酸化的缓冲及其对根系生长的影响)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 11(4): 11-17.
- Wang WZ(王维中), Jiang FX(蒋福兴), Zhao M(赵鸣). 1992. Ecological effect and economic benefit of artificial *Spartina alterniflora* vegetation—a primary study(互花米草人工植被生态效益和经济效益的初步研究)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 11: 12-15.
- Wang ZH(王震洪), Duan CQ(段昌群), Qi LC(起联春), et al. 1998. A preliminary investigation of ecological issues arising in the man-made forest of *Eucalyptus* in China(我国桉树林发展的生态问题探讨)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 17(6): 64-68.
- Witkowski ETF. 1991. Effects of invasive alien acacias on nutrient cycling in the coastal lowlands of the cape fynbos[J]. *J Appl Ecol*, 28(1): 1-15.
- Yu ZY(余作岳), Peng SL(彭少麟). 1995. The artificial and natural restoration of tropical and sub-tropical forests(热带亚热带退化生态系统的植被恢复及其效应)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 15(Supp. A): 1-17.
- Zen RS(曾任森), Lin XL(林象联), Luo XM(林象联), et al. 1996. Allelopathic potential of *Wedelia chinensis* and its allelochemicals(蟛蜞菊的生化他感作用及其生化他感作用物的分离鉴定)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 16(1): 20-27.
- Zhao QL(赵清良), Zhao Q(赵强). 1997. Effects of *Spartina anglica* to the soil habitat of *Perenereis aibuhitensis*(大米草对双齿沙蚕生境中土壤改良作用的研究)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 16(2): 28-30.
- Zhu XR(祝心如), Wang W(王威), Zhao GZ(赵国镇), et al. 1997. Effects of *Ambrosia trifida* on root growth and nodulation of soybean(三裂叶豚草对大豆根系生物及其结瘤的影响)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 17(4): 407-411.