

·学科进展与展望·

我国开展生物固碳研究的关键科学问题及其研究进展与展望*

黄永梅¹ 龚吉蕊¹ 张新时^{**1,2}

(1 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 2 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

[摘要] 随着温室气体浓度不断增加,全球变化成为不争的事实,生物固碳作为一种目前最安全有效经济的固碳减排方式,已经引起了国际社会的普遍关注,成为众多学科交叉研究的热点领域之一。我国森林和草地生态系统的绝大部分,只拥有较低的碳密度,与各自的碳储存能力相比,还具有较大的固碳潜力。而粗放管理的农田生态系统通过科学的管理措施也可以固定大气中更多的CO₂。本文在对国内外相关领域的研究进行总结分析的基础上,提出我国目前急需开展的生物固碳研究的关键科学问题:高固碳能力的转基因工程和物种筛选培育;生态系统固碳机理及固碳量化研究;区域生物固碳减排模型模拟等。

[关键词] 温室气体减排,固碳效率,固碳机理,高固碳物种

工业革命以来,由于大量化石燃料的使用、森林过伐与草地开垦等造成温室气体特别是CO₂浓度剧增,地球的温室效应增加,导致长期的全球变化。全球变化及其影响已成为世界各国可持续发展的核心问题之一,成为国际社会十分关注的政治经济和生态环境问题^[1,2]。为防止气候变暖、控制温室气体剧增,人类必须控制人口、调整现有的能源结构、加强固碳工程建设^[1,3,4]。生物固碳,作为温室气体控制的重要措施之一,正在成为相关学科的研究热点^[2,5,6]。生物固碳工程对影响/适应和减缓气候变化以及可持续发展具有重要意义。目前急需就我国的实际情况,开展生物固碳的科学研究,促进生物固碳工程的实施,加强温室气体的减排,实现地区生态效益和经济效益的双赢。

1 生物固碳在中国温室气体减排行动中的重要地位

生物固碳就是利用植物的光合作用,提高生态系统的碳吸收与储存能力,是地球上最古老的固碳方式,是固定大气中的CO₂最经济且副作用最少的

方法,受到特别关注^[2,4]。陆地生态系统中含有大量的碳,是全球碳循环中的重要碳库,其贮存的碳超过2万亿吨(大气中的储量为0.75万亿吨)。而且,陆地生态系统对全球碳循环的贡献受人类对地表的改造活动的影响。温室气体的生物固碳减排措施主要包括生物质能源利用、农田和草原土壤固碳、造林、再造林及减少伐林等^[2,4]。

长期的、过度的、不合理的利用方式使我国土地严重退化,森林、草地、耕地等主要生态系统的生态功能极度衰退,碳储量远远低于各生态系统潜在碳储存能力。我国的森林覆盖率不足20%,碳储量目前达到了47.5亿吨,但平均碳密度(40吨/公顷)只达到潜在植物碳储量的一半左右^[7,8]。过度放牧与开垦草地使我国90%以上的草地发生不同程度的退化,中度以上明显退化的草原面积占总草地面积50%,通过不同的管理措施,可以大大提高草地的固碳能力^[9-11]。我国目前的农田面积为9500万公顷,仅提高地面秸秆利用率,中国农田土壤碳(C)的平衡状态就可由当前的每年净排9.5千万吨C变为从大气中吸收8千万吨C,中国耕地的土壤固碳能

* 国家自然科学基金重大研究计划资助项目。

** 中国科学院院士。

本文于2008年7月7日收到。

力巨大^[12-14]。所以,生物固碳工程在中国的固碳减排潜力巨大。

中国现有生态系统巨大的碳存储潜力,将使生物固碳在我国温室气体减排中扮演重要的角色。同时,中国生态退化的现状,已经危及到社会经济的可持续发展,急切需要进行生态恢复和重建,生物固碳工程和碳贸易提供了空前的生态建设机遇。

2 国内外研究进展

全球气候变化影响下的中国陆地生态系统碳循环研究一直是我国近年来的研究热点之一,对不同生态系统的碳循环过程有了一定的认识,但从生物固碳能力角度开展的基础科学研究还很缺乏。近年来,随着对生物固碳在温室气体减排中的重要地位的认识及碳贸易的开展,与生物固碳相关的科学研究正成为国际上的研究热点,特别是在地理学、生物学等学科领域。

2.1 高固碳植物种和品种的选育

一般来说,植物利用太阳能的百分率是1%—3%,在同样气候条件下,不同的植物有不同的生产力和固碳潜力。通过选种育种和种植技术,可以提高植物的生产力,增加固碳效率^[15]。多年生草本植物中,C4植物的固碳速率比一般的C3植物要高,C4植物和豆科植物的功能群组可以提高生态系统的固碳效率5—6倍^[16]。种植高固碳效率的人工草地,其生产力可达到天然草地的10—20倍^[17]。另外,各国都在积极开发和培育有发展前景的能源植物,包括杂交柳(*Salix* spp.)、杂交杨(*Populus* spp.)、柳枝稷(*Panicum virgatum*)、芦竹(*Arundo donax*)和鹧草(*Phalaris arundinacea*)等^[18-20]。在广大的温带地区,具有高生产力、高热能值、易栽种(扦插)和萌生能力强的柳属灌木受到特别的重视,对之开展了广泛的实验和示范研究。在灌溉和施肥条件下,3年生柳树的产量可以达到每年27吨/公顷,其生产力相当于天然林(比如针叶林)的20倍—30倍。美国通过几十年的杂交杨和杂交柳研究,培育了上千个品种,发展了适于不同生境的短期轮伐人工速生林^[19-21]。近年来正在积极进行转基因杨树和转基因柳树的研究^[20,22]。

在物种筛选培育高固碳速率的物种/品种的同时,针对自然生态系统的关键种或功能群也正在进行固碳过程和碳分配机理的认识,这是选育高固碳能力植物种/品种的基础,也是通过管理措施提高自然生态系统固碳能力的前提。如不同的桉树种在降

雨影响下的固碳分配过程的研究等^[23]。结合光合速率和生产力评估不同竹类物种固碳能力差别^[24]的研究等,都成为高固碳物种的研究内容。

2.2 生态系统管理措施的固碳机理研究

优化的固碳模式的提出,首先要基于对生态系统固碳机理的科学认识,不同生态系统及其管理方式对生物固碳能力的影响尤其重要。多年的研究表明,不同的土地管理方式和降雨量的变化对草原生态系统的固碳能力有明显影响,主要表现在土壤有机碳库的变化上^[25]。草地生态系统中不同功能群植物组成对生态系统的固碳效率也具有显著影响^[16]。通过灌溉管理增加糖分在甘蔗茎中的积累,可以提高生物质能的利用效率^[26]。目前急需开展管理措施和环境影响因子相互作用下生态系统的生物地球化学循环过程和固碳机理的研究^[25,27]。

土壤碳库在碳循环中占据中心地位,土壤碳库大约是植被碳库的5倍,大气碳库的4倍,并且土壤有机碳库是最稳定的碳库,有机碳可以在土壤中保持几百年^[28]。土壤固碳过程及其机理,涉及生态学、土壤化学、土壤微生物学等多学科交叉研究,是固碳科学的难点和重点。国际农业已走向固碳农业,联合国粮食与农业组织(FAO)、美国、欧盟等国际组织和国家纷纷发起研究农田土壤固碳途径,加强评估国家农业固碳能力与固碳效益,开发固碳农业的技术体系,以争取在经济发展中的碳配额利益^[28]。将碳保留在土壤中,能够在减少CO₂等温室气体同时增加地力,保持土壤的可持续性。

2.3 区域生物固碳模型及固碳定量化评价研究

生物固碳在区域甚至全球尺度实现一定数量级的固碳量,才能起到减少大气CO₂含量、缓解全球变化的作用。在区域尺度定量化评估生物固碳过程对减排效果和国家能力建设都有重要意义^[2]。在个体和生态系统尺度上对生物固碳的过程和机理进行研究和认识的基础上,近年来通过模型模拟的方法开展区域生物固碳潜力模拟研究成为热点,也是急需解决的科学问题。如Kroodsma等^[28]通过CASA模型模拟分析了美国加利福尼亚州农业在近20年来的固碳能力,分析了不同农业生态系统的固碳能力及在区域尺度上由于土地利用方式的改变等原因造成的农业生物固碳潜力变化特点。美国橡树岭国家实验室估计了美国在各类农作物的总的种植面积中,有1.57亿公顷适合在无灌溉条件下种植能源作物^[18]。多种生物固碳和减排措施的结合,对温室气体的减排是必不可少的^[19]。各项措施的实施都要

在土地上实现,使土地覆盖和利用方式发生改变,要实现生态和经济的双赢,在区域尺度的生物固碳研究急需开展模型和区域规划研究^[20]。

3 急需开展的关键科学问题

根据目前国内外研究现状,结合我国的实际情况,目前急需开展涉及植物学、微生物学、分子生物学、生态学、地理学等学科的大规模、多学科、交叉研究,提高我国生物固碳能力和量化评价技术。

3.1 高固碳能力的转基因工程和物种筛选培育

转基因工程和物种筛选培育的成果是生物固碳工程的基本保证,适宜物种的培育是广大严重退化土地生态重建的关键。通过基因工程,可提高物种对环境胁迫的适应性,提高生态系统的生产力和固碳能力。同时,高固碳能力的物种还可以表现为通过对个体碳分配比例的改变策略,提高植物的生产力和固碳效率。以速生丰产林工程为例,最重要的是要发展树种的选种和育种技术,提高生产力的同时,提高木材品质。

我国拥有丰富的生物多样性,特别是在极端生境生长的植物。分布在青藏高原的高寒植被、干旱区的荒漠植被蕴含着丰富的抗旱抗寒耐盐碱耐贫瘠的植物种质资源和基因资源库。迫切需要开展多学科的综合研究,提取有效的基因功能组合,开发具有自主知识产权的高固碳转基因物种,提高我国生物固碳工程发展潜力和生态建设能力。

3.2 生态系统固碳机理及固碳量化研究

生物固碳的潜力巨大,不同管理措施对生态系统固碳能力有明显的影响,但还缺乏对其固碳量、持续性、稳定性的准确理解,急需就我国的关键生态系统开展相关的生物固碳研究。

以下关于我国林业、草地、农田生态系统和土壤固碳的研究特别值得关注:温带草原应优先开展固碳机理及不同管理措施对草原固碳能力的量化影响,提出优化的温带草地固碳模式;农田生态系统的固碳潜力研究应针对不同气候带农田生态系统,研究科学的管理模式提高农田固碳能力,并提出进行准确评估的相关科学方法;人工速生丰产林的固碳潜力研究在引进和开发高固碳效率的树种基础上,急需研究其固碳过程和机制,加强生态系统管理,提高人工林生产力;土壤固碳机理的研究,探讨增加土壤碳库或固碳稳定性的物理、化学和生物技术,并开展土壤固碳能力的量化研究方法。

3.3 区域生物固碳减排模型模拟

生物的固碳减排能力与气候、土壤、水资源等条件紧密相关,在大规模实施生物固碳工程前,急需构建区域尺度的生物固碳模型,量化模拟不同土地资源、生境条件和管理措施下的生物固碳潜力。在对不同生态系统固碳机理和量化研究的基础上,构建区域生物固碳减排模型。特别是针对我们目前生态环境严重退化,形成了大面积的边际土地,急需开展生态恢复重建的现状,结合生物质资源物种筛选及其生物学特性的研究结论,开展生物质能源生产适宜土地资源评价,并结合区域特点进行区划,以形成生物质资源开发的不同区域特色。同时,急需开展区域生物固碳模型,定量分析边际土地的固碳模式和固碳潜力,指导国家科学开展生物固碳工程。

参 考 文 献

- [1] Herzog H, Eliasson B, Kaarstad O. Capturing greenhouse gases. *Scientific American*, 2000, 2: 72—79.
- [2] Lal R. Carbon sequestration. *Philosophical transactions of the Royal Society B*, 2008, 363: 815—830.
- [3] Brand D. Carbon Sequestration in Forests as part of an Emissions Trading Regime. "Emissions Trading" conference, July 12—13, 1999, Sydney, Australia.
- [4] Hopkin M. The carbon game. *Nature*, 2004, 432: 268—270.
- [5] Schroeder P. Carbon storage potential of short rotation tropical tree plantations. *Forest Ecology and Management*, 1992, 50, 31—41.
- [6] Scurlock J M O, Hall D O. The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology*, 1998, 4, 229—233.
- [7] Fang J Y, Chen A P, Peng C H et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292: 2320—2323.
- [8] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义. *植物学报*, 2001, 43(9): 967—973.
- [9] 陈佐忠. 中国典型草原生态系统. 北京: 中国科学出版社, 2000.
- [10] 李凌浩, 刘先华, 陈佐忠. 内蒙古锡林河流域羊草草原生态系统碳素循环研究. *植物学报*, 1998, 40(10): 955—961.
- [11] 郭然, 王效科, 逯非等. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 862—867.
- [12] 杨学明. 利用农业土壤固定有机碳: 缓解全球变暖、提高土壤生产力. *土壤与环境*, 2000, 9(3): 311—315.
- [13] 刘纪远, 王绍强, 陈镜明等. 1990—2000年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化. *地理学报*, 2004, 59(4): 483—496.
- [14] 韩冰, 王效科, 逯非等. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 612—619.
- [15] 张新时, 匡廷云. 优先发展高效光合生产力——建立4亿亩速生人工林与6亿亩高产人工草地绿色工程的建议. 中国科学院院士咨询报告, 2004.
- [16] Fornara D A, Tilman D. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, 2008, 96(2): 314—322.

- [17] 张新时. 关于我国天然草地全面保育与建立六亿亩高产优质人工饲草基地的咨询报告. 中国科学院院士咨询报告, 2005.
- [18] 段雷, 黄永梅(译). 可持续能源的前景. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [19] Lemus R, Lal R. Bioenergy crops and carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005, 24(1): 1—21.
- [20] Davison B. The role of systems biology in bioenergy at ORNL. Oak Ridge National Laboratory Paper, 2007: 1—59.
- [21] 张新时. 关于我国发展四亿亩速生丰产人工林的咨询报告. 中国科学院院士咨询报告, 2005.
- [22] E L-Khativ R T, Hamerlynck E P, Gallardo F et al. Transgenic poplar characterized by ectopic expression of a pine cytosolic glutamine synthetase gene exhibits enhanced tolerance to water stress. *Tree Physiology*, 2004, 24(7): 729—736.
- [23] Paul K L, Jacobsen K, Koul V et al. Predicting growth and sequestration of carbon by plantations growing in regions of low-rainfall in southern Australia. *Forest Ecology and Management*, 2007, 254:205—216.
- [24] Gratani L, Crescente M F, Varone L et al. Growth pattern and photosynthetic activity of different bamboo species growing in the Botanical Garden of Rome. *Flora*, 2008, 203(1): 77—84.
- [25] Derner J D, Schuman G E. Carbon sequestration and rangelands: a synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 62(2): 77—85.
- [26] Inman-Bamber N G, Bonnett G D, Spillman M F et al. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2008, 59(1): 13—26.
- [27] Kucharik C J, Brye K R, Norman J M et al. Measurements and modeling of carbon and nitrogen cycling in agroecosystems of southern Wisconsin: potential for SOC sequestration during the next 50 years. *Ecosystems*, 2001, 4(3): 237—258.
- [28] Kroodsma D A, Field C B. Carbon sequestration in California agriculture, 1980—2000. *Ecological Applications*, 2006, 16(5): 1975—1985.

KEY ISSUES IN STUDYING BIOTIC CARBON SEQUESTRATION IN CHINA

Huang Yongmei¹ Gong Jirui¹ Zhang Xinshi^{1,2}

(1 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875;

2 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Abstract Because of the fact of global change caused by emission of green house gases (GHG), developing technologies to reduce CO₂ emission has attracted world-wide attention. There is a special interest in biotic carbon sequestration, because it is the safest, and most cost-effective. In China, the forest and grassland share a great part of carbon sequestration capability, however their current carbon banks are rather lower than the potential capability. In addition, more carbon could be stored in the arable land from the atmosphere under scientific ecosystem management. Key issues in studying biotic carbon sequestration were summarized by reviewing existing studies, including the transgenic cultivation and specific filtration of high carbon sequestration species, the process and quantitative evaluation of ecosystem carbon sequestration, the development of carbon sequestration model on regional scale, and so on.

Key words GHG emission reduction, sequestration effectiveness, process of biotic sequestration, high carbon sequestration species

·资料·信息·

国家自然科学基金依托单位信息清理与重新注册工作动态

国家自然科学基金委员会计划局及相关部门自2008年6月至7月,对2548个《国家自然科学基金条例》施行前已经是国家自然科学基金依托单位(以下简称依托单位)进行了一次性重新注册的集中受理工作。

针对工作中所出现的问题,计划局及时在网上发布了《关于自然科学基金依托单位重新注册中有

关问题的解答》。

截止到2008年7月5日,共收到纸质依托单位重新注册申请书1681份;电子版申请书1751份;办理了12批共89个单位名称的变更以及500余个单位银行账号及开户行信息的变更。

(计划局综合处)