



WWF

报告

中国

2015

本报告与以下
机构合作完成



中国科学技术信息研究所

中国新型城镇化的 生态足迹影响分析



中国科学技术信息研究所

中国科学技术信息研究所（简称中信所）成立于 1956 年 10 月，是科技部直属的国家级公益类科技信息研究机构。中信所定位于“为科技部等政府部门提供决策支持，为科技创新主体（企业、高等院校、科研院所和科研人员）提供全方位的信息服务；成为全国科技信息领域的共享管理与服务中心、学术中心、人才培养中心和网络技术研究推广中心，成为国家科技创新体系的重要支撑，并在全国科技信息系统中发挥指导和示范作用”。中信所于 20 世纪 90 年代开始研发的中国可持续发展模型，对与中国可持续发展相关的多个问题进行了仿真研究。

中国科学技术信息研究所
北京市复兴路 15 号
邮编：100038
www.istic.ac.cn

世界自然基金会

世界自然基金会（World Wide Fund for Nature）是在全球享有盛誉的、最大的独立性非政府环境保护组织之一，在全世界拥有将近 520 万支持者和一个在 100 多个国家活跃着的网络。WWF 的使命是遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。为此我们致力于：保护世界生物多样性；确保可再生自然资源的可持续利用；推动降低污染和减少浪费性消费的行动。

世界自然基金会（瑞士）北京代表处
北京市劳动人民文化宫东门内文华宫 1609
邮编：100006
www.wwfchina.org

顾问：

李琳、谢高地、张焕波、张娟、徐琳瑜

课题负责人：

佟贺丰、高莹

课题组成员：

陈波平、许光清、杨阳、王静宜、封颖、李潇萌

报告执笔人：

佟贺丰、封颖、李潇萌

目录

前 言	02
报告摘要	03
第一章 城镇化与生态足迹	04
第二章 生态足迹与模型构建	06
第三章 情景模拟与分析	10
第四章 政策建议	20
附录一 参考文献	23
附录二 数据说明	24
附录三 基准情景与绿色情景的指标设置对比	26

前言

当前，中国的城镇化率仍在不断提升，2014年城镇化率已达到54.77%，城市数量近650个，建制镇近2万个。研究显示，目前中国城乡之间的人均“生态足迹”差异非常明显，城镇居民比乡村居民的人均“生态足迹”明显要多，前者是后者的1.4-2.5倍，并具有快速拉大的特征。如何破解城镇化发展进程对生态环境造成的巨大压力，是中国推进新型城镇化亟须考虑的现实问题。

城镇化是一项复杂的系统工程，涉及到生态、经济、社会、文化等各个方面，会对整个中国带来深刻的变化。不同的路径选择，将带来不同的生态影响。本研究通过构建生态足迹的系统动力学模型，从系统思考的视角出发，分析不同城镇化情景对中国生态足迹的影响。

希望本报告能够为中国在新型城镇化进程的政策选择提供启示，为推进生态文明建设有所借鉴。

报告摘要

中国的城镇化应该是一种可持续的城镇化，能够与中国的环境和自然资源条件相适应。

随着中国城镇化进程的推进，巨大的城镇人口规模和日益增长的城乡居民收入将对资源和环境产生巨大的压力。为此，本研究通过构建系统动力学模型，并通过综合和单一情景的分析，就不同的城镇化路径选择进行仿真模拟。

分析显示：

在基准情景下，未来15年中国的生态足迹变化将经历两个不同的阶段。2015-2025年，产业结构仍然为资源消耗型，生态足迹仍在逐步增加，碳足迹占比达到峰值，但逐渐接近生态足迹的峰值。2026-2030年，城镇化转向以集约的方式发展，使得人均生态足迹的增值效应逐渐减弱，在达到峰值后开始下降。中国的人均生态足迹将在2029年达到峰值，人均2.9全球公顷。

从生态足迹各组分的增长速度看，草地和林地占用的增长速度最快。草地足迹的快速增长，主要源自城乡居民对牛奶和牛羊肉的需求在未来的巨大增长空间。林地生态足迹的增长，源于中国城镇化中，城镇建筑增加带来的木材、家具需求和纸及纸制品需求。

中国的生态超载情况有所缓解。人均生态赤字在2029年达到2.11全球公顷后开始下降。生态赤字最严重时，中国需要3.66倍的生物供给能力来满足自身的消费需求。中国资源的经济产出效率在稳步提高。从1990年到2030年，中国的万元GDP（2005年不变价）生态足迹在逐步减小。

快速增长的居民收入，将带来难以抑制的消费需求升级。只有在绿色消费的模式下，中国未来消费增长带来的环境压力才能有所控制。

在绿色情景下，中国在2026年就可以达到人均生态足迹的峰值。绿色情景可以带来更高的生物承载力，更少的生态足迹，具有更好的可持续性。绿色情景具有更高的资源产出效率。同时，走更绿色的发展道路，会带来更高的绿色投资需求。

在绿色情景中，加强绿色建筑建设和既有建筑的节能改造、建设减少小汽车出行的多方式绿色交通体系、注重水泥等传统产业的绿色转型、加强土地的精细化管理、建立节约的生产生活模式等措施，都可以有效降低人均生态足迹。

针对以上分析结果，我们提出应以系统的视角来看待城镇化与生态足迹的关系，采用联动的决策框架，促进多部门协调共进，形成一套能够有效进行有效城市可持续发展管理的制度、激励政策和工具。

第一章 城镇化与生态足迹

对于城镇化与生态足迹的关系，国内外学者已经有过多方面的研究。城镇化进程中，人口结构、生活方式等转变，影响人类活动的生态负荷；土地利用方式的变化，改变了自然系统的承载能力。这些变化就会表现为生态足迹的变化 (Haberl, Erb & Krausmann, 2001; 赵卫等, 2008)。

城镇化进程对生态足迹的影响，在不同的测度体系下会有所不同，城镇化发展的不同阶段对相应阶段内生态足迹的影响具有不同的特点。例如，低密度人口的小城市比高密度的城市中心地区的人均生态足迹要高；此外，生态足迹会随着收入增加而增长，随着就业率降低而减少 (Ivan & Anna, 2005)。针对挪威的国家案例研究发现，紧凑型的城市结构会导致家庭生态足迹的减少，因为这样的城市结构缩短了家庭与公共和私人机构间的距离，从而减少交通运输足迹；其次紧凑型的住房结构减少了供暖所需的能源和其他技术配备 (Karl & Erling,

2003)。

在中国，碳排放、城镇化和个人富裕程度是影响生态足迹的主要因素 (WWF, 2012)。其中，人均“生态足迹”与城镇化

水平直接相关 (图 1-1)。原因在于城乡居民收入差距、消费差距和能源利用结构差异等方面的共同作用。

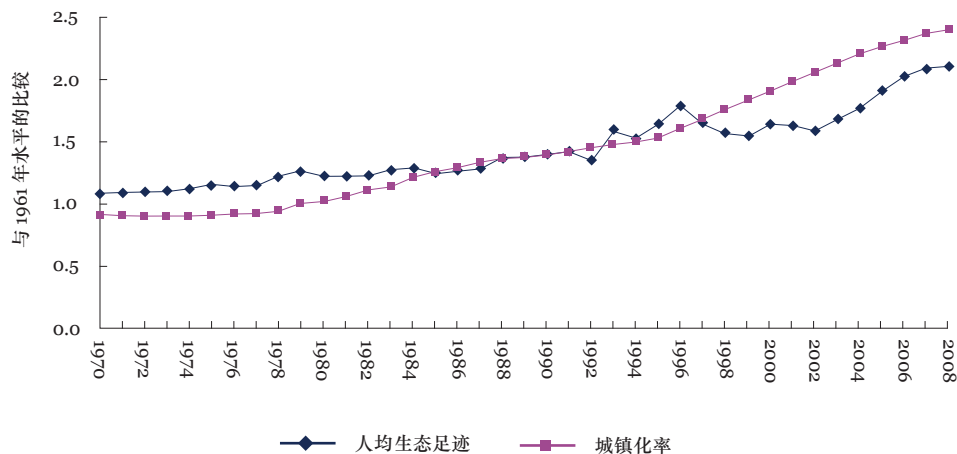


图 1-1 中国的人均生态足迹与城镇化率 (1970-2008)

城镇化对中国生态足迹的驱动作用，主要缘于消费规模扩大与消费模式改变(WWF, 2014)。1980年到2014年，城镇居民消费占全国消费总量的比重从40%上升到80%以上。城乡生态足迹差异中最显著的是碳足迹差异。

国内学者对中国不同地区城镇化对生态足迹的影响进行了很多案例研究,如以西安市、吉林省、深圳市等为研究对象。

以西安市为对象的研究,将城镇化的发展分为人口城镇化、经济城镇化、生活方式城镇化和地域景观城镇化四个方面。该研究以1999年到2003年西安市数据为基础,测算出西安市在上述五年的城镇化发展水平和年度生态足迹变化情况(李晋玲等,2007)。该研究表明,经济城镇化水平对人均生态足迹具有最为强烈的影响,这说明随着经济水平、人均收入与消费水平的提高,人均生态占用土地也会相应地提高。

以吉林省为对象的研究表明,生态足迹的总量水平、人均水平都与城镇化率呈显著相关,即生态足迹随城镇化率的增长而增大(赵卫等,2008)。此外,研究还得出各种土地类型生态足迹与城镇化率的密切程度,依次为:建设用地>草地>碳吸收用地>耕地>林地>渔业用地。即城镇化率对建设用地、草地和碳吸收用地的影响较显著,对耕地、林地和渔业用地生态足迹的影响不显著。

以深圳市的交通状况为对象的研究表明,影响交通生态足迹的关键因素是能源消费模式(能源消费量、能源结构)、机动化规模、载客量、行驶里程(平均里程、空间可达性等)、燃油品质等,这些变量易受新技术和政策等外部因素的影响而改变(丁宇,2009)。

城镇化在不同发展阶段具有不同特征,导致对生态足迹的影响也会随之变化(邵磊,2014)。在初期阶段,由于城镇化发展相对落后,社会经济水平和结构并未发生太大变化,对生态足迹只产生较小的增值效应,占

用的生态生产性土地以耕地和牧草地为主。中期阶段,产业结构逐步转变为资源消耗型,生态足迹逐步增加,逐渐接近生物承载力的阈值,生态足迹中碳吸收用地和建设用地的比例上升。后期阶段由于城镇化开始注重以集约方式进行发展,从而使生态足迹的增值效应逐渐减弱,在上升到阈值后逐渐下降,生态生产性土地依然以碳吸收用地和建设用地为主。终期阶段,城镇化实现了集约、智能、低碳、绿色的发展,使生态足迹进一步降低,占有的各类生态生产性土地达到均衡状态。

从以上研究进展可以看出,多数研究显示城镇化进程会带来生态足迹的增长,其中,有些生态足迹组分随城镇化进程变化明显,有些则不然。也有学者提出,城镇化并不必然带来生态足迹的增加,甚至可能降低生态压力,这主要取决于城镇化发展的路径选择。

第二章 生态足迹与模型构建

2.1 生态足迹概念简介

生态足迹是衡量人类对地球可再生自然资源需求的工具,通过计算满足人类消费所需的生物生产性土地(含水域)面积来表示。也就是说,生态足迹是指维持一个人、地区、国家或全球的消费所需要的或者能够容纳人类所排放的废弃物的,具有生物生产力的地域面积。将生态足迹与地球的资源可再生能力(即生物承载力)相对比,可以追踪人类对于生物圈的需求。

生态足迹作为一种衡量自然资源利用持续的方法,在国内外已得到了广泛的认可和应用。生态足迹将一个地区或国家的资源、能源消费同自己所拥有的生态能力进行比较,能判断一个国家或地区的发展是否处于生物承载力的范围内,是否具有安全性。生态足迹广泛地被认为是一种既简洁又非常实用的政策设计、政策规划与公众教育的辅助工具。

根据生态足迹基本模型,国家生态足迹

基于国家净消费(生产+进口-出口)进行核算。因此,人均生态足迹可以用如下公式表示。

$$A_i = (P_i + I_i - E_i) / (Y_i * n)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

在公式中, A_i 代表第*i*种消费项目折算的人均生态足迹分量($\text{hm}^2/\text{人}$), Y_i 是第*i*种消费项目的全球平均产量(kg/hm^2), P_i 是第*i*种消费项目的国内年生产量(kg), I_i 是第*i*种消费项目的年进口量(kg), E_i 是第*i*种消费项目的年出口量(kg), n 为人口数。

同时,人均生物承载力的计算公式如下:

$$C_j = A_j \times R_j \times Y_j$$

$$(j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

在公式中, C_j 代表第*j*种土地的人均生物承载力, A_j 是第*j*种土地的面积, R_j 是第*j*种

土地的均衡因子, Y_j 是第*j*种土地产量因子(不同国家或地区生产力水平不同,因此引入一个当地产出因子,它是某一地区单位面积土地生产能力与全球平均水平的比值)。

在全球范围,当人均生态足迹高于人均生物承载力,即为生态超载。在国家尺度,当生态足迹超出其本地生物承载力,则称为生态赤字,即该国的自然资源无法满足当地的消费需求,需要进口其他地区或透支未来的自然资本以满足本国的消费需求。

生态足迹与生物承载力核算包括六类土地利用:耕地、草地、林地、渔业用地(生产性水域)、碳足迹(即碳吸收用地)与建设用地。除了碳吸收用地外,每一种土地利用类型都有一种相对应的生物承载力组分与之呼应。生态足迹表示人类对上述类型土地提供的生态产品与生态服务的需求量,而生物承载力组分表示该区域提供各类土地的数量。

生态足迹组成

人类的每一项活动都利用着生物生产性土地（包括用于渔业生产的水域）。生态足迹就是人类利用的所有生物生产性土地的总和，无论它们的位置在哪里。生态足迹的组分包括：耕地、草地、林地、渔业用地、建设用地和碳足迹（即碳吸收用地）。

数据来源：全球足迹网络，2011

碳足迹

表示扣除海洋碳吸收贡献后，吸收化石燃料燃烧排放二氧化碳所需的森林面积。



耕地

表示用来种植人类消费的食物和纤维，以及生产牲畜饲料、油料、橡胶等农产品所需的农田面积。



草地

表示支持肉、奶、毛、皮畜牧产品生产所需的草地面积。



林地

表示支持木材、纸浆、薪柴等林木产品生产所需的林地面积。



建设用地

表示交通、住房、工业构筑物、水电站水库等人类基础设施所占用的土地面积。



渔业用地

根据渔获数据推算的支持捕捞淡水与海水产品生产所需初级生产量来计算。



在本研究中，耕地产品主要包括谷物、大豆、蔬菜及其他产品。林地产品主要包括木材、纸浆和薪柴等。草地产品主要包括牛奶、牛肉、羊肉等。建设用地主要包括建筑用地（住宅和公共建筑）、工业用地、公路铁路用地、水利项目用地等。碳吸收用地涉及的能源包括煤、石油、天然气、电力（也将其转化为一次能源）。渔业用地根据渔获数据推算支持捕捞淡水和海水产品生产所需初级生产量来计算。

本研究以 1990 年的各组分人均生态足迹为基年数据，在模型中模拟影响生态足迹的基本因素，计算出 $t+1$ 年的生态足迹，即

$$EF_{t+1} = EF_{t0} \times [(\text{消费总量}_{t+1} / \text{全球平均单产}_{t+1}) / \text{总人口}_{t+1}] / [(\text{消费总量}_{t0} / \text{全球平均单产}_{t0}) / \text{总人口}_{t0}]$$



© Susetta Bozzi/WWF China

2.2 模型简介

现有的生态足迹相关研究大多是基于静态的分析，即利用历史数据推算当前的生态足迹，无法反应未来的变化趋势。对于决策者，面向未来的分析更有政策参考价值。并且决策者需要知道采取不同的政策取向，会对未来产生什么样的影响。

本研究建成的系统动力学模型将经济、社会、环境和资源系统联系起来，消费模式可以通过模型进行计算（见图 2-1）。模型中考虑了垃圾的协同处理等消纳废物的方式。模型是动态的，其中任何一个政策的变动，都会对未来产生影响。

中国可持续发展模型以系统动力学为理论基础，在综合其他优秀模型的基础上，将经济、社会、环境和资源系统整合到一个框架之内。模型主要用于分析宏观层面的中长期发展问题。模型的基准情景可以展望一个国家 / 地区未来可能遇到的主要发展问题。更重要的是，可以在模型中改变某个或某几个关键政策变量（部分政策变量可见附表 3-1），让决策者了解不同政策选择或外部条件的变化会对将来产生什么样的影响。例如，水资源的缺乏会影响粮食单产，耕地的生物产出能力下降，会对生物承载力产生直接影响；粮食单产的下降会影响国内生产总值，进而影响到财政收入、家庭消费和储蓄以及国际贸易，这些又会对生态足迹产生间接影响。模型的结构、假设、公式和数据要求都很透明，因此便于利益相关者参与，共同提出假设，改变政策变量，形成新的情景并开展政策讨论。

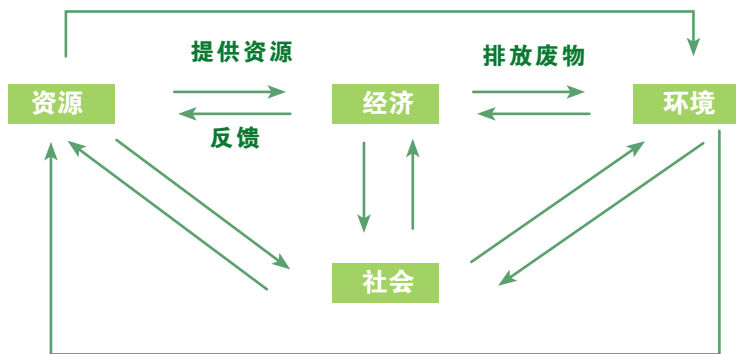


图 2-1 模型中经济、环境、社会与资源的关系

第三章 情景模拟与分析

3.1 模型的基准情景介绍

城镇化的发展进程有多种路径，模型的情景只是呈现可能的方案。改变模型中的任何一个政策变量，都可以进行一次新的模拟，生成一个新的情景。模型的基准情景参考了课题组为联合国环境署构建的中国绿色经济模型 (UNEP, 2014) 的基准情景，以及《国家新型城镇化规划 (2014-2020 年)》中关于 2020 年新型城镇化主要指标的设置，并在征求多位专家意见的基础上将这些主要指标值延伸到 2030 年。

绿色是新型城镇化道路的关键词之一。《国家新型城镇化规划 (2014 - 2020 年)》的指导思想之一就是“生态文明，绿色低碳”，要将生态文明理念全面融入城市发展，构建绿色生产方式、生活方式和消费模式。在规划中，针对城镇可再生能源消费比重、绿色建筑占新建建筑比重、城市建成区绿地率、百万以上人口城市公共交通占机动化出行比

例等主要的绿色指标都设置了具体的目标值。模型采用了这些相应的指标。

数据显示，中国的生态足迹对城镇化水平的依赖十分明显，但这种依赖在 2029 年后逐步脱钩。国家层面的时间序列数据显示，

在 2029 年以前城镇化水平提高，人均生态足迹也提高。到 2029 年以后，城镇化率还在提高，但人均生态足迹已经开始下降（见图 3-1）。2010 年以后，中国的城镇化速度明显放缓，而且生态足迹增长的速度放缓更加明显。

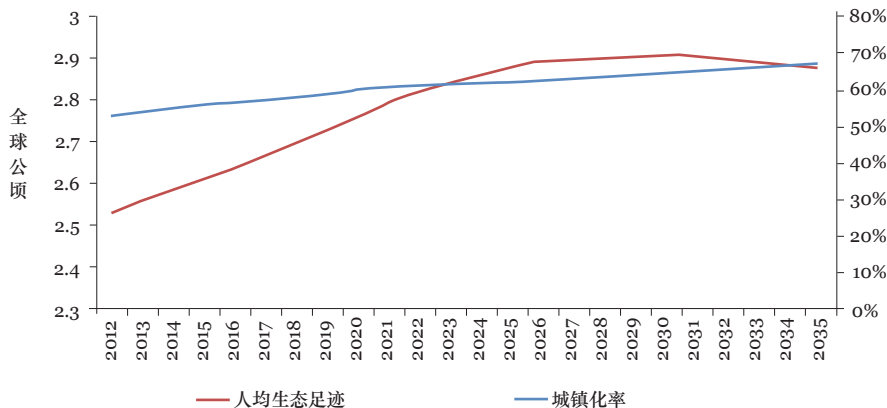


图 3-1 中国的人均生态足迹与城镇化率 (2012-2035)

2020年和2030年中国的经济、社会、环境的模拟状态。中国人口数量在2030年前还将保持持续的增长，但人口老龄化程度越来越严重，2030年60岁以上老年人口比例将达到24.2%。中国的经济还将保持适度增长，2020-2030年还可以保持5%左右的年均增长率，第三产业比例持续上升，2030年将达到64.5%。中国的一次能源消费还将持续增长，但因为可再生能源比例的持续上升，二氧化碳排放将迎来峰值（表3-1）。

快速增长的居民收入，将带来难以抑制的消费需求升级。在基准情景中，即使使用不变价，2030年的城乡居民家庭人均收入也将是2012年的3倍多（见图3-2）。随着城乡收入差距的缩小，农村的人均收入水平增长更快。如果没有必要的政策干预，中国未来消费增长和消费模式改变带来的环境压力将持续加大。以汽车消费为例，2030年中国的千人私人小汽车拥有量将达到118辆，如果不能做好交通规划，提升公共交通和非机动车出行的比例，中国的交通能耗将大幅上升。

¹ 本研究构建的模型中，未包括薪柴等传统可再生能源，故数值较真实值略低。

指标	单位	2020年	2030年
人口总数	亿人	14.1	14.5
60岁以上人口比例	%	17.8	24.2
国内生产总值	万亿(2000年不变价)	68.6	112
第三产业比例	%	54.5	64.5
一次能源消费总量	亿吨标准煤	47.7	56.9
可再生能源比例 ¹	%	11.4	13.7

表3-1 2020年和2030年部分经济、社会和环境指标模拟值

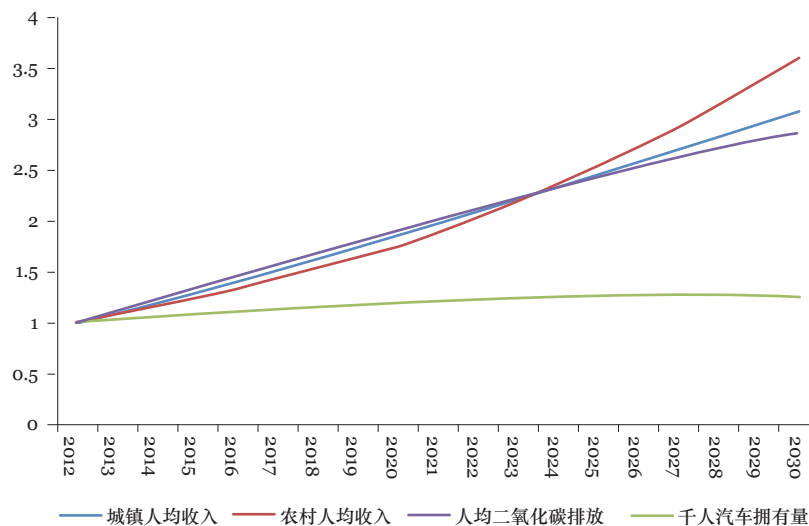


图3-2 部分指标与2012年水平的比值 (2012-2030)

中国的人均生态足迹将在 2029 年达到峰值，人均 2.9 全球公顷（图 3-3）。碳足迹是生态足迹变化的最主要因素。1961 年至 2008 年，全球碳足迹占生态足迹的比例增长了 28.4%，从 36% 上升到 55%。在模型中，中国的二氧化碳排放²在 2027 年达到了排放峰值，人均碳排放将在 2026 年达到峰值。中国的人均碳足迹在 2025 年达到峰值后开始下降，此时碳足迹占生态足迹的比例为 50%。

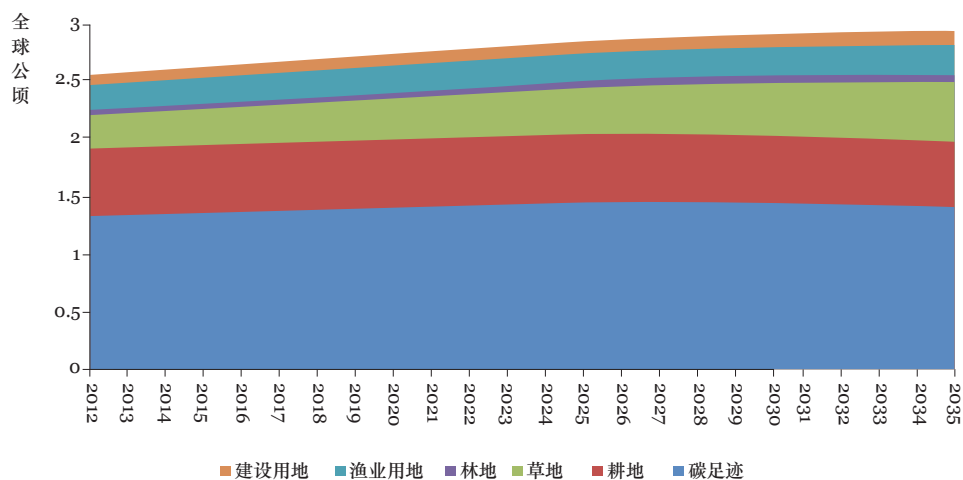


图 3-3 中国生态足迹各组分变化情况 (2012-2035)

² 包括化石能源与水泥产业的二氧化碳排放。

从生态足迹各组分的增长速度看，草地和林地的增长速度最快。2015-2030年，草地的生态足迹增长55.6%，林地的生态足迹增长41.8%。草地足迹的快速增长，主要源自城乡居民对牛奶和牛羊肉的需求在未来的巨大增长空间。林地生态足迹的增长，源于中国快速增长的木材和纸浆需求。2020年中国的木材需求（含纸浆）总计约8.19亿立方米，2030年则将达到9.79亿立方米。其中增长最快的是纸及纸板制品和家具的木材需求，成为木材消耗最主要的部门。来自建筑、装修和薪柴的木材需求，在2020年以后，随着建筑面积增长的放慢，都有所下降。耕地生态足迹略有下降，一方面是中国对谷物、大豆、蔬菜的需求增长放缓，另一方面全球的耕地产量也在稳步提升。

2029年以后中国的生态超载情况将有所缓解。人均生物承载力在人口持续增长的情况下略有下降，人均生态赤字在2029年达到2.11全球公顷后开始下降（图3-4）。生态赤字最严重时，中国需要3.66倍的生物供给能力来满足自身的消费需求（图3-4）。

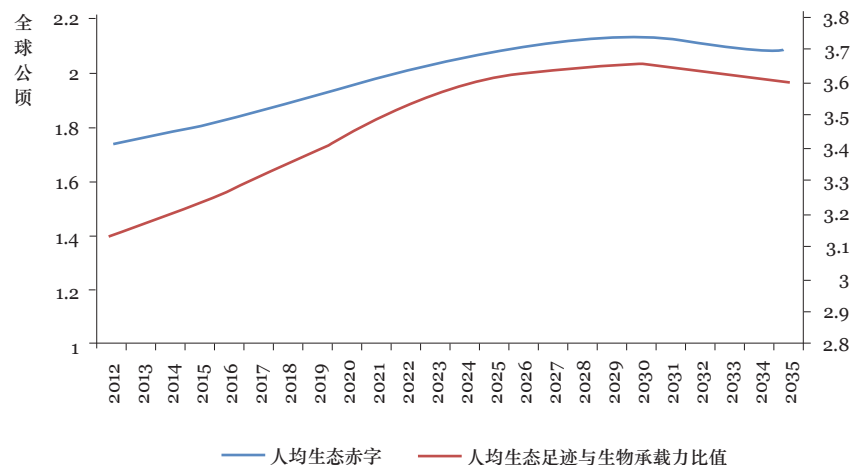


图 3-4 中国人均生态赤字及生态足迹与生物承载力的比率 (2012-2035)

除林地以外，中国的所有土地类型都已经出现生态赤字。从各组分的生态赤字看，碳吸收用地的赤字情况最严重，也是导致中国生态赤字的主要原因。碳吸收用地生态赤字在2029年以后将有所缓解。耕地的生态赤字整体处于缓解状态，赤字逐步减小。但草地、建设用地和渔业用地的生态赤字还将继续上升。林业用地可以保持较为平稳的生态盈余，这主要归功于中国大面积的植树造林和退耕还林政策（图 3-5）。

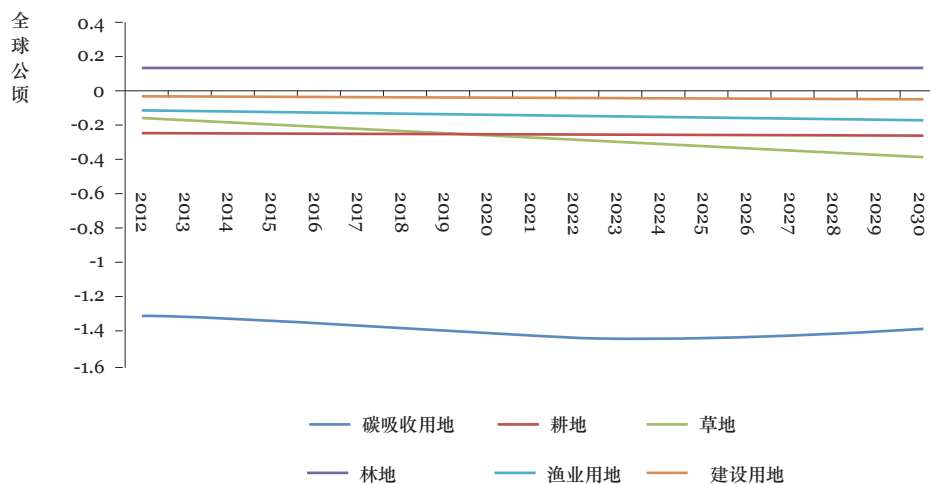


图 3-5 各组分人均生态赤字的变化情况 (2012-2030)

中国资源的经济产出效率在稳步提高。从1990年到2030年，中国的万元GDP（2005年不变价）生态足迹在逐步减小，2020年达到0.57全球公顷/万元，2030年持续下降到0.38全球公顷/万元。中国快速增长的人均GDP并没有带来同等剧烈的生态足迹增加（图3-6）。导致这一现象的一个重要原因是低资源密集型生产活动的增加，这与中国政府近年来大力度的节能减排与绿色转型政策密不可分。

从以上分析可以看出，未来15年，中国的生态足迹变化将经历两个不同的阶段。2015-2025年，产业结构仍然为资源消耗型，生态足迹仍在逐步增加，碳足迹占比达到峰值，但逐渐接近生态足迹的峰值。2026-2030年，城镇化转向以集约的方式发展，使得生态足迹的增值效应逐渐减弱，在达到峰值后逐渐下降。

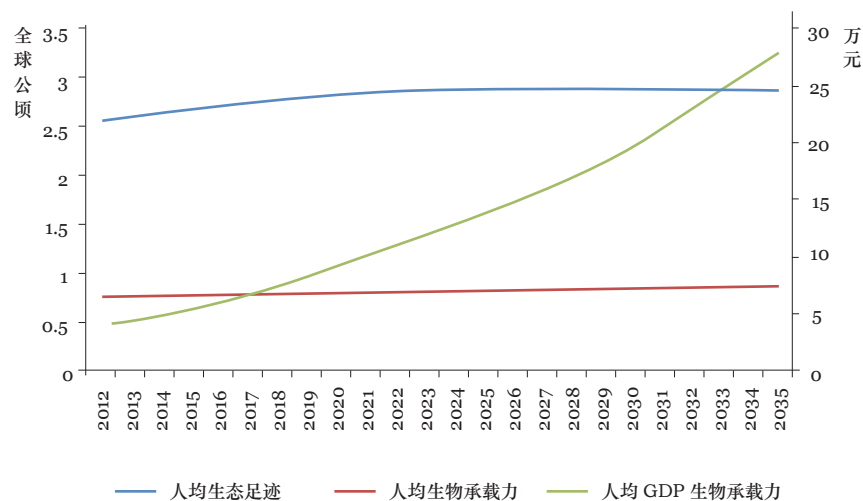


图 3-6 中国的人均生态足迹、生物承载力和 GDP (2012-2035)

3.2 绿色情景及与基准情景的比较分析

在基准情景的基础上，模型通过对农业、林业、建筑、水泥、交通、可再生能源和核电等主要绿色产业和行业从绿色生产、绿色消费和绿色投资的角度进行模拟，分析走更加绿色的发展道路，对中国的生态足迹会有什么样的影响，并且会带来多大规模的绿色投资需求（基准情景与绿色情景的指标具体设置对比见附录3）。

绿色情景可以带来更高的生物承载力，消费更少的生态足迹，具有更好的可持续性（图3-7）。基准情景和绿色情景的人均生态足迹差距在0.09-0.2全球公顷。随着时间的推移，绿色情景的资源效率的提高越发明显。生态足迹的减少，主要源自碳足迹和林地足迹的减小，碳足迹占生态足迹的比例，在2030年将下降到43.8%。在绿色情景下，中国2025年即可达到碳排放的峰值。在绿色情景下，中国在2026年就可以达到人均生态足迹的峰值，人均2.7全球公顷。

绿色情景下的生物承载力则改变了逐渐减小的趋势，2020年以后逐步增长，主要源

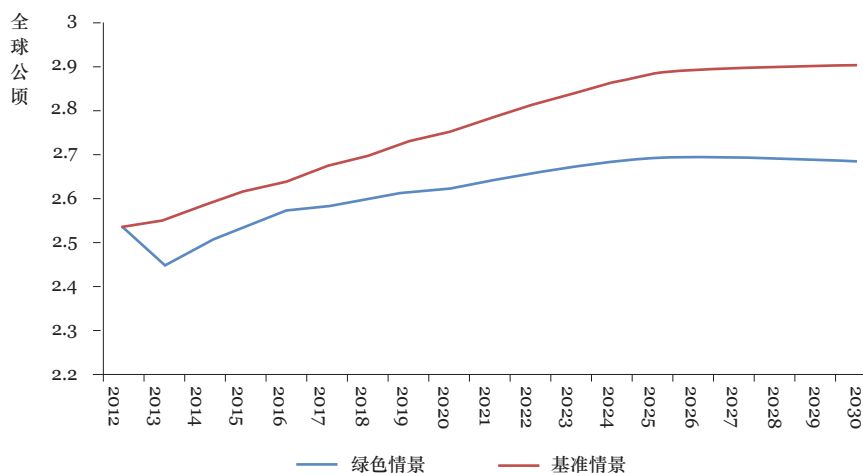


图 3-7 2 个情景下中国的人均生态足迹 (2012-2030)

自林地和耕地生物承载力的增长。更大的森林面积意味着林地生物承载力的增长。耕地的面积虽然没有变化，但水资源利用效率的提高，促进了亩产的上升，增进了耕地的生物承载力。

绿色情景具有更高的资源产出效率。从绿色情景下万元 GDP 的生态足迹消耗明显低于基准情景（图 3-8）。这说明走更加绿色的发展道路，中国可以用同样的资源消耗支撑更高的经济发展速度。

走更绿色的发展道路，带来更高的绿色投资需求（图 3-9）。2015-2030 年，绿色情景的累计投资需求将比基准情景高出 1.8 万亿元。特别是在启动期，这种投资差异更加明显。所以，如果要选择走更加绿色的发展道路，需要政府积极发挥政府投资的杠杆作用，撬动更多的社会资本投资于绿色产业与技术。

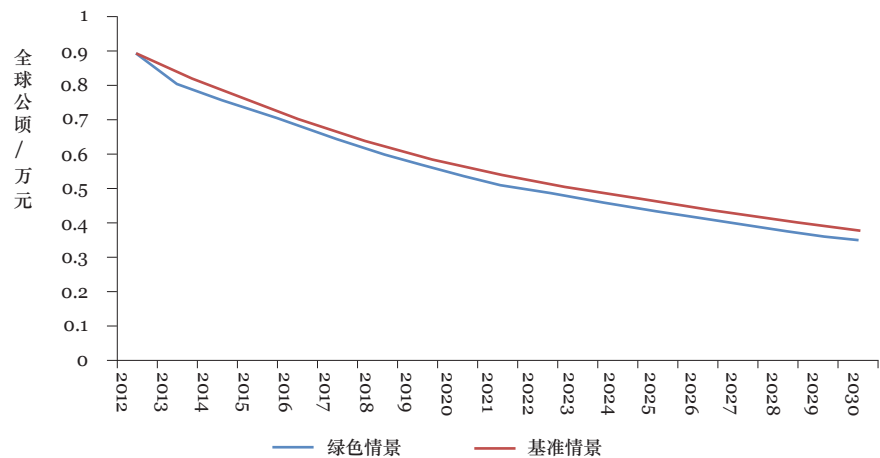


图 3-8 2 个情景万元 GDP 生态足迹的变化

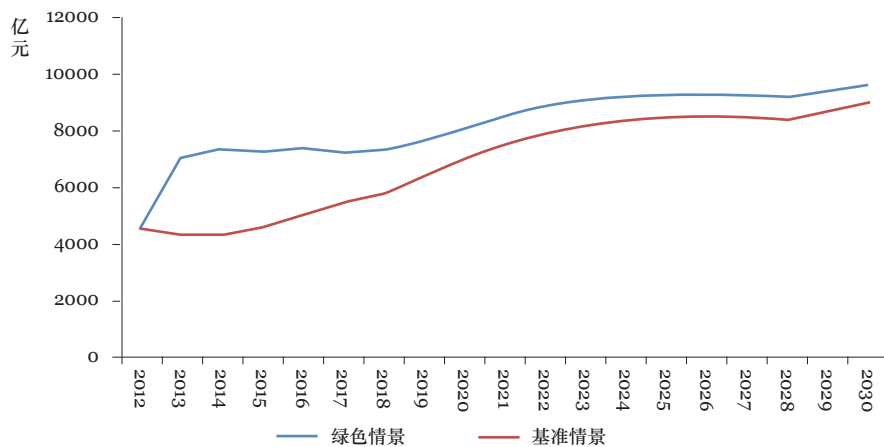


图 3-9 2 个情景下的绿色投资需求情况对比

3.3 单情景模拟分析

提高城镇化率将刺激生态足迹的增长。在模型中，如果将2020年和2030年的城镇化率都提高一个百分点（2020年从60%提高到61%；2030年从65%提高到66%），则年均生态足迹上升0.03-0.05全球公顷，这种增长效应在2020年前后最为明显，2025年以后同步增长的效应则逐渐下降（图3-10）。

加强对农村建设用地的精细化利用，可以减少生态足迹。2000—2011年，中国农村人口减少1.33亿人，农村居民点用地却增加了3045万亩（《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》，2014）。这主要是因为虽然很多农村人口进城工作，但仍然回到农村盖房。如果将这种情况减少一半，则人均生态足迹可以下降0.005-0.01全球公顷。

非户籍常住人口收入水平和生活方式的市民化将造成生态足迹的上升。我国现在城镇中有大量的非户籍常住人口（图3-11），这些人口在收入水平、生活方式和消费模式方面与户籍人口存在着巨大的差异（WWF, 2014）。要促进约1亿农业转移人口落户城

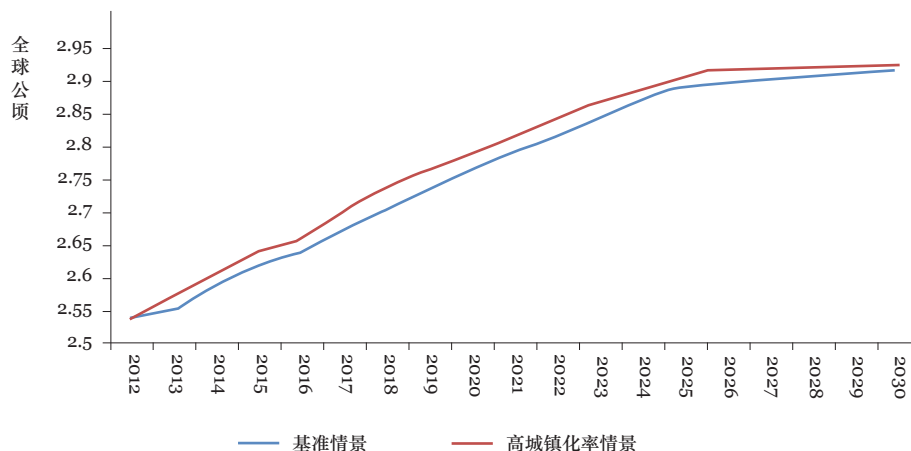


图 3-10 高城镇化率情景与基准情景的人均生态足迹 (2012 - 2030)

镇，必须要实现转移人口的市民化，让他们从“城市过客”变为“城市主人”。但这种变化，也带来资源环境需求的变化。这里以北京市的交通为例，实证研究发现，北京非户籍常住人口乘坐公共交通的比例高于户籍人口，更积极地践行了绿色出行，而且非户籍常住人口上下班通勤距离更短（卢新新，

2013）。如果在模型中将非户籍常住人口的年出行距离与户籍人口一致，2015-2030年私人小汽车的累计汽油消耗就将增加3亿吨，人均生态足迹就将上升0.007-0.02全球公顷（图3-12）。

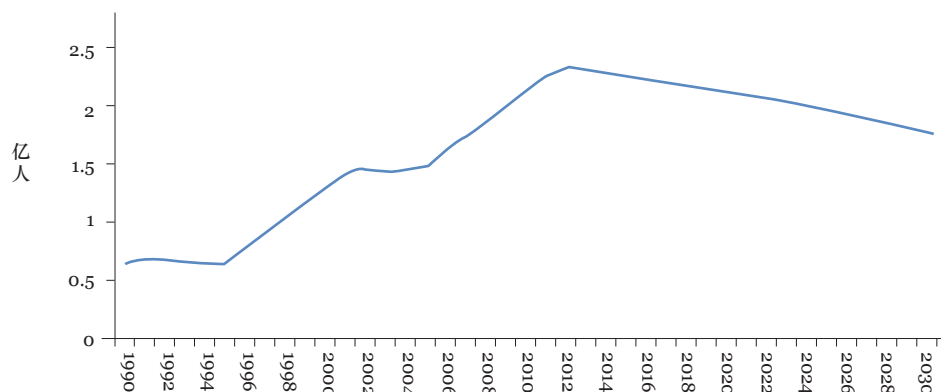


图 3-11 城镇中的非户籍常住人口数量 (1990-2030)

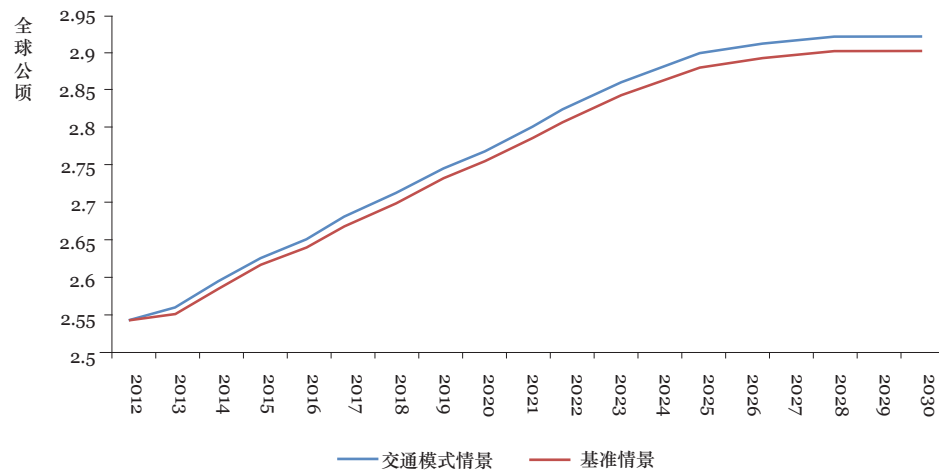


图 3-12 非户籍常住人口交通模式改变对人均生态足迹的影响 (2012-2030)

新技术的应用可以有效减少生态足迹的产生。以私人小汽车的单车载客量为例，中国私人小汽车的单车载客量一直较低，据测算，北京小客车平均载客量只有 1.3 人，大多数都是车主一人乘坐，非常浪费（北京城市系统工程研究中心，2014）。各类专车、快车、顺风车等互联网用车方式的出现，对改变这一状态提供了潜在机会。如果全国私人小汽车单车载客量从 1.2 人提高到 1.5 人，则 2015-2030 年私人小汽车的累计汽油消耗就将减少 5 亿吨，人均生态足迹下降 0.01-0.02 全球公顷。

生活方式小的改变，就可以对生态足迹产生一定影响。中国北方地区供热时一般要求室内温度不低于 18℃，但大多数地区在冬季供热的室内温度均高于 18 度，在 20℃ 以上（清华大学建筑节能研究中心，2012）。如果将室内温度严格控制在 18 度，则人均生态足迹就能够下降 0.005-0.01 全球公顷。如果中国的谷物综合浪费率下降 2 个百分点，2012-2030 年将累计节约粮食 2.9 亿吨，人均生态足迹下降约 0.005 全球公顷。

第四章 政策建议

生态足迹与城镇化密切相关，如果不能很好地认识两者关系，将进一步加剧中国的生态环境压力。中国严峻的生态赤字压力，要求中国必须走更加绿色的城镇化道路。当生态赤字最严重时，中国需要 3.66 倍的生态供给能力来满足自身的消费需求。在快速城市化进程中，如果中国不能走一条更加绿色的发展道路，在城市化进程中进行的基础设施建设，将把中国锁定在高碳和高消耗状态。所以中国必须抓住城市化进程中的机遇，避免城市化的“锁定效应”。走更加绿色的发展道路，可以有效降低生态足迹。

为促进生态文明理念在城镇化进程中的落实，实现可持续发展，提出以下几个方面的建议。

1 创新财税体制，拓展投资渠道，增加绿色投资来源。走更加绿色的城镇化道路，就对绿色投资提出了更高的要求。在基准情景下，农业、林业、建筑、水泥、可再生能

源和核电等、城市生活垃圾处理等主要绿色产业和行业的绿色投资需求约 11.8 万亿，绿色情景比基准情景又高出 1.8 万亿。政府提供的财政补贴、税收减免等政策具有很强的示范作用和撬动效应，应该充分利用绿色投资与金融政策，发挥私营部门的作用，利用它们大量的知识、资产和经验，调动它们参与关于目标和行动的对话，让政府行动产生显著的、有利于国家的乘数效应。

2 通过绿色建筑建设和既有建筑的节能改造降低生态足迹。根据先行城镇化国家的经验，建筑和交通将逐渐成为城市最重要的能源消耗来源。中国首先是需要控制人均建筑面积的增长。然后应尽快将节能 65% 的建筑在新建建筑中的比例提升到 50% 或更高，避免刚刚建成的建筑又面临节能改造。最后要抓紧开始既有建筑节能示范改造，在基准情景下，到 2030 年仍有 20% 以上的节能 30% 的建筑，这需要及时探索激励政策，总结技术经验。只有既有建筑节能改造取得成

效，全国建筑能耗才能大幅下降。

3 建设减少小汽车出行的多方式绿色交通体系。经验表明，改变人的出行行为习惯非常困难且耗时长久，中国应在城镇化进程中交通行为塑造的关键时期大力提升步行、自行车和公共交通的服务品质。通过持续的基础设施投入和出行引导，让步行、自行车和公共交通出行量稳步增长，加强不同交通方式之间的衔接整合，为市民出行提供更多元化的选择。

4 充分利用大数据、互联网+ 等新技术，让绿色技术对新型城镇化产生深刻的影响。新技术应用一方面可以提高产业的资源效率，有效降低碳排放。另一方面，可以对城镇居民的生活方式产生巨大影响，使得城镇化以更加集约的方式进行。新技术对私家车单车载客量的一点点提升，在全国范围内就可以节约大量的汽油，降低生态足迹。

5 注重传统产业的绿色转型。水泥、钢铁等传统产业的绿色转型，是解决过去一个时期经济社会快速发展带来的存量和累积性的生态环境问题，应对未来城镇化可能带来的新的环境风险的必要选择，有利于逐步解决一些历史性和积累性的生态环境问题。对水泥产业来说，最重要的还是要降低总量，2014 年中国水泥产量近 25 亿吨，占全球产量接近 60%。还应注意传统产业转型带来的就业压力，因水泥、钢铁这些传统产业转型的一个重要方向就是要提高劳动生产率，必然带来大量的失业人口。

6 打破部门利益，加强对土地红线、水资源红线和煤炭总量的控制。这些红线和总量控制涉及农、林、水、土等多部门利益，在红线的划定和执行过程中要打破行政边界制约，联合进行监督检查。要建立政府主导、多部门协作的保护管理机制，加大相关政策的监督力度。

7 加强土地的精细化管理，促进空间的高效集约利用。2014 年 7 月住建部和国土部共同确定了全国 14 个城市开展划定城市开发

边界试点工作。城市边界的无限制扩大，将带来人均机动出行距离的大幅增长。“城镇开发边界”将有效约束城镇建设用地粗放增长，应尽快总结经验在全国范围内推广示范。同时，要加强对农村居民点用地的精细化控制，不能让农村人口在减少，但居民点用地仍在粗放增长。

巴黎大区 2030 规划的综合性策略

巴黎大区在编制 2030 年规划时，为了应对保证巴黎的国际地位、修正巴黎大区社会、经济和空间不平等，协调区域交通，保护开放空间和农地、尊重社会多样性和混合的土地利用，防止环境污染等三大挑战，基于可持续发展的理念，提出了涉及气候、能源、人口、经济、社会方面的综合性策略。其整体的空间战略导向是营造一个紧凑、多核和绿色的大都市区。

为应对三大挑战，又提出了支撑总体理念的三个支柱：：连结与组织、集聚与平衡、保护与增值。连结与组织，主要对应于交通规划策略，旨在构建巴黎大区更外向、更紧密连接、更可持续的交通系统。集聚与平衡，主要应对

进一步城市化的需求以及住房紧缺问题，旨在构建一个多中心的大都市区结构以满足居民住所与工作地接近的需求，同时防止城市蔓延。保护与增值，主要针对自然和开发空间的保护以及城市蔓延的控制，旨在重塑城市和自然的关系。

规划提出的“实施计划和工具”文件在公共政策、治理结构、项目、监测和评价等方面为政策实施者提供了强有力的指导，能够帮助规划策略和抽象目标真正意义上在地落实。且在充分整合和参考相关公共政策文件基础上，确定了具体的项目清单、实施主体和可以遵循的流程。

来源：上海城市规划设计研究院
微信公众号：全心全意

8 引导绿色消费，加强公众参与，通过一揽子政策引导公众绿色消费。随着人均收入水平的提升，中国公众的消费水平必然会水涨船高。中国要提前引导绿色消费，使之成为生产者、流通企业、消费者的共同行为。信息普及和教育培训是提高公众绿色消费和积极参与意识的基础性工作。还应配以一定的鼓励性政策和禁止性政策，“胡萝卜”与“大棒”同时使用，促进绿色消费社会氛围的形成。

9 让公众参与到城镇化的相关规划与讨论。公众的广泛参与不仅有助于规划的科学决策与有效实施，还可以促进公众观念的转变和绿色生活、生产方式的普及，营造依据规划有序建设、健康发展的可持续城市环境。

10 发挥优良传统，建立节约的生产生活模式。据国家粮食局的调查测算，粮食产后，储藏、运输、加工等环节损失浪费总量达 700 亿斤以上。而餐桌浪费的粮食保守估计约 500 亿斤（陈锡文，2014）。目前中国的森林资源出材率和木材综合利用率分别为 61% 和 63%，而世界林业发达国家达到了 80% 以上（谢佳利等，2011）。这些都是公众消费和工业生产可以加强节约、反对浪费的发力点。

温哥华降低生态足迹中的公众参与

温哥华被公认为加拿大乃至整个北美地区在可持续发展领域表现最突出的城市，但同时也面临着汽车导向的城市蔓延和城市发展过程中资源消耗过多的挑战。温哥华政府在 2009 年出台了《温哥华 2020：一个明亮绿色的未来》（Vancouver 2020: A Bright Green Future）报告，致力于将温哥华打造成为世界上最为绿色环保、健康宜居的生态城市。提出了关于生态足迹的政策目标与行动方案。

温哥华市以实现“一个地球”的生态足迹（"one-planet" ecological footprint）为最终目标，首要完成的是在 2020 年时，城市生态足迹相比 2006 年减少 33%。为了实现这一目标，温哥华市专注于调动公众参与、支持文化观念改变等方面来推动这些行动的有效实践。一、支持学生与公民充分发挥个人创造力，自发组织发起的绿色活动越来越多，同时也得到越来越多的民众的积极响应，比如 2014 年暑假的“Keys to the Streets”活动，吸引了数千参与者。二、政

府建立的最绿城市基金在 2014 年将接近 54 万加元资金分配给 150 个绿色项目，大大推动了生态足迹减轻计划的进程；三、最绿城市学者项目也已经吸引到了 59 个哥伦比亚大学优秀毕业生参与最绿城市研究计划，为实现减轻生态足迹目标提供科技技术保障。四、积极参与绿色城市相关项目的人数从 2011 年至 2014 年取得飞跃性增长。

温哥华的绿色政策信息公布非常人性化，使用通俗易懂的图表展示易于公众理解，让公众积极参与规划与实践中，使得城市在城市化过程中能够迅速获得公众的反馈意见。

附录一 参考文献

- [1] Amardeep, D.,2008. An Analysis of the Ecological Footprint Mapping by Urban Areas as A Sustainable Development Indicator. Thesis of Master's Degree. University of Delaware.
- [2] Ivan, M.and Anna, G., 2005. Urban Form and Ecological Footprint of Commuting: The Case of Barcelona. Ecological Economics. 55:499-514
- [3] Haberl, H. and Erb, K. H. Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time The case of Austria 1926-1995. Ecological Economics, 2001, 38:25-45
- [4] Karl, G. H. and Erling, H., 2003. Household Consumption and Ecological Footprints in Norway-Does Urban Form Matter? Journal of Consumer Policy. 26:327-349
- [5] UNEP. 2014. 中国绿色经济展望 2010-2050. 联合国环境规划署, 北京
- [6] WWF. 2012. 地球生命力报告 2012. 世界自然基金会, 瑞士, 格兰德
- [7] WWF. 2014. 中国生态足迹与可持续消费研究报告, 世界自然基金会, 北京
- [8] 北京城市系统工程研究中心. 2014. 城市交通运行系统能源效率评估模型研究. 北京: 科学出版社, 2014
- [9] 陈锡文. 2014. 粮食安全面临三大挑战. 中国经济报告, 2014.2
- [10] 丁宇, 林姚宇, 路旭. 2009. 生态足迹模型在城市交通可持续发展评价中的应用及启示——以快速城市化地区深圳市为例. 城市规划学刊. 6(184):105-110
- [11] 李惠梅, 张安录. 2011. 我国经济增长和城市化对生态足迹影响的计量分析. 中国人口·资源与环境. 21:381-383
- [12] 李晋玲, 刘人境, 汪应洛. 2007. 基于生态足迹的城市化研究——以西安市为例. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版). 36(3):103-109
- [13] 卢新新. 2013. 流动人口对北京市交通的影响研究. 商情, 1:174-175
- [14] 清华大学建筑节能研究中心. 2012. 中国建筑节能年度发展研究报告 2012. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012
- [15] 邵磊. 2014. 中国城镇化进程中生态足迹的时空演变研究. 硕士学位论文. 安徽财经大学.
- [16] 谢佳利, 亢新刚, 孔雷, 杜志. 2011. 2020年我国的木材需求预测中南林业科技大学学报, 2011, 31(12):154-158
- [17] 赵卫, 刘景双, 孔凡娥等. 2008. 城市化对区域生态足迹供需的影响. 应用生态学报. 19(1):121-125

附录二 数据说明

国家尺度的生态足迹核算主要基于如下来源的公开发布数据库：联合国粮农组织数据库 (FAOSTAT, 2014)、联合国统计处的联合国商品贸易统计数据库 (UN Comtrade 2014) 与国际能源署 (IEA 2014) 数据库，美国橡树岭国家实验室二氧化碳分析中心 (CDIAC) 的碳排放数据、WWF 及 WWF 生态足迹合作伙伴全球足迹网络和中国科学院地理科学与资源研究所的历史研究数据。其他数据来自科学期刊中的已有研究与专题收集。1990 年的初始生态足迹及各组分的生态足迹数据来自 WWF 的历史研究数据。全球平均单产数据主要来自联合国粮农组织数据库及趋势外推。

系统动力学模型中一些外生变量的设置依据主要来自三个方面。一是来自中国政府和执政党关于未来发展的规划和报告，如“十二五”相关规划纲要，十八大报告，2020 年相关规划等。二是来自国内外研究机构和学者的成果。如世界银行与国务院发展研究中心联合课题组所做的《2030 年的中国》，清华大学国情研究中心胡鞍钢等人所著的《2030 中国迈向共同富裕》，2050 中国能源和碳排放研究课题组的《2050 中国能源和碳排放报告》，国际能源署的《全球能源展望》年度系列报告等众多研究成果。三是充分使用《中国统计年鉴》，各类专业统计年鉴，联合国人口数据库、世界银行的数据库等多种数据来源进行计算和分析。

指标名称	单位	2020 年	2030 年
城镇化率	%	60	65
户籍人口城镇化率	%	45	53
城镇公共供水普及率	%	90	95
城市生活垃圾无害化处理率	%	95	98
城市污水处理率	%	95	98
全球谷物平均产量	公斤 / 公顷	3800	4000
全球大豆平均产量	公斤 / 公顷	2500	2600
全球蔬菜平均产量	公斤 / 公顷	20000	21000
全球肉类平均产量	公斤 / 公顷	80	85
全球水产品平均产量	公斤 / 公顷	1500	1550
全球林产品平均产量	立方米 / 公顷	1.99	2.1
全球人均二氧化碳排放	吨 / 人	5.5	5.8

注：全球水产品平均产量根据海水、淡水的捕捞与养殖合并后加权计算。

附表 2-1 模型中一些主要外生变量的取值设置

系统动力学模型中的参数有初始值、常数值、表函数等。为简化模型参数，对那些随时间变化不甚显著的参数近似取为常数值。模型中使用了表函数，方便有效地处理众多非线性问题。对于部分现实资料无法取得，或资料来源缺乏可靠性合理性的变量，本研究在建模过程中，将假设其初始值，或依据历史经验加以推论其合理值。

在模型校准过程中，会根据模拟结果与历史数据的比较，对一些参数进行调整，搜寻计算内生变量参数的最佳值。那些与历史数据达成最佳匹配结果的参数被选出来输入模型。

附录三 基准情景与绿色情景的指标设置对比

从农业、林业、建筑、水泥、交通、可再生能源和核电等主要产业和行业选择一些具有代表意义的指标，按照 2 个情景的设置思路给定具体指标值。

指标名称	单位	2020 年		2030 年	
		基准情景	绿色情景	基准情景	绿色情景
每年植树造林占森林面积比例	%	1.8	2.5	1	2
退耕还林还草	万公顷 / 年	8	10	6	8
绿色耕地的比例	%	18	20	30	35
节水灌溉的比例	%	60	70	70	80
绿色耕地每亩化肥使用量	公斤 / 公顷	200	180	200	150
城市人均居住面积	平方米	39.97	36.59	45	40
农村人均居住面积	平方米	41.01	37.63	45	40
城市居民建筑的寿命	年	45	50	50	70
城市新建建筑 65% 节能的建筑比例 *	%	50	70	80	90
风能规划装机	万千瓦	15000	18000	30000	35000
太阳能规划装机	万千瓦	2000	4000	5000	8000
水电规划装机	万千瓦	32000	35000	40000	42000
核能规划装机	万千瓦	7000	10000	20000	25000
生物采油规划产量	万吨	200	400	400	600
非常规天然气的发现	10 亿立方米	220	250	250	300
燃煤发电效率	克标准煤 / 千瓦时	305	300	290	280
水泥替代原料中来自垃圾焚烧残余的比例	%	2	5	5	10
水泥替代燃料的比例	%	5	10	10	15
水泥余热利用比例	%	90	95	95	98
水泥厂 CCS 装置比例	%	0	5	10	20
公共交通占机动车出行比例 **	%	53	55	54	58
普通私家车百公里油耗	升 / 公里	10	9	10	8
节能私家车百公里油耗	升 / 公里	7	6.3	6	4.8
重型货车的比例	%	80	85	85	90

注 1: 在《国家新型城镇化规划 (2014 - 2020 年)》设置的新型城镇化主要指标中, 城镇绿色建筑占新建建筑比重 2020 年为 50%。模型中以 65% 节能的建筑来表示绿色建筑。

注 2: 在《国家新型城镇化规划 (2014 - 2020 年)》设置的新型城镇化主要指标中, 百万以上人口城市公共交通占机动车出行比例 2020 年为 60%, 因为大城市的公共交通更发达, 所以在模型中, 将全国城镇的公共交通比例在 2020 年设置为 53%。

附表 3-1 基准情景与绿色情景的指标设置对比

以教育或其他非商业目标的再版无需经过版权所有者的书面同意。但是，必须提前书面通知 WWF（世界自然基金会）。禁止任何未经版权所有人同意的以出售或其他商业目的的再版。

感谢以下人士提供的宝贵意见和做出的贡献：

乔润令

胡秀莲

周伏秋

庄贵阳

彭剑锋

俞海

雷红鹏

刘怡君

宋晓丽

冯金磊

卢夷怡

李圣文

100%
再造纸



>100

WWF的工作范围遍及100多个国家和地区，横跨6大洲

>500万

全球500多万人支持WWF

>5,000

WWF全球有5,000余名员工

1961

自1961年以来，WWF就始终是一家领先全球的生态保护组织



我们在这里

为了遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。

www.wwfchina.org