

提高碳汇潜力：量化树种和造林模式对碳储量的影响

王春梅，王汝南，蔺照兰

北京林业大学“污染水体源控与生态修复技术”北京市高等学校工程研究中心，北京 100083

摘要：全球气候变化背景下，造林再造林固定的碳可以抵消温室气体减排量。通过造林再造林增加森林面积可以增加林业碳汇，在土地面积有限的情况下，提高造林质量——在有限的造林面积上固定更多的碳是十分必要的。树种和造林模式的选择是增加森林生态系统碳汇的重要管理决策。文章综述了树种和造林模式对生态系统的碳储量的影响。树种从生物量的积累，凋落物和土壤碳储存，以及木材密度、碳贮存量等几个方面探讨其对生态系统碳库的影响。混交林能充分利用立地条件、改善树木营养状况，并且可以减少病虫害和森林火灾。同时分析了我国在森林经营方面存在的问题和改善途径，以期为该领域的研究提供参考。

关键词：碳储量；树种；造林模式；生物量；土壤

中图分类号：X173

文献标识码：A

文章编号：1674-5906 (2010) 10-2501-05

全球气候变化背景下，造林再造林固定的碳可以抵消温室气体减排量。森林是陆地上最大的储碳库和最经济的吸碳器，森林植被生物量占全球植被生物量的86%，而森林土壤中的碳占全球土壤碳的73%^[1]。因此，《京都协议书》明确提出造林再造林活动可作为CDM项目，明确造林再造林和毁林及1990年后发生的森林管理和森林恢复等林业活动产生的碳吸收可部分抵消该国温室气体减排量。

在全球气候变暖问题受到国际社会高度关注的背景下，林业碳汇作为最直接、最有效的应对措施之一，正在成为国际社会日益关注的热点。树种和造林模式的选择是增加森林生态系统碳汇的重要的管理决策。通过造林再造林增加森林面积可以增加林业碳汇，但是土地面积是有限的，尤其是我国这样的人口大国，更是面临土地资源紧张的困境。因此，提高造林质量，即在有限的造林面积上固定更多的碳是十分必要的^[2]。树种和造林模式的选择是增加森林生态系统碳汇的重要管理决策^[3-5]。Cannell^[6](1999)指出快速生长的树种可以比生长慢的树种在收获时固定更多的碳。许多占据不同生态位的树种可以相互补充，以至于混交林的生物量产量高于纯林^[7-8]。

目前，我国陆地生态系统通过有效的生态系统管理(如树种选择、造林模式等)能增加多少碳吸收量？如何在有限的造林面积上固定更多的碳？

国内研究较少，怎样制定有利于固碳的造林模式更是亟待解决。总之，在全球气候变化的大背景

下，我国大规模开展造林运动和大面积低产林需要改造的现实问题面前，通过研究当地主要树种的生长率，量化不同造林模式(混交林和纯林)下生态系统碳变化，寻求利于固碳的树种和森林营造模式，可以为利于固碳的造林模式提供技术指导，为今后碳汇森林(Carbon Forest)的高效实施提供案例研究，对进一步开展造林固碳政策的制定提供科学指导。

1 增加森林碳汇的机理和模式

森林具有碳汇和碳源的双重特性。森林在生长过程中通过光合作用吸收大气中的CO₂合成有机质，并以森林生物量的形式贮存有机碳，从这个意义上讲森林是大气CO₂的汇。同时森林植物的呼吸作用、枯枝落叶凋落后回归土壤，经土壤动物和微生物分解后会向大气中释放部分CO₂，另外森林如果遭受火灾、病虫害和毁林等破坏后也会向大气释放出已经固定的碳，成为大气CO₂的源。为了促进森林的碳吸收，防止和减少碳排放，使森林表现为碳汇功能，通过森林管理措施缓解大气中CO₂的积累有以下3种方式^[9-10]：

森林生态系统可从以下几个方面储存碳来减缓气候变化：(1)增加森林面积(造林再造林)来增加陆地生态系统碳储存^[11]。(2)通过森林管理方式来提高已经存在的森林碳储量，经营管理活动对森林碳储存的影响不能被忽略^[12-14]；通过控制和减少森林采伐，加强自然保护区内森林资源保护，树种的选择和造林模式的优化，改变现有采伐收获方式，提高木材利用率，积极采取措施加强对自然或人为

基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金资助(200-124010)；国家自然科学基金项目(30600090)

作者简介：王春梅(1976年生)，副教授，博士，主要研究全球气候变化和碳循环。E-mail: sdwcm@126.com

收稿日期：2010-09-15

干扰如病虫害、火灾等的预测预报及应对,保护好现有森林的碳储量。(3)用生物质能源来替代化石燃料,减少使用化石燃料能源和产品、水泥制品及其它非木材产品,积极开发利用森林生物质能源。

造林再造林通过增加森林覆盖,对生态系统碳贮存量有显著的影响。可是,能够利用造林作为一种抵消碳排放量的工具受到可利用土地面积的限制。在欧洲,造林项目已经占用农业土地利用面积的20%^[6],而在奥地利,芬兰,瑞典,瑞士等一些国家的森林覆盖率已经是50%,进一步增加覆盖率是不大可能。然而,在森林覆盖率低的国家(例如,爱尔兰,丹麦,地中海沿岸国家),增加森林面积还只是在政治议程上。京都议定书的第3.4条允许使用森林管理增加的碳汇来抵消国家碳排放的限制^[12]。所以,树种构成、森林发育阶段、土壤类型和经营管理活动等对森林碳储存的影响不能被忽略^[13-17]。造林再造林是固定大气CO₂一种可选择方法,不同再造林类型与森林管理措施对森林土壤碳储存是有影响的,为了提高再造林的意识和加强对这种影响的理解,清查森林碳库和碳库变化来决定最合适的造林树种、方法和森林管理措施是必要的。

2 树种对碳储量的影响

树种从几个方面影响生态系统的碳库,包括生物量的积累,凋落物和土壤碳储存,以及木材密度、碳贮存量等。表1显示了几种常见欧洲树种林碳库的差异。樟子松林(*Pinus sylvestris*)土壤碳储量显著很低,而山毛榉林(*Fagus sylvatica*)土壤碳库和总碳库都是最高的。不同树种的土壤碳库平均值描绘了立地条件状况,在这一立地条件该物种是优势物种。例如樟子松往往生长在浅层、干燥的土壤中,这些土壤碳储量低,而山毛榉林多生长在更肥沃一些的土壤中^[18]。

与落叶树种相比,浅生针叶树种趋向于在森林凋落物层积累土壤有机质,但在矿质土壤中积累的较少。相同体积的生物量,木材密度大的树种(许多落叶树种)比木材密度小的树种(许多针叶树种)积累更多的碳(表1)。演替晚期树种树干密度比先锋树种高。

关于树种的影响,常见的相同树种连续种植

(replicated stands)试验对其进行了研究^[19]。丹麦的一个致力于树种对森林凋落物碳储量影响的研究中7个树种每一种被重复种植在沿土壤肥力梯度变化的7个不同场地^[20]。其中樟子松、挪威云杉和冷杉的碳储量比欧洲山毛榉草和橡木高。相似的,德国的一个实验表明,在松树林凋落物碳储量比山毛榉凋落物碳储量大,这是因为松树和云杉的凋落物比落叶树的凋落物腐烂的慢^[20-21]。应该指出的是,树种对矿质土壤的作用有所不同。一个奥地利的研究表明在纯挪威云杉林土壤碳储量高于混合针阔叶林分。这里展示了树种和土壤类型的合作。云杉混交增加了土壤碳储量,贫瘠土壤碳储量最大值高于肥沃土壤。没有充分的证据证明树种在矿质土壤碳储存上有与此相一致的作用,在山毛榉之后云杉林的建立导致碳从部分矿质土壤中释放出来,而植物根不再穿过矿质土壤层^[22]。根深度与土壤中碳有关,因为根系生长是输入碳到土壤中的一个最有效方式^[23-24]。

总之,树种对森林凋落物层碳库影响很迅速。对碳固定的持久性来说,选择那些能够使矿质土壤中稳定性碳库增加的树种会更加有意义。地下生物量的产出推动了土壤碳库增加。然而,这种推动作用有多大的证据很少得到。

3 造林模式(混交林和纯林)对碳汇的影响

混交林和纯林相比,占据不同生态位的树种可以相互补充,以至于许多混交林的生物量产量高于纯林^[7-8]。森林抗干扰的稳定性对整个轮换期森林生产力是很重要的。在中欧,相比纯云杉林,山毛榉和云杉的混交林是更好的选择,尽管纯云杉林木生长速度很快^[8]。混交林能充分利用立地条件、改善树木营养状况,并且可以减少病虫害和森林火灾。另外,可以获取较好的经济收益,快速生长的树木有较短的轮伐期,而一些更有价值的树木有较长的轮伐期。这样,早期的收益更加有利于晚收获的价值较高的树种的生长。然而,在热带雨林地区,混交林不普遍,因为这样较难管理和收获^[25-27]。由于混交林研究的资料较少,精确预测混交林的生长动态是很困难的^[28]。对比研究表明,混交林生长得很好,其产量比纯林高或相当^[29-31]。混交林比纯林可

表1 欧洲不同树种的森林密度和欧洲森林碳贮存量^[25]

Table 1 Wood density of European tree species and median of C pools in European forests

树种	树木密度/(kg·m ⁻³)	木材碳贮存量/(t·hm ⁻²)	土壤碳贮存量/(t·hm ⁻²)	总碳贮存量/(t·hm ⁻²)
樟子松(<i>Pinus sylvestris</i>)	490	60	62	122
挪威云杉(<i>Picea abies</i>)	430	74	140	214
冷杉(<i>Abies alba</i>)	410	100	128	228
山毛榉(<i>Fagus sylvatica</i>)	680	119	147	266
橡木(<i>Quercus</i> sp.)	660	83	102	185

以积累较多的地上生物量和碳汇^[32-33]。这个研究也同时表明混交林也有利于废弃的草地再造林后土壤肥力的恢复^[32]。罗云健和张小全^[34](2007)的研究表明南方杉木纯林随着连栽代数的增加,生物量和土壤有机碳贮量均呈现明显的下降,2代杉木人工林生物量和土壤有机碳贮量分别比1代下降24%和10%,3代分别比2代下降39%和15%。

已有人提议将中欧挪威次生云杉林转换为混交林^[35]。其主要目标是减少风暴破坏,并在当前不断变化的环境中增强森林的稳定性^[36-37]。即使把云杉林较高的产量风险纳入考虑范畴,云杉林创造的财政收入还是比混交林或纯山毛榉林高^[37]。根据模型,花旗松(黄松)和山毛榉混交林土壤长期碳汇高于挪威云杉林土壤^[38]。种植山毛榉的松林立地,土壤碳储量随深度变化。在松树-山毛榉混交林中,更多碳积累在矿质土壤较深的部分,这是因为山毛榉的根到达了深层矿质土壤部分。这些碳是否被转移到稳定碳库还要有待研究。然而,从松树到山毛榉的转换过程中收获的总土壤碳很少^[21]。

4 我国森林经营管理存在的问题

我国森林经营目前面临2个现实问题:

(1) 低产林占的比重大,需要改造。林分单位面积年均生长量为 $3.55 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,相当于世界平均水平 $4.50 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的78.9%;林分单位面积蓄积量为 $84.73 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,相当于世界平均水平 $114.00 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的74.3%^[39]。另外,方精云等根据我国第5次全国森林资源清查(1994—1998年)数据估算,我国森林碳储量约为 $4.75 \times 10^9 \text{ t}$,平均碳密度为 44.91 hm^2 ,仅相当于全球平均碳密度 86 hm^2 的52%^[40]。根据统计和估算结果可以看出,我国森林资源总体质量不高,森林年生长量、蓄积量和平均碳密度与世界平均水平相比还有很大提升空间。

(2) 造林再造林工程大,造林工程中纯林比例高,低产林面积大,碳汇潜力大。目前我国北方主要的速生树种有杨树、落叶松、油松和樟子松^[41],南方主要有杉木、马尾松、桉树和相思树。我国森林资源面积虽然明显增加,但是森林经营质量不高,尤其是人工林面积大,人工林中幼林比例为84.4%,包括退耕还林在内的六大生态工程营造的都是单一纯林,低产林面积大^[2]。森林作为一个动态的碳库,其贮存碳的能力不仅取决于森林的面积,还取决于森林的质量,即单位面积的森林碳密度。形成纯林的原因有4点:(1) 重视森林数量的增加,忽视了森林质量。由于只注重造林绿化面积的扩大,森林覆盖率的增加,经营目的不明确,更不去考虑成林后森林的稳定性、森林多种生态功能的发挥,结果是成林不成材,林地生产力水平低下。

(2) 是造林进展快,苗源不足,在造林前缺乏科学的造林设计、树种配置,没有准备好充足的苗木,有什么苗造什么林,形成大面积纯林。(3) 是造林技术不科学,为了保证造林成活率,以往造林要求造林密度大,这种情况一方面需要大范围整地,破坏了原有植被,栽植单一树种;另一方面由于密度大,在成长过程中,较难有其他树种和灌草侵入与之混交。(4) 是传统的幼林抚育方式强调保留目的树种,清除非目的树种,一味追求纯林和主要树种的木材产量,使许多具有特殊作用的灌木和藤本植物被列为抚育间伐对象,生物多样性大大减少^[42]。

单一树种结构会带来一系列的生态问题,除了生物多样性减少,地力下降外,由于人工纯林物种单一、发育不完善,面临比混交林更大的火灾和病虫害风险,碳汇能力也不稳定^[43]。火灾的发生不仅会在短期内将储存在植被体中的碳释放到大气中,而且由于土温升高加速了土壤的碳释放。后者往往产生更大的碳释放^[44]。另外,人工纯林因缺少生物多样性、生态系统脆弱、食物链简单,生物天敌种类和种群数量极少,森林自控力不强,易引起某种单食性害虫暴发成灾。复层异龄混交林与单纯林相比,生物种群丰富,食物链复杂,互相制约,相互平衡,不会造成某一种群的大发生,有虫不成灾^[42]。病原体通过对植物根、茎、叶的蚕食,破坏植物正常的生理代谢过程。影响植物正常的发育生长,从而影响植物的固碳能力^[45]。

按照我国林业发展总体规划,在今后50年,我国将净增森林面积 $9066 \times 10^4 \text{ hm}^2$,并且逐步推进碳汇造林这一新的造林模式。树木干物质的50%是碳^[46],随着林木生长,中国造林再造林工程将形成巨大的森林碳汇,要想最大化森林碳汇潜力,充分了解可用来造林的当地树种的生长特点和动态非常必要。对于碳汇,理想的造林树种是较高的生长率、木材密度和碳贮存量,较大的最大材积、较低的分解率、适于做长寿命的木材产品。其中最重要的特点是高生长率的树种。如何通过合理的造林树种、造林模式选择来最大化碳汇,是急需解决的问题。在树种和造林模式选择时,除了考虑以上因素,还要充分考虑当地天然林树种组成,配置造林树种。天然林的树种结构,是长期适应生态环境的结果,既适地又适树,成为适应当地生态条件的相对稳定的生态群落,是非常好的树种搭配。在选择混交造林树种时,应当依据立地条件、当地天然林的树种组成、混交比例进行树种配置,在水肥条件好的地方,可进行乔灌草混交。另外,根据立地条件,选择不同树种,进行团块、带状或根据地形进行不规则混交,营造多样化的森林类型,形成多树种搭

配、多层次的景观结构,使人工林天然化^[42]。

目前,我国面临造林再造林、以及低产林改造问题,在有限的造林面积上提高碳储量是我国面临的现实问题,即我们不仅要增加森林面积,还要通过树种选择、造林模式的优化,提高森林管理质量,最大化森林碳汇潜力。

参考文献:

- [1] SIX J, CALLEWAERT P, LENDERS S, et al. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation[J]. Soil Science Society America Journal, 2002, 66: 1981-1987.
- [2] 李怒云. 中国林业碳汇[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 1-4.
LI Nuyun. Carbon Sequestration in Chinese Forestry. Beijing[M]: Chinese Forestry Press, 2007:1-4.
- [3] VALLET P, MEREDIEU C, SEYNAVE I. Species substitution for carbon storage: Sessile oak versus Corsican pine in France as a case study[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 257: 1314-1323.
- [4] SCHULP C, NABUURS G, VERBURG P, et al. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 256: 482-490.
- [5] ZHENG H, OUYANG Z, XU W. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 1113-1121.
- [6] CANNELL M G. Environmental impacts of forest monocultures: water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage[J]. New Forests, 1999, 17: 239-262.
- [7] RESH S C, BINKLEY D, PARROTTA J A. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with eucalyptus species[J]. Ecosystems, 2002, 5: 217-231.
- [8] PRETZSCH H. Diversity and productivity in forests: evidence from longterm experimental plots. In: Scherer-Lorenzen M, Körner C, Schulze E. (Eds.), Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems[J]. Springer Verlag, Berlin, chap. 2005, 3: 41-64.
- [9] ROBERT T, WAISON, MARUFU C, et al. Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change[M]. Geneva: IPCC, 1996: 55-63.
- [10] 张小全, 武曙红, 何英, 等. 森林, 林业活动与温室气体的减排增汇[J]. 林业科学, 2005, 41(6): 150-156.
ZHANG Xiaoquan, WU Shuhong, HE Ying, et al. The emission and sequestration of the greenhouse gas with the activity of forestry[J]. Forestry Science, 2005, 41(6): 150-156.
- [11] NABUURS G J, MASERA O, ANDRASKO K, et al. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[C]//METZ B, DAVIDSON O R, BOSCH P R, et al. Forestry In Climate Change Mitigation. New York: Cambridge University Press, 2007, 555: 576.
- [12] CANNELL M G. Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK[J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 24: 97-116.
- [13] LAL R. Forest soils and carbon sequestration[J]. Forest Ecology and Manage, 2005, 220: 242-258
- [14] YANG Y S, GUO J F, CHEN G S, et al. Carbon and nitrogen pools in Chinese fir and evergreen broadleaved forests and changes associated with felling and burning in mid-subtropical China[J]. Forest Ecology and Manage, 2005, 216(1/3): 216-226.
- [15] HARMON M E, FERRELL W K, FRANKLIN J F. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests[J]. Science, 1990, 247: 699-702.
- [16] DEWAR R C, CANNELL M G R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples[J]. Tree Physiol, 1992, 11: 49-71.
- [17] GRIGAL D F, OHMANN L F. Carbon storage in upland forests of the Lake States[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 935-943.
- [18] CALLESEN I, LISKI J, RAULUND-RASMUSSEN K, et al. Soil carbon stores in Nordic well-drained forest soils relationships with climate and texture class[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 358-370.
- [19] PRESCOTT C, VESTERDAL L, PRATT J, et al. Nutrient concentrations and nitrogen mineralization in forest floors of single species conifer plantations in coastal British Columbia[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30: 1341-1352.
- [20] VESTERDAL L, RAULUND-RASMUSSEN K. Forest floor chemistry under seven tree species along a soil fertility gradient[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1998, 28: 1636-1647.
- [21] FISCHER H, BENS O, HÜTTL R. Veränderung von Humusform, -vorrat und-verteilung im Zuge von Waldumbau-Massnahmen im nordostdeutschen Tiefland[J]. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 2002, 121: 322-334.
- [22] KREUTZER K, DESCHU E, HÖSL G. Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf die Sickerwasserqualität[J]. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 1986, 105: 364-371.
- [23] ROTHE A, KREUTZER K, KÜCHENHOFF H. Influence of tree species composition on soil and soil solution properties in two mixed spruce-beech stands with contrasting history in southern Germany[J]. Plant and Soil, 2002, 240: 47-56.
- [24] VESTERDAL L, RITTER E, GUNDERSEN. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 169: 137-147.
- [25] DEVRIES W, REINDS G J, POSCH M, et al. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe[J]. The Tech Report EC. UN/ECE, Brussels, 2003.
- [26] LAMB D, GILMOUR D. Rehabilitation and restoration of degraded lands. Issues in forest conservation[J]. IUCN-WWF, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 2003: 110.
- [27] KANOWSKI J, CATTERALL C P, WARDELL-JOHNSON G W. Consequences of broadscale timber plantations for biodiversity in cleared rainforest landscapes of tropical and subtropical Australia[J]. Forest Ecology and Manage, 2005, 208: 359-372.
- [28] FORRESTER D I, BAUHUS J, COWIE A L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of Eucalyptus globulus and Acacia mearnsii[J]. Forest Ecology and Manage, 2005, 209: 147-155.
- [29] PIOTTO D, MONTAGNINI F, Ugalde L, et al. Performance of forest plantations in small and medium-sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica[J]. Forest Ecology and Manage, 2003, 175: 195-204.
- [30] ALICE F, MONTAGNINI F, MONTERO M. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en La Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. Agron[J]. Costarricense, 2004, 28(2): 61-71.
- [31] PETIT B, MONTAGNINI F. Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid Neotropics[J]. Forest Ecology and Manage, 2004, 199: 243-257.

- [32] MONTAGNINI F, PORRAS C. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics[J]. *Environ. Manage*, 1998, 22(3): 459-470.
- [33] STANLEY W G, MONTAGNINI F. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica[J]. *Forest Ecology and Manage*, 1999, 113: 91-113.
- [34] 罗云建, 张小全. 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)连栽地力退化和杉阔混交林的土壤改良作用[J]. *生态学报*, 2007, 27(2): 715-724.
LUO Yunjian, ZHANG Xiaoquan. The assessment of soil degradation in successive rotations of Chinese fir plantation and the soil amelioration of mixed plantation of Chinese fir and broad-leaved[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 715-724.
- [35] SPIECKER H, HANSEN J, KLIMO E, et al. Norway Spruce Conversion-Options and Consequences[J]. Research Report, EFI, Brill, Leiden, Boston, Köln, 2004.
- [36] VON LÜPKE B. Risikominderung durch mischwälder und naturnaher waldbau: ein spannungsfeld[J]. *Forstarchiv*, 2004, 75: 43-50.
- [37] DIETER M. Land expectation values for spruce and beech calculated with Monte Carlo modelling techniques[J]. *Forest Policy and Economics*, 2001, 2: 157-166.
- [38] SCHÖNE D, SCHULTE A. Forstwirtschaft nach Kyoto: Ansätze zur Quantifizierung und betrieblichen Nutzung von Kohlenstoffsenken[J]. *Forstarchiv*, 1999, 70, 167-176.
- [39] 国家林业局森林资源管理司. 第六次全国森林资源清查及森林资源状况[R]. 绿色中国, 2005(2): 10-12.
Department of Resources and Forestry Administration. The sixth inventory and status of forest reserves[R]. *Green China*, 2005(2): 10-12.
- [40] FANG J, CHEN A, PENG C. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. *Science*, 2001, 292: 2320-2322.
- [41] 史少微, 刁晶. 北方常用造林树种的选择[J]. *农林工程*, 2010, 6: 225.
SHI Shaowei, DIAO Jing. The choice of tree pieces in common use in the north[J]. *Agriculture and Forestry Project*, 2010, 6: 225.
- [42] 李晓明. 森林树种组成经营管理措施. *农林论坛*, 2009, 8: 74.
LI Xiaoming. The Managements of tree species in composition. *Agriculture and Forestry Forum*, 2009, 8: 74.
- [43] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Key issues in the forest sector today[M]. Rome: State of the World's Forests, 2001: 60-73.
- [44] MATAMALA R, GONZALEZ-MELER M A, JASTROW J D, et al. Impacts of fine root turnover on forest NPP and soil C sequestration potential[J]. *Science*, 2003, 302: 1385-1387.
- [45] 胡会峰, 刘国华. 森林管理在全球 CO₂ 减排中的作用[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 709-714.
HU Hui Feng, LIU Guohua. Roles of forest management in global carbon dioxide mitigation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 709-714.
- [46] MALHI Y, BALDOCCHI D D, JARVIS P G. The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests[J]. *Plant-Cell-Environ*, Oxford, 1999: 715-740.

Carbon sequestration estimation by different tree species and reforestation types in forest ecosystem

WANG Chunmei, WANG Runan, LIN Zhaolan

Research Center for Water Pollution Source Control and Eco-remediation of Beijing forest university, Beijing 100083, China

Abstract : Global climate change is the consequence of imbalance carbon cycle. Carbon storage by reforestation program can play significant role in the global carbon cycle. It is important to fix more carbon on specific areas improving the forest quality. The choice of tree species and afforestation modes is the most significant management decision for increasing carbon stocks through quality forest cover in forest ecosystems. This review critically examines the effects of tree species and afforestation modes on carbon sequestration in forest ecosystems. Tree species has potential impacts on carbon pool in relation to biomass accumulation, litter fall, carbon storage, wood density and carbon content. Species variation can properly utilize the soil nutrients of a certain site and enhance nutritional status of the site condition. In addition, it helps to reduce insects and forest fire. The research paper scrutinized the problem came out in forest management of China and suggested some solutions, which can be used as further research reference.

Key words: Carbon stock; Tree species; Afforestation mode; Biomass; Mineral soil