

4.2 全球公顷

粤港澳大湾区人均生态足迹  
4.2 全球公顷

1/6

粤港澳大湾区人均生物承载力  
不到世界水平的 1/6

2.5 个地球

如果全球人口都采用湾区的生活模式，世界一年需要 2.5 个地球来提供生态系统服务

0.27 全球公顷

粤港澳大湾区人均生物承载力 0.27 全球公顷

15.6 倍

粤港澳大湾区生态足迹是  
区域生物承载力的 15.6 倍

战略合作伙伴  
STRATEGIC  
PARTNERS



ONE PLANET  
一个地球

我们致力于  
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](http://www.wwfchina.org) [www.wwf-opf.org.cn](http://www.wwf-opf.org.cn)

WWF

粤港澳大湾区生态足迹报告 2019

中国

WWFCHINA.ORG

© Adam Minu / WWF



报告

中国

2019

本报告与以下  
机构合作完成



ONE PLANET  
一个地球

# 粤港澳大湾区 生态足迹报告 2019

© 荔枝 & Rohan Chakravarty / WWF

# PREFACE

## 序

作为我国改革开放的先行地，经过了多年的高速发展，粤港澳大湾区已经成为我国开放程度最高、经济活力最强、社会发展水平最高的区域之一。但长时间快速发展积累了许多深层次的矛盾和问题，特别是生态透支问题严重，包括土地、能源、水等生态资源量质并降，资源环境约束加剧。同时，公众对美好生活的向往，在生态文明上集中体现在对清洁的空气、水、绿化空间等生态环境的需求日益高涨。

《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确指出“区域发展空间面临瓶颈制约，资源能源约束趋紧，生态环境压力日益增大”，提出“大力推进生态文明建设，树立绿色发展理念，……推动形成绿色低碳的生产生活方式和城市建设运营模式，为居民提供良好生态环境，促进大湾区可持续发展。”为此，本报告从生态足迹和生物承载力两个维度分析了当前粤港澳大湾区对生态资本的需求和供给。数据显示，本区域面临生态赤字。这其实也是我国整体面临的严峻生态挑战的一个缩影。

建设一个生态湾区、绿色湾区，实现湾区的可持续发展，是大湾区优质生活圈建设的重要内容，也是大湾区发展的重要愿景。在此背景下，与社会各界共同探讨如何建设一个更可持续发展的湾区城市群是一个非常有意义的话题。湾区至少需要应对两方面的挑战：在供给端，提供基本充足的本地生态系统服务；在消费端，抑制生态足迹特别是碳足迹的不合理增长。

就大湾区的贡献来说，我们不仅要提供一种创新发展的模式，实现经济、科技层面的质、量齐升，也要寻找一种新的生产、生活方式，体现出绿色、生态、节能、环保的价值追求，实现人与自然共生共荣、和谐相处的终极追求。如果大湾区能在此节点实现这种转变，就可以变道超车，成为世界可持续发展城市群的典范，并推广适用到“一带一路”共建国家，从而推动全球可持续发展转型。

报告同时也指出，要实现这种转变，就需要粤港澳三地加强协同。目前三地已经有了很好的合作基础，未来仍需紧密合作，加强统筹协调，努力增强湾区经济社会发展的生态本底，共建共管共享美丽湾区，共同支撑粤港澳大湾区的建设。

希望报告能为推动粤港澳大湾区生态文明建设提供借鉴。



王福强  
产业规划部部长  
中国国际经济交流中心

### 世界自然基金会

世界自然基金会（WWF）是在全球享有盛誉的、最大的独立性非政府环保组织之一。网络遍布全球 100 多个国家、拥有全世界将近 500 万支持者。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。

### 深圳市一个地球自然基金会

深圳市一个地球自然基金会（OPF）是一家依据中华人民共和国法律注册并合法存续的非营利机构，其宗旨为通过保护生物多样性、降低生态足迹、确保自然资源的可持续利用而创造人类与自然和谐相处的美好未来，主要包括：资助和开展珍稀野生动植物保护工作；资助和开展森林、淡水和湿地及海洋等不同生态系统的环境修复和保护工作；资助和开展公众环境教育，促进公众参与，推动可持续的生活方式，推动不同领域和地区的低碳减排、加强应对气候变化；生物多样性保护工作与推动可再生自然资源的可持续利用等。

### 中国科学院地理科学与资源研究所

中国科学院地理科学与资源研究所是研究陆地表层资源环境与区域可持续发展的公益性研究所，是我国地表过程与要素相互作用基础科学研究的引领机构和资源环境基础科学数据中心，是国家区域发展、资源利用和生态建设重要的思想库和人才库。它的主要部门包括自然地理与全球变化研究部、人文地理与区域发展研究部、自然资源与环境安全研究部、资源与环境信息系统国家重点实验室、陆地水循环及地表过程重点实验室、生态系统研究网络观测与模拟重点实验室、农业政策研究中心等。

世界自然基金会（瑞士）北京代表处  
北京市西城区百万庄大街 22 号院  
（机械工业信息研究院内）2 号楼 3 层 B 区域  
www.wwfchina.org

世界自然基金会香港分会  
香港新界葵涌葵昌路 8 号万泰中心 15 楼  
www.wwf.org.hk

深圳市一个地球自然基金会  
广东省深圳市龙华新区梅龙路 553 号  
光浩国际中心 B 座 803  
www.wwf-opf.org.cn

中国科学院地理科学与资源研究所  
北京市朝阳区大屯路甲 11 号  
www.igsnr.ac.cn

作者：  
中国科学院地理科学与资源研究所：谢高地、曹淑艳、毕明丽、徐洁  
世界自然基金会（瑞士）北京代表处：卢思骋、李楠  
世界自然基金会香港分会：黎佩延  
深圳市一个地球自然基金会：罗媛楠、谭璐铭

本报告初稿完成后。有幸邀请到各界专家协助审阅报告并建议，在此特别致谢（按姓名拼音排序）：  
敖建南、陈凡、黄海峰、李双成、齐晔、孙新章、王大伟、王天送、王福强、杨中艺、周丽旋

# EXECUTIVE SUMMARY

## 执行摘要

粤港澳大湾区是一个陆海相连、山水相依的世界级湾区，是中国建设世界级城市群和参与全球竞争的重要空间载体。2000 年以来湾区整体处于城市化进程的后期成熟阶段，2015 年湾区人均 GDP 接近 2 万美元的发达标准。在这片充满发展机遇的城市群，人们对优质美好生活追求已经由“生活殷实”不断向“生态富裕”拓展，良好生态环境日益成为湾区吸引和留住富有竞争力的人才、技术和资金的重要要素。粤港澳大湾区已经成为国家战略发展区，将承载更活跃的人流与物流，面临更复杂的生态文明建设挑战与机遇，湾区较以往任何时候都更需要了解其发展的生态资本需求及其可持续性。

生态足迹法是一种以土地为媒介的量化区域人类活动的生态资本需求及其可持续性的资源核算工具，包含生态足迹与生物承载力两个综合指标。其中，生态足迹，通常从消费角度核算，衡量人类消费行为的生态资本需求，生物承载力则衡量自然提供生态资本的能力。区域生态资本供不应求的状况被称为生态赤字，赤字的幅度越大，说明区域跨时空边界使用生态资本的规模越大。

人类食物消费的生态资本需求，可以用耕地、草地与渔业用地构成的可更新膳食足迹来度量，是人类对自然生态资本的基础性与永恒性需求，在很大程度上，是人类对自然生态资本的刚性需求。当库存变化可以忽略的情况下，区域膳食型生态赤字反映的是该区域食物消费对外部生态资本的依存程度，它几乎没有弹性，需要其他区域切实提供同等大小的膳食生物承载力空间来支持；相比而言，碳足迹造成的生态赤字部分，聚焦未来发展的生态风险。

本报告核算与报告粤港澳大湾区 2000 年与 2015 年的生态足迹与生物承载力状况。其中，香港生态足迹与生物承载力数据由世界自然基金会香港分会（WWF HK）提供，最新可得核算结果为 2014 年，因而，2015 年香港足迹与承载力使用其 2014 年值，假定两个年度的值在规模与结构上大致接近；其他城市的生态足迹与生物承载力由项目组依据“技术说明”部分的方法核算。

湾区以生物承载力衡量的生态资本供给能力严重不足。2015 年，湾区生物承载力总量为 0.18 亿全球公顷，较

2000 年提高了 10.8%。承载力总量区域分布受生态资本分布的影响随距海距离增加而减少，城市间生物承载力变动的方向、程度、机制有所差异。由于人口增长的影响，2015 年人均生物承载力 0.27 全球公顷，较其 2000 年水平下降了 17%。与全球 1.68 全球公顷、全国 1 全球公顷的人均生物承载力相比，湾区人均拥有的生态资本严重匮乏，并面临进一步缩减的风险。而且，这些承载力实现的背后还隐藏着一定的生态代价，例如，耕地质量整体退化、海洋特色生态系统和渔业资源衰退、多样化生态服务功能的湿地被转换为单一功能的建设用地。

湾区以生态足迹衡量的生态资本需求量巨大。2015 年，湾区总生态足迹为 2.8 亿全球公顷，人均 4.2 全球公顷，是区域生物承载力的 15.6 倍。2000~2015 年，湾区生态足迹总量与人均水平分别增长了 75% 与 31%，城市间人均足迹变动异质性明显：澳门人均足迹增长了 80%，广州、东莞与中山人均足迹增长了 50%，深圳人均增长最低、不足 9%，其他城市人均足迹增长了 15%~35%，使得城市间人均生态足迹差距缩小，生态消费公平性提高。同期，湾区的人均 GDP 的公平性亦提高。湾区现有的生态消费模式是不可持续的：人均 4.2 全球公顷的生态足迹意味着如果全球人口都采用湾区的生活模式，世界一年需要 2.5 个地球来提供生态系统服务。然而，湾区人均 GDP 为 12.65 万元，是中国人均水平的 2.5 倍，反映湾区的生态消费具有相对理性、绿色性，虽然其人均生态足迹超出了全球人均 1.68 全球公顷的生物承载力限额。

湾区生态资本供需平衡结果为完全的生态赤字。2015 年生态赤字总规模为 25930.8 万全球公顷，较 2000 年扩大了约 82%，2015 年人均规模较 2000 年扩大了约 36%，各类生物承载力组分（建设用地除外）在各个城市均供不应求，是生态赤字的。膳食消费对外地的生态资本依赖度高且呈扩大趋势，在 2015 年达到 88%。下降的人均生物承载力、增长的生态赤字、增高的膳食空间对外依存度揭示，湾区面临愈趋严重的生态系统服务匮乏挑战。湾区生态系统供给服务匮乏的背后，隐藏着生态系统调节服务与支持服务下降风险；高度膳食承载力空间对外依存度警示，湾区人口规模已逼近甚至超

越了城市生态承载红线。

湾区生态足迹的构成特征揭示抑制与降低生态足迹增长应当多视角“双轮并进”。碳足迹所占比重在 2015 年为 65%，尚未达成峰值；膳食足迹约占 30%。碳足迹主要以隐含的形式伴随产品与服务消费而发生：2015 年，25% 的碳足迹隐含于食品消费中，61% 的碳足迹隐含于其他产品及服务消费中；家庭直接能源消费的碳足迹虽然仅 14%，但是，较 2000 年水平倍增。从衣食住行等五大人类活动看，约 80% 的生态足迹来自食物消费与居所消费。各城市的足迹构成具有一定的差异。生产效率提高的步伐赶不上财富增长的步伐，是湾区人均生态足迹增长的主要原因。抑制生态足迹增长应当从家庭部门与生产部门两个领域推进；在家庭部门，重点是促进食物消费与居所消费两个物流系统的理性、绿色消费；在生产部门，增强生产绿色度与增进效率并重。

生态资本供需矛盾在广州、深圳、佛山、东莞和香港这些人口规模过 700 万人的城市最突出。这里居住着湾区 72% 的人口、生产了湾区 82% 的 GDP，形成了湾区约 80% 的生态足迹、约 85% 的生态赤字、90% 左右的膳食空间生态赤字以及 83% 的生态赤字增量。香港、澳门与大陆之间活跃的生物承载力流揭示，生态服务流愈加成为湾区城市间共同发展的纽带。

建设亲近自然的生态可持续城市群，湾区至少需要应对两方面的挑战：在供给端，提供基本充足的本地生态系统服务；在消费端，抑制生态足迹特别是碳足迹的不合理增长。应对的措施是：保护自然生态资本，保护与促进自然生产力；推动减量消费，鼓励可持续生活方式，激励可持续的生产模式及增效。

作为一个内部联系合作非常紧密、生态资本极度匮乏的区域综合体与城市群，湾区各城市间生态命运息息相关，因而，湾区规划发展应当生态命运共同体规划先行。在一张科学编制的具有前瞻性、定位好各城市生态角色、红线与格局的生态规划蓝图约束下，各城市创新、协调与共享生态发展成果，共同增强湾区经济社会发展的生态本底，共同建成优质美好生活城市。

# CONTENTS

## 目录

序	1
执行摘要	2
粤港澳大湾区概况	4
全球与中国的生态背景	8
粤港澳大湾区生态足迹 生物承载力 生态足迹 生态赤字	16
城市化、发展与生态压力	34
粤港澳大湾区城市间的相互联系	42
建设与自然共生的城市群	46
参考文献	50
技术说明 生态足迹 碳足迹 可更新膳食足迹 核算方法（香港以外城市） 数据来源	51



# GUANGDONG-HONG KONG-MACAO GREATER BAY AREA OVERVIEW

## 粤港澳大湾区概况

湾区，从地理概念上看，是由一个海湾或相连的若干个海湾、港湾、邻近岛屿共同组成的区域，从经济社会形态看，是一个围绕沿海口岸由水脉相连的城市群、经济增长极。全球半数人口居住在距海 60 公里的范围内，四分之三的人口规模过千万的城市（Nicholls et al, 2007）与五分之三的经济总量分布在距海 100 公里范围内。

粤港澳大湾区，在形成时间上，是继纽约湾区、旧金山湾区和东京湾区之后的世界第四大湾区（图 1.1）。它由广东省的广州、佛山、肇庆、深圳、东莞、惠州、珠海、中山、江门 9 市和香港、澳门两个特别行政区形成的世界级城市群（图 1.2），总面积共 5.58 万平方公里。

粤港澳大湾区是一个人口密集、物流活跃的城市群。2015 年，粤港澳大湾区以不足全国 0.6% 的国土面

积容纳了中国 4.8% 多的人口，产出了中国 12% 的经济总量，聚集了全国约 20% 的港口吞吐量与约 40% 进出口贸易额。经此湾区，全球 6.8% 的出口贸易从中国走向世界各地，5.6% 的进口贸易从世界各地走进中国。

2000 年以来，粤港澳大湾区整体处于城市化进程的后期成熟阶段，城市化率由 2000 年的 73.8% 提高到 2015 年的 86.3%。根据 Northam（1975）关于城镇化发展三阶段（初始阶段、加速阶段、成熟阶段）的划分思想，区域城市化水平介于 25% 至 60~70% 之间时，区域处于城镇化进程的加速阶段，超过 60%、70%，区域进入城镇化进程的成熟阶段。2015 年肇庆以外的湾区城市的城市化率均为 65% 及以上，区内的“9+2”城市之间的城市化阶段差异基本消失（图 1.3），是中国城市化进度高度均质的一个城市圈。



图 1.1 世界四大湾区示意图

图 1.2 粤港澳大湾区的区位与区域构成

粤港澳大湾区是由“9 市+2 特别行政区”组成的世界级城市群，其稀缺的自然资本（0.6% 的全国国土面积）与密集的人口（4.8% 多的全国人口）、活跃的经济流（12% 的经济总量）与贸易流（40% 的进出口贸易）形成了鲜明的对比。

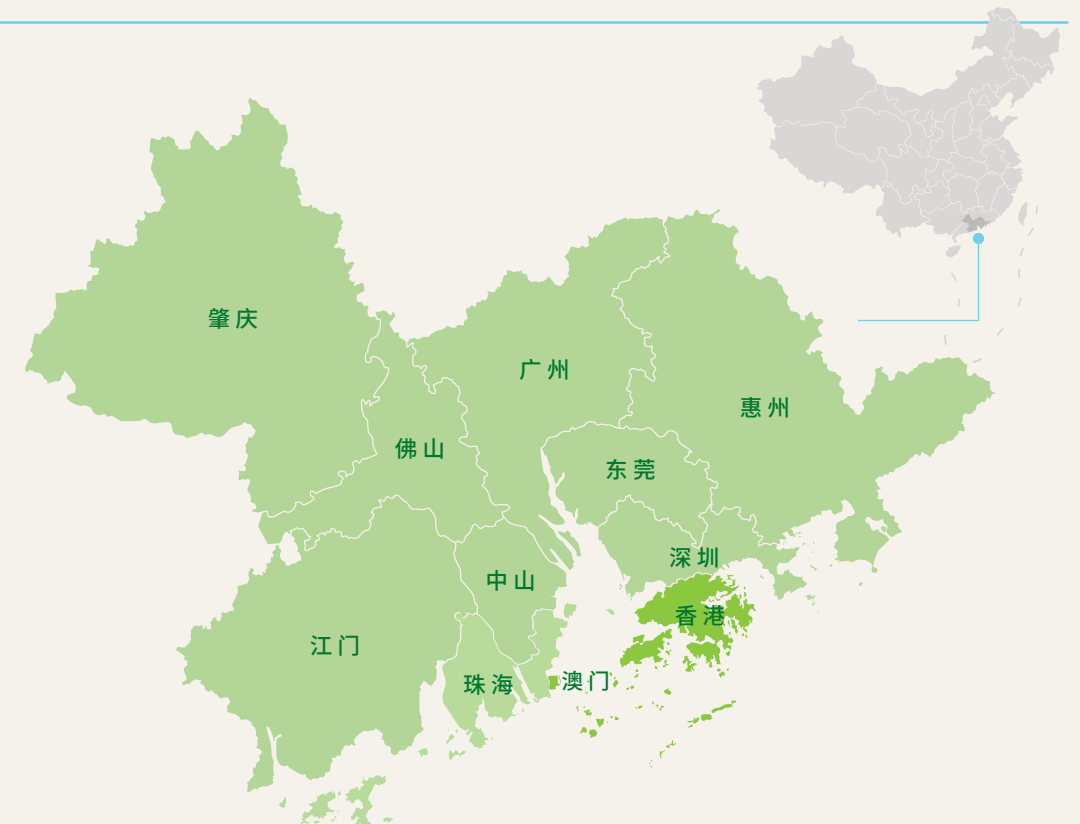
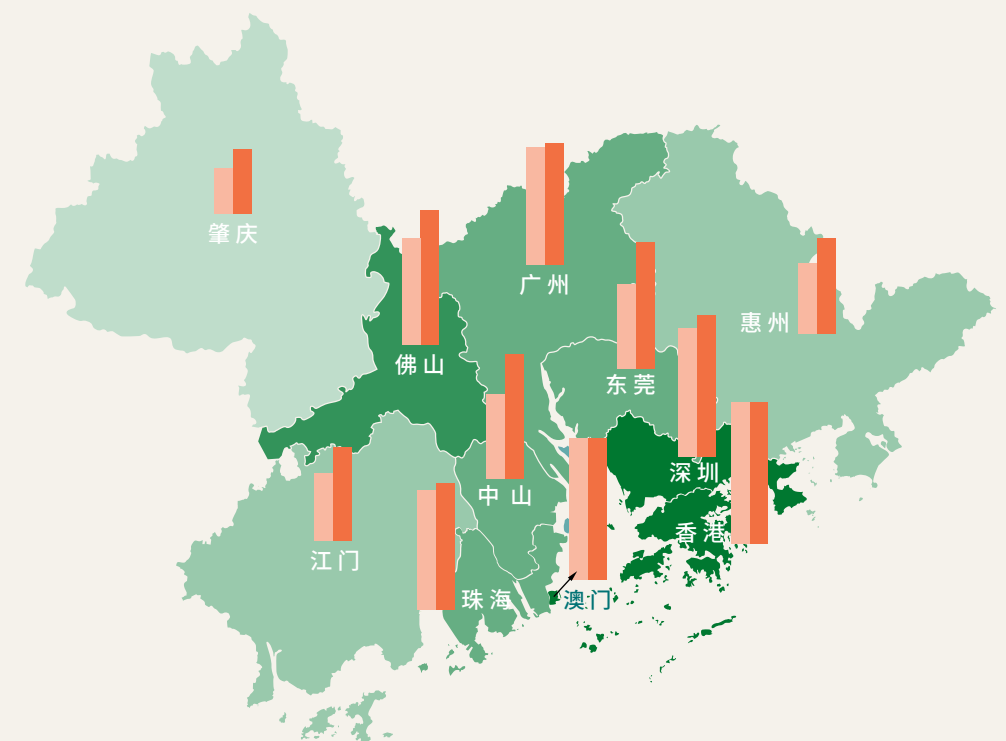
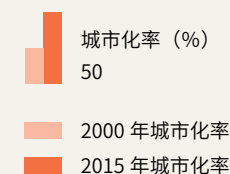
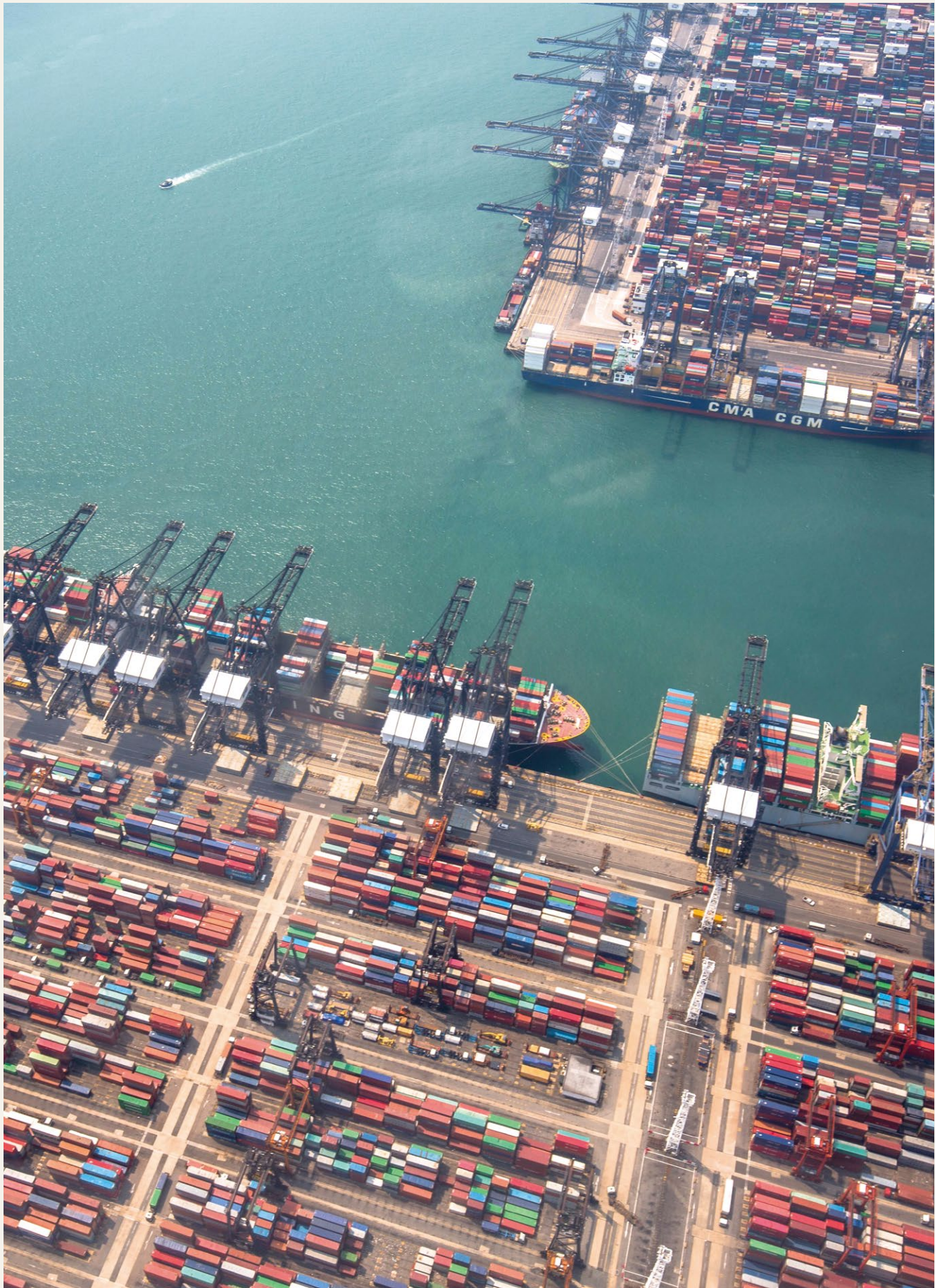


图 1.3 粤港澳大湾区的城市化水平

2015 年，大湾区高度均质地处于城市化发展的成熟阶段，仅肇庆的城市化率低于 65%，而 2000 年时有 5 个城市城市化率低于 65%。





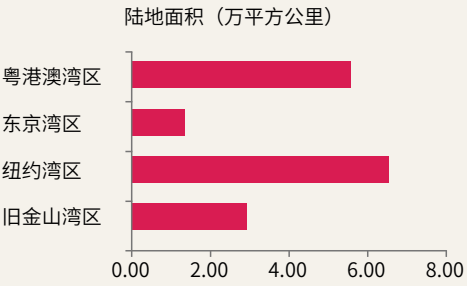


香港港口 © WWF-Hong Kong Chai

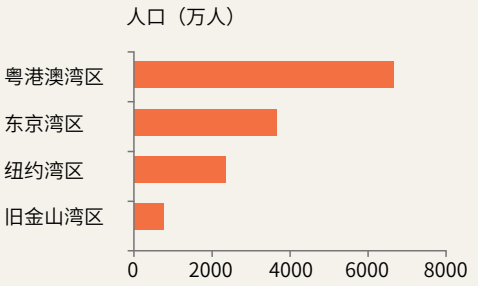
在世界四大湾区中，粤港澳大湾区陆域面积第二大，仅低于纽约湾区；人口规模几乎与其他三大湾区的人口总量相当；人口密度每平方公里 1915 人，仅低于东京湾区（图 1.4）。其 GDP 总量居于第三高，在稠密人口的分母效应下，人均 GDP 最低；地均

经济产出强度（单位面积的 GDP 产出能力）显著低于东京湾区、略低于纽约湾区与旧金山湾区。作为增长最为活跃的湾区，粤港澳大湾区的地均经济产出强度有望在不久的将来追上甚至超越纽约湾区与旧金山湾区。

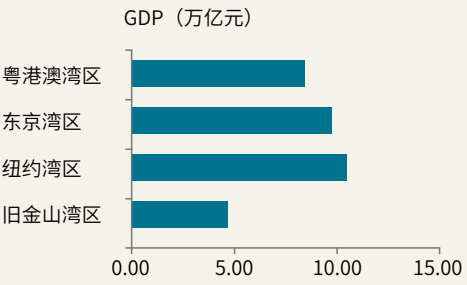
陆地面积  
第 2 大



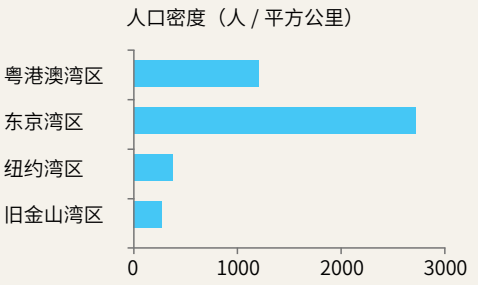
人口 ≈  
其他三个湾区  
总和



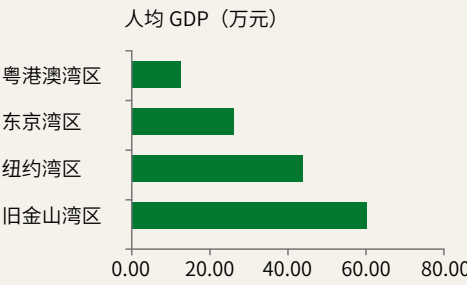
GDP  
第 3 高



人口密度  
1915  
人 / 平方公里



人均 GDP  
最低



地均 GDP  
最低

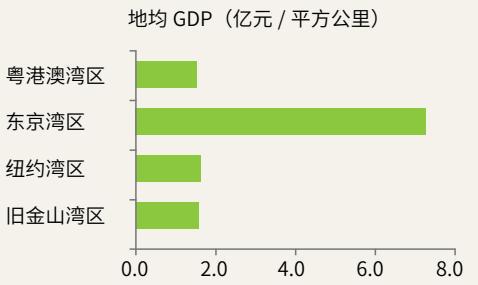


图 1.4 四大湾区主要指标对比  
注：数据根据《2017 年度粤港澳大湾区空间发展年度评估报告：湾区的元年与展望》整理。



# GLOBAL AND CHINA ECOLOGICAL BACKGROUND

## 全球与中国的生态背景



格陵兰岛的冰山 © Global Warming Images / WWF

功能丰富的生态系统对人类的身体健康、食物安全、生活富裕、经济发展发挥着不可估量的重要作用。在人类诞生以来的悠长岁月里，生态系统总体以持续增长的生物承载力来满足人类不断增长的生态足迹需求，然而，这种美妙的人与自然平衡格局于 1970 年代初被打破。自此，全球进入了持续的生态赤字发展时代（图 2.1）。

2014 年，全球人均生态足迹 2.84 全球公顷，超过

了人均 1.68 全球公顷生物承载力的 69%。这意味着在 2014 年人类需要 1.7 个地球才能生产出其消费的再生资源 and 吸收掉其所排放的二氧化碳。2000 年以来，全球人均生态足迹增长了约 10%，人均生物承载力则下降了约 10%，人均生态赤字由 0.7 全球公顷扩大到了 1.2 全球公顷。增长的碳足迹与下降的生物承载力共同造成了扩大的生态赤字。

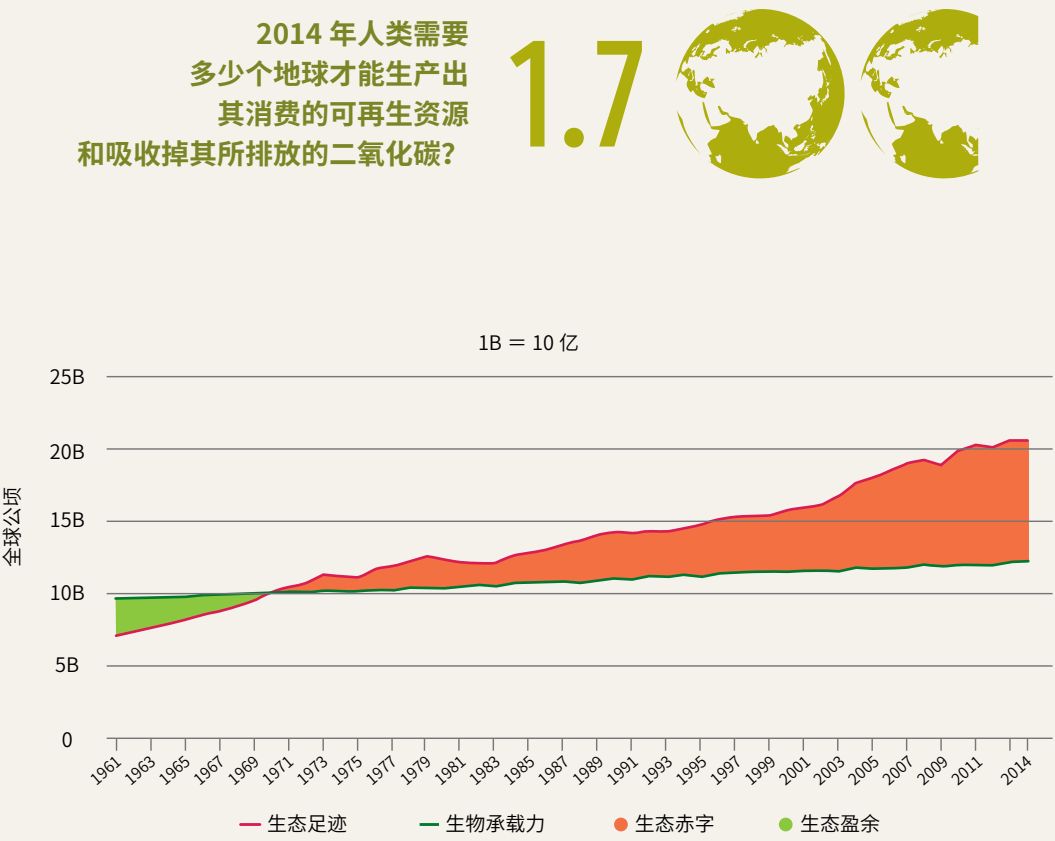


图 2.1 全球生态足迹与生物承载力变化

自 1970 年代初，人类对生态系统服务的需求持续高于生态系统服务供给，生态足迹大于生物承载力。不断增长的碳足迹是形成生态赤字的重要诱因（WWF，2018）。

来源：全球足迹网络

生态足迹是指人类为满足其资源消费、污染物消纳、基础建设支持等需求所需利用的所有生物生产性土地的总和，而自然可为人类提供的生物生产性土地的规模，即为生物承载力。为了使单产能力不同的各地、各类的土地利用具有可比性，生物承载力和生态足迹采用“全球公顷”这样的标准化面积来计量。生态足迹与生物承载力均包含六种组分：耕地、草地、渔业用地、林地、碳足迹（碳吸收用地）、

建设用地（图 2.2）。目前，全球尚无专门林地用于吸收人类生产生活所排放的二氧化碳，即生物承载力中可供利用的碳吸收用地面积为零。对于一个指定的区域而言，二者的平衡关系有三种结果：生态赤字（生态足迹 > 生物承载力）、生态盈余（生态足迹 < 生物承载力）、生态平衡（生态足迹 = 生物承载力）。



图 2.2 图解生态足迹各组分含义

全球绝大多数的国家均已进入了生态赤字境况。四大湾区所属国——中国、美国与日本，无一例外。1961 年是全球足迹网络追踪的生态足迹与生物承载力的最早年份。1961 年，中国人均生态足迹与

生物承载力大致相当，美国与日本均已进入生态赤字的境况（图 2.3）。自 20 世纪 70 年代以来，中国人均生态赤字总体上在不断扩大。

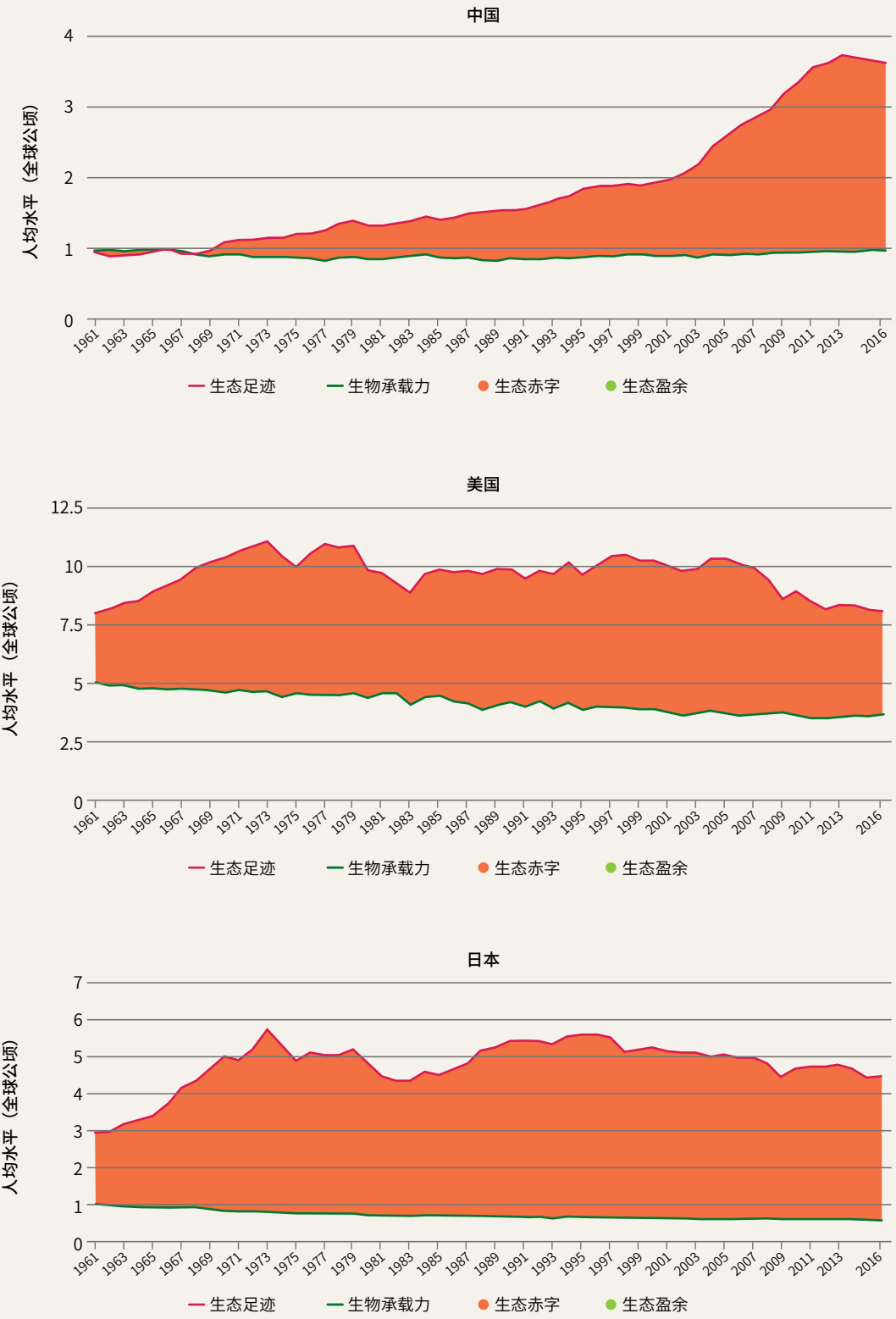


图 2.3 中国、美国和日本生态足迹与生物承载力变动态势  
中国与全球大致同步进入生态赤字发展阶段，碳足迹也是生态赤字扩大的重要诱因。  
来源：全球足迹网络





香港城市夜景 © Global Warming Images / WWF

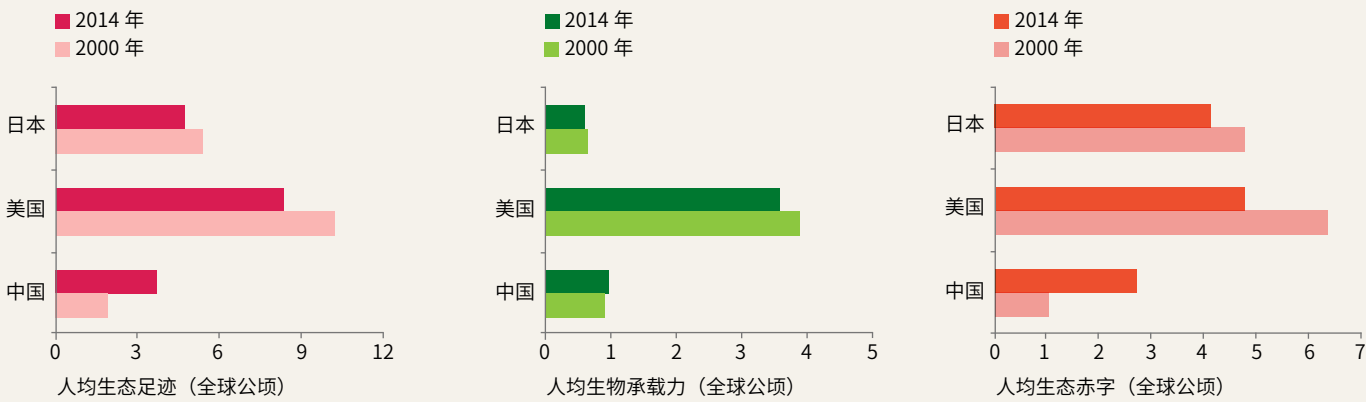


图 2.4 世界四大湾区所在国的生态足迹与生物承载力  
注：根据全球足迹网络数据库数据绘制。

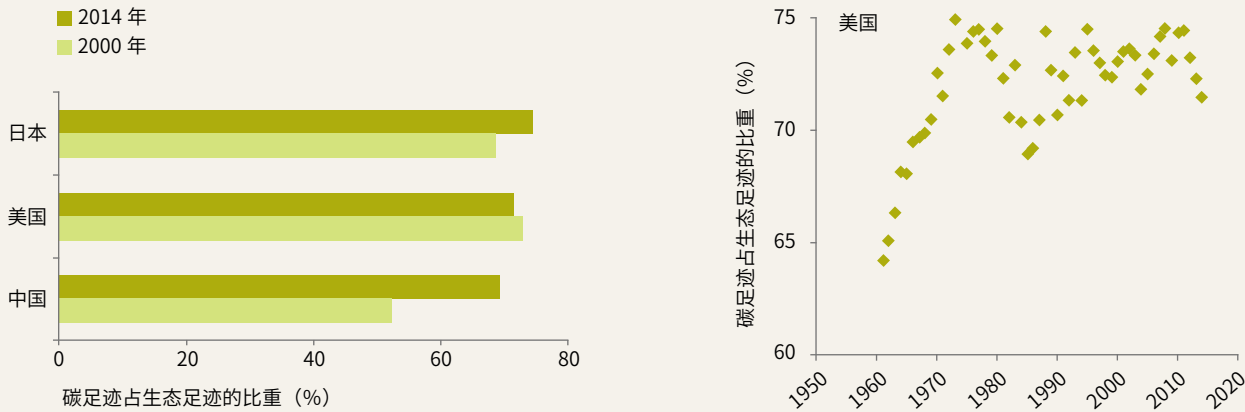
2014 年，中国人均生态足迹 3.7 全球公顷，分别较美国与日本人均生态足迹低 4.7 与 1.0 全球公顷；中国人均生物承载力 1.0 全球公顷，是日本人均生物承载力 1.6 倍，美国人均生物承载力的 27%（图 2.4）。相较于 2000 年，中国是三个国家中人均生物承载力唯一增长的国家，也是人均足迹、人均生态赤字唯一扩大的国家（图 2.4）。在中国，平衡生态发展与经济发展的任务非常艰巨。

2000 年以来，碳足迹在中国的活跃程度显著高于全球与美国、日本（图 2.5）。中国碳足迹占生态足迹的比重由 52.3% 提高到了 69.5%，而全球碳足迹比重由 55.3% 提高到了 60.2%，日本碳足迹比重由 68.8% 提高到了 74.3%，美国碳足迹比重由 73.0% 下降到了 71.4%。中国碳足迹比重 18 个百分点的增长幅度，是全球及日本增长幅度的 3 倍多。

在世界四大湾区所属国中，中国人均生态足迹最低，人均生物承载力居中，相对快速增长的人均生态足迹与有限增长的人均生物承载力，使得中国的人均生态赤字在扩大。**环境友好资源节约生产、绿色消费，与生态资本保育、增值，是抑制生态足迹扩大的必需药方。**

从美国生态足迹构成变动规律看，75% 是碳足迹比重的大致峰值。在经济结构调整和控制能源消费总量政策影响下，中国化石能源消费预计在 2030 年达到峰值 (ETRI, 2018)，再参考美国碳足迹峰值经验，可以预计中国碳足迹比重的峰值预计也在 2030 年前后达到。

图 2.5 中国、美国、日本碳足迹比重比较（左图）与美国碳足迹比重趋势（右图）  
注：根据全球足迹网络数据库数据绘制。







© Alffoto

生态系统的食物生产功能是人类开发利用历史最悠久的生态系统服务功能，也是人类依赖自然最基础的生态系统服务功能。耕地、草地和渔业用地组成了人类的可更新膳食足迹。支持食物生产的建设用地剥夺了自然可再生能力，支持食物生产的碳足迹源自对耗竭型化石能源的利用，这两类足迹组成本质上是不可再生的。可更新膳食足迹与人们生活的富裕程度密切相关。在一定的收入范围内，生活越富裕，人们获取动物性蛋白质的能力与需求越高，可更新膳食足迹也相对越大。2014 年，中国人均可更新膳食足迹 0.8 全球公顷，而日本与美国人均可更新膳食足迹分别为 0.9 与 1.5 全球公顷。可更新膳食足迹往往还具有地缘的色彩，例如，日本经济发达，靠近海洋，拥有丰富的水产品，其可更新膳食足迹以耕地与渔业用地为主；美国与中国草地资源丰富，其可更新膳食足迹以耕地与草地为主。

中国区域间的生态足迹（图 2.6）、生物承载力（图 2.7）具有较明显的差异，这与全球情形类似。在中国，城市化水平高的区域，其人均生态足迹普遍相对高；人均生态资源丰富的区域，人均生物承载力普遍也相对高。

2015 年，广东省（粤港澳大湾区大陆城市所属省）

城市化率为 68%，在全国大陆省份中仅低于京津沪三个直辖市排名第 4 位。其人均生态足迹排名略低于城市化水平排名，处于第 7 位（图 2.6）。稠密人口的分母效应，加上扩张的城市、活跃的物流对建设用地需求增长引发生态用地占用与破碎化，使得广东省生态资本极为匮乏，其人均生物承载力仅高于京津沪三市（图 2.7），总体来看，在中国大陆省份中，广东省属于足迹高、承载力低、人均生态赤字大的区域（图 2.8）。

在这样一个生态资本广泛被透支利用的全球、国家与地区背景格局之中，很多地区的人们依靠发达的交通与信息网络，超越地理的疆界获取生物承载力资源来满足消费。这种做法只能缓解部分地区的生态资本保护问题，无法从根本上化解区域发展所面临的生态风险。生物多样性尤其本地物种对生态系统的稳定往往起决定作用，它们的丧失会破坏生态系统的结构与功能，使得整个生态系统面临巨大压力（魏辅文等，2014）。然而，全球生物多样性正在遭遇自其存在以来非重大突发地质历史事件下的最严峻的存亡风险之中。全球 34% 的沿海地区正处于潜在恶化的高度危险中，另外有 17% 的沿海地区处于中等危险中（Diaz & Rosenberg，2008）。

图 2.6 中国大陆省（直辖市、自治区）人均生态足迹（2015 年）

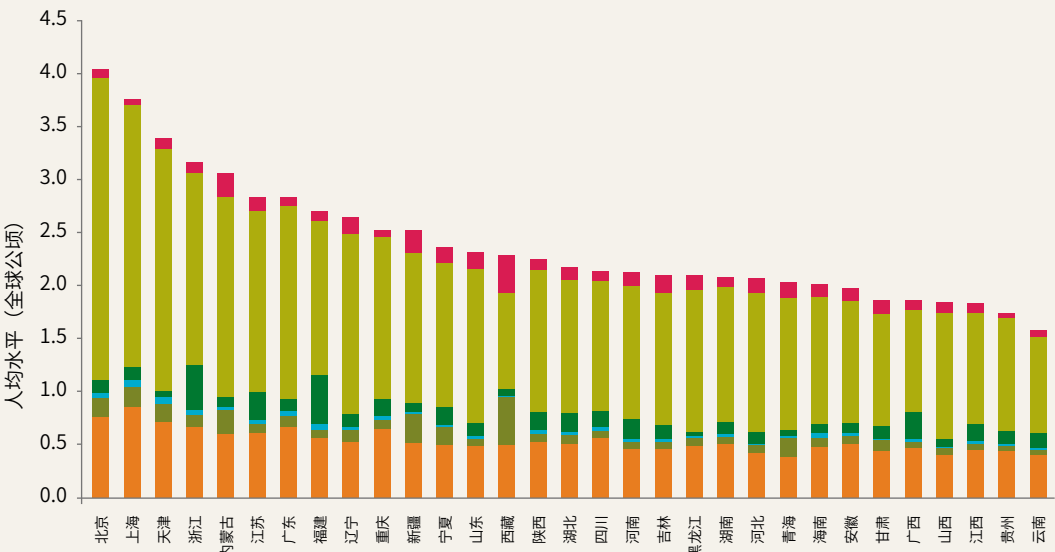


图 2.7 中国大陆省（直辖市、自治区）人均生物承载力（2015 年）  
广东省人均生物承载力仅高于北京、天津与上海。

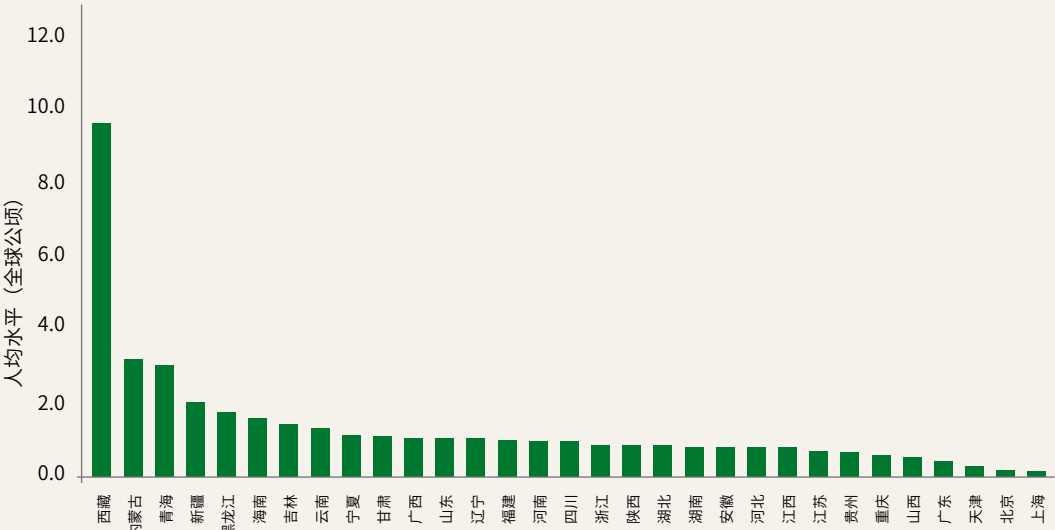
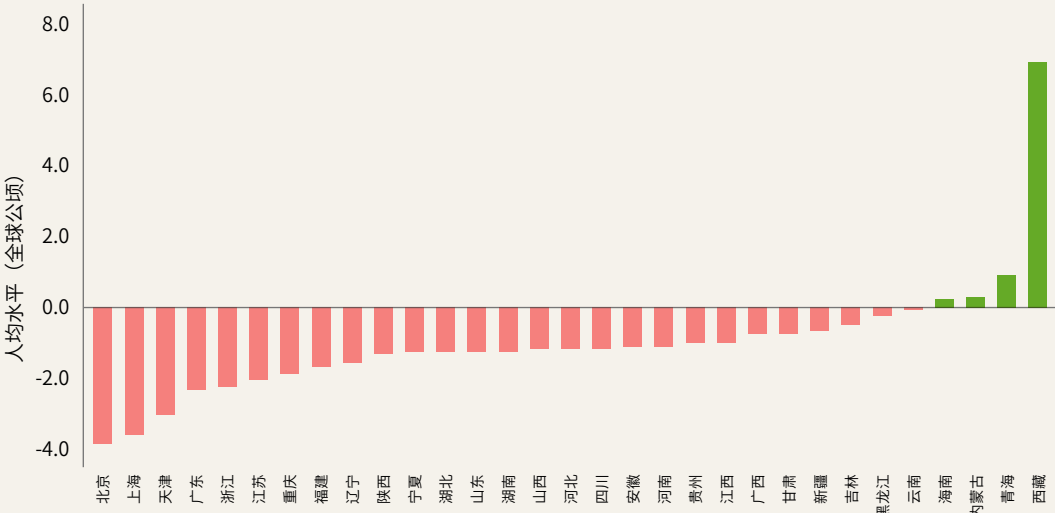


图 2.8 中国大陆省（直辖市、自治区）人均生态赤字、生态盈余水平比较（2015 年）





# GUANGDONG-HONG KONG-MACAO GREATER BAY AREA ECOLOGICAL FOOTPRINT

## 粤港澳大湾区生态足迹



2007 年的香港米埔湿地 © Martin Harvey / WWF

### 生物承载力

2015 年，粤港澳大湾区的生态系统为人类贡献了 0.18 亿全球公顷的生物承载力，受益于林业保护与渔业的发展（图 3.1），区域生物承载力较 2000 年提高了 10.8%。2000~2015 年，湾区生物承载力年均增长率 0.7%。

然而，渔业发展带来的部分生物承载力提高是以海洋特色生态系统和渔业资源衰退、局部区域生态系统功能下降为代价获得的。广东南海北部大陆架底层渔业资源密度已不足上世纪 70 年代的 1/9，红树林、珊瑚礁、海草床等典型海洋生态系统衰退严重（广东省人民政府等，2017）。与此同时，桑基鱼塘这种传统而富有现代生态文明典范的农业生产模式面临着衰退，例如，佛山、中山基塘面积从 2000 年的 1528 平方公里减少至 2015 年的 1064 平方公里（刘通等，2018）。

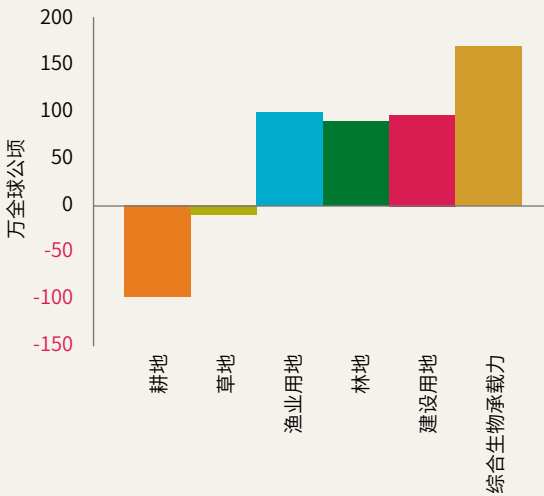


图 3.1 粤港澳大湾区生物承载力及其分组变化（2000-2015 年）



湾区生物承载力总量的区域分布总体随距海距离的增加而减少（图 3.2），与区域生态用地空间分布规律总体一致（图 3.3）。湾区约 80% 的生物承载力分布在肇庆、广州、江门、惠州、佛山这 5 个距海相对远一些的城市，10% 多的生物承载力分布在中山与东莞，不足 8% 的生物承载力分布在珠海、深圳、香港与澳门 4 个多面临海的城市。

与 2000 年相比，2015 年肇庆、江门、中山、珠海的生物承载力规模有所提高，但是，各城市生物承载力提高的机制有所差异。江门生物承载力提高主要得益于耕地生产力与林地生态建设的联合作用，

中山与珠海生物承载力提高主要得益于渔业的发展，肇庆生物承载力提高主要得益于林地生态建设。广州生物承载力受益于渔业的发展，但仅微弱变动。其他城市的生物承载力总量变动也较微弱，主要由于本底规模较小。

在城市化进程中，澳门生态资本一度匮乏到了基本发展空间严重短缺的境地。为了缓解这一生态难题，1983 年至 2003 年中国大陆以邻近澳门的珠江河口湿地减少为代价，支持了澳门填海造地 635 公顷，保障其建筑用地，保护其生态系统（李金平等，2004）。

图 3.2 粤港澳大湾区生物承载力总量

注：2015 年各城市建设用地占生物承载力的比重，在佛山、中山、东莞、深圳、澳门高达 47%~62%，在广州与珠海约为 36%，超过湾区 32% 的平均水平。香港 2015 数据为 2014 年数据，由 WWF（世界自然基金会）香港分会提供。

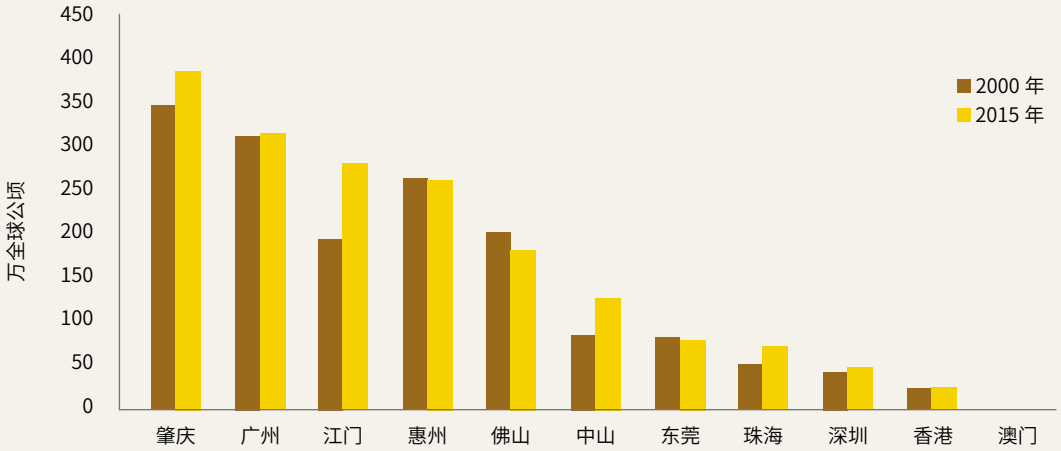


图 3.3 粤港澳大湾区土地利用

注：湾区土地利用的空间格局很大程度上决定了生物承载力总量的分布格局。

■ 耕地  
■ 林地  
■ 草地  
■ 水体和湿地  
■ 建设用地  
■ 裸地

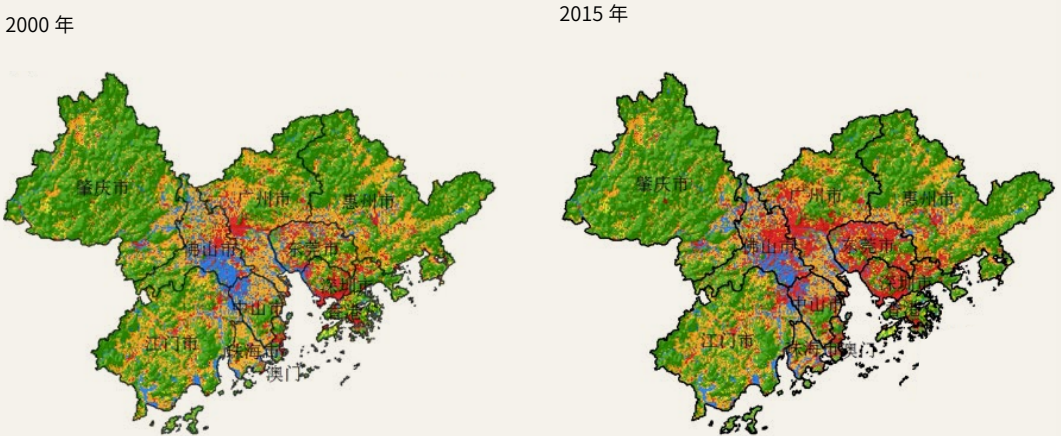


图 3.4 粤港澳大湾区各市耕地承载力变化 (2000-2015 年)

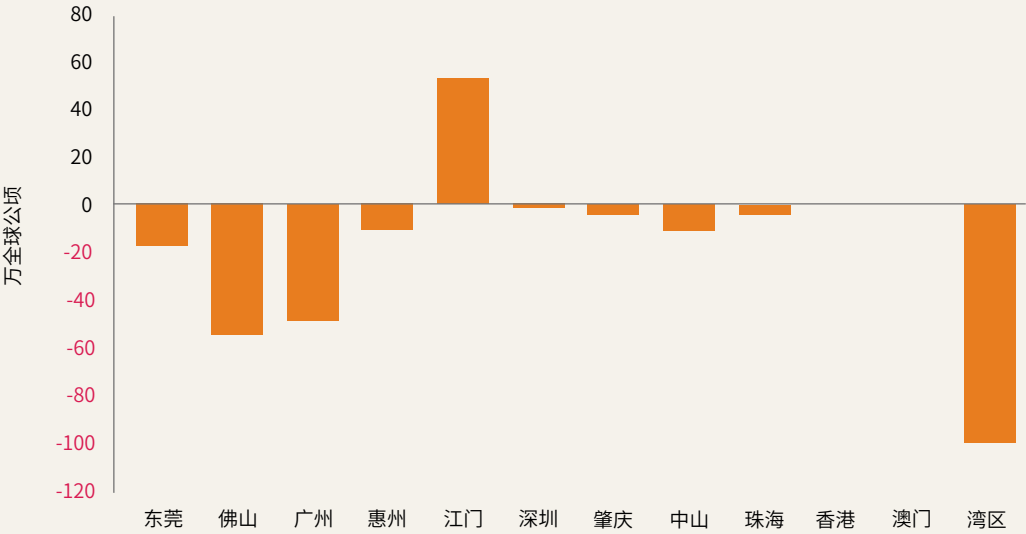
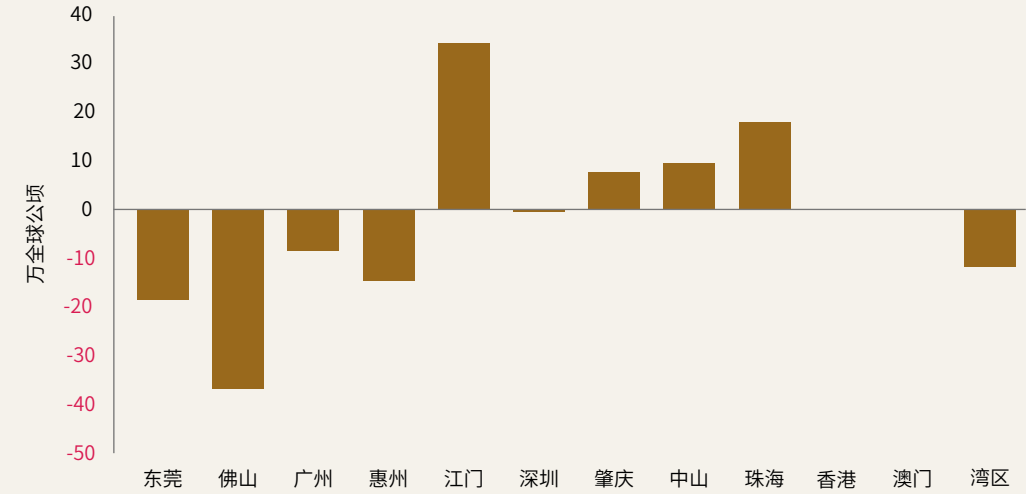


图 3.5 粤港澳大湾区膳食承载力变化 (2000-2015 年)

注：（1）人类食物主要耕地、草地与渔业用地，研究将区域这三类承载力组分之和称为膳食生物承载力。在消费端，可更新膳食足迹与之相对应。区域的可更新膳食足迹大于其膳食生物承载力时，区域食物生产空间是生态赤字的，简称膳食型生态赤字；反之，可更新膳食足迹小于膳食生物承载力的情形，称为膳食型生态盈余。（2）香港数据为 2000-2014 年数据，根据 WWF 香港分会提供的数据计算。



2015年，**粤港澳大湾区人均生物承载力** 0.27 全球公顷，较全球 1.68 全球公顷的人均份额低 1.41 全球公顷，较其 2000 年水平下降了 17%。各城市人均生物承载力及其变动差异较明显（图 3.6 与图 3.7）。深圳、澳门与香港三个 100% 城市化区域，人稠地少，人均生物承载力最低，均不足 0.05 全球公顷。2000 年至 2015 年，肇庆人均生物承载力相对最高，大致保持在 1.0 全球公顷；江门、中山、珠海生物承载力总量增长快于人口增长，人均生物承载力有不同程度的提高；其他城市人均生物承载力有不同程度的降低。

区域的自然生产力在本报告中采用单位区域面积实现的生物承载力大小度量，单位为“全球公顷 / 公顷”。其值大于 1，说明区域土地利用的生物生产力高于全球各类土地利用的平均生产力。在粤港澳

大湾区，澳门、东莞与深圳生态系统活力相对较低（图 3.8）。澳门是人口最稠密的城市，其自然生产力已略低于 1；东莞在 2000~2015 年城市化进程最快、人口第四稠密，其自然生产力已下降至 1.2；深圳在 2000~2015 年人口增长最快、人口第三稠密，其自然生产力维持在 1.3 左右。惠州人口密度最低、城镇化水平第二低，其自然生产力基本维持在 1.8 左右。广州、佛山与中山人口密度接近，2000~2015 年，广州市城镇化水平从 83.8% 提高至 85.5%，幅度最小，其自然生产力稳定在 2.8 左右；佛山城镇化水平从 75% 提高至 95%，提高幅度仅低于东莞与中山，其自然生产力下降幅度最大，为 0.8；中山城镇化水平从 61% 提高至 88%，其自然生产力在湾区最高，2015 年为 3.7。江门、珠海、肇庆、香港的自然生产力也较高，2015 年为 2~3。

图 3.6 粤港澳大湾区城市群的生物承载力（2000 年）  
注：柱体的宽度代表人口相对规模。

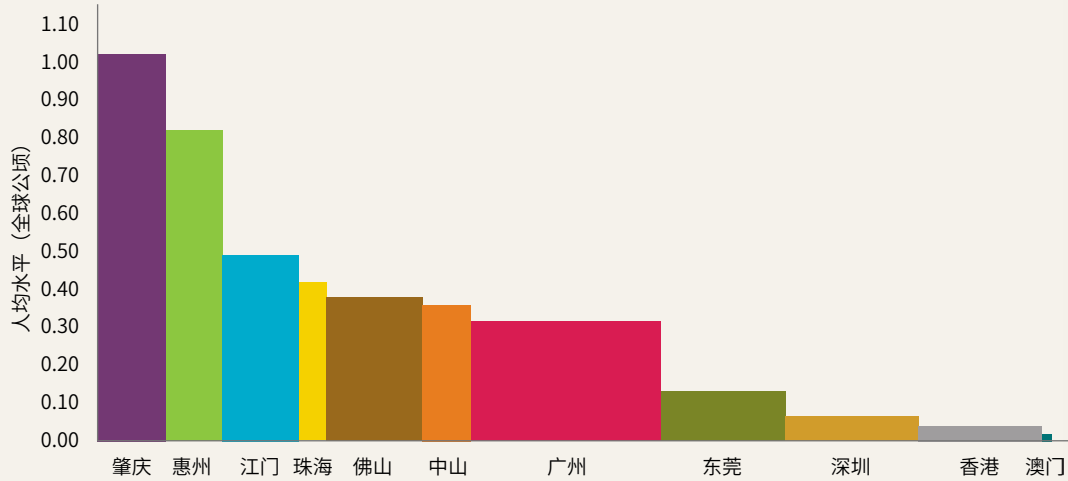
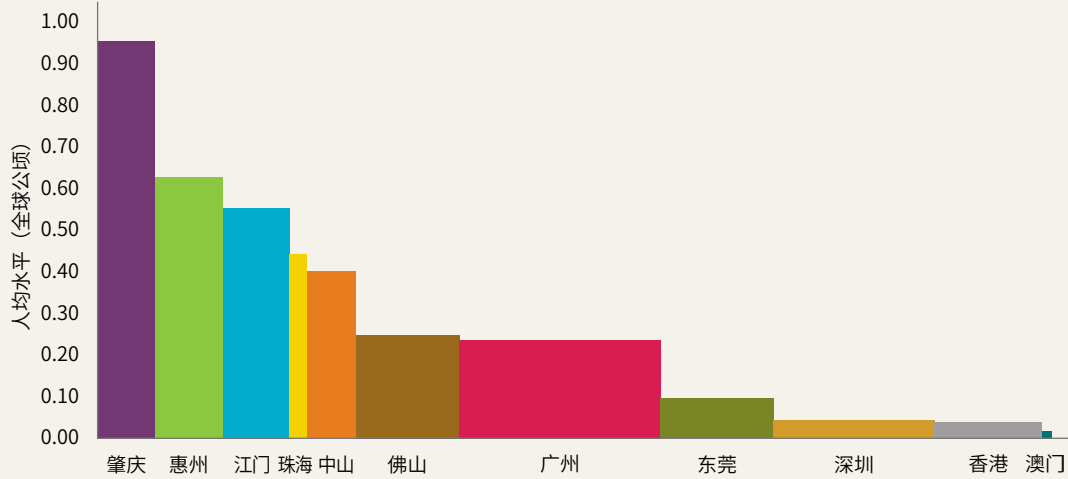
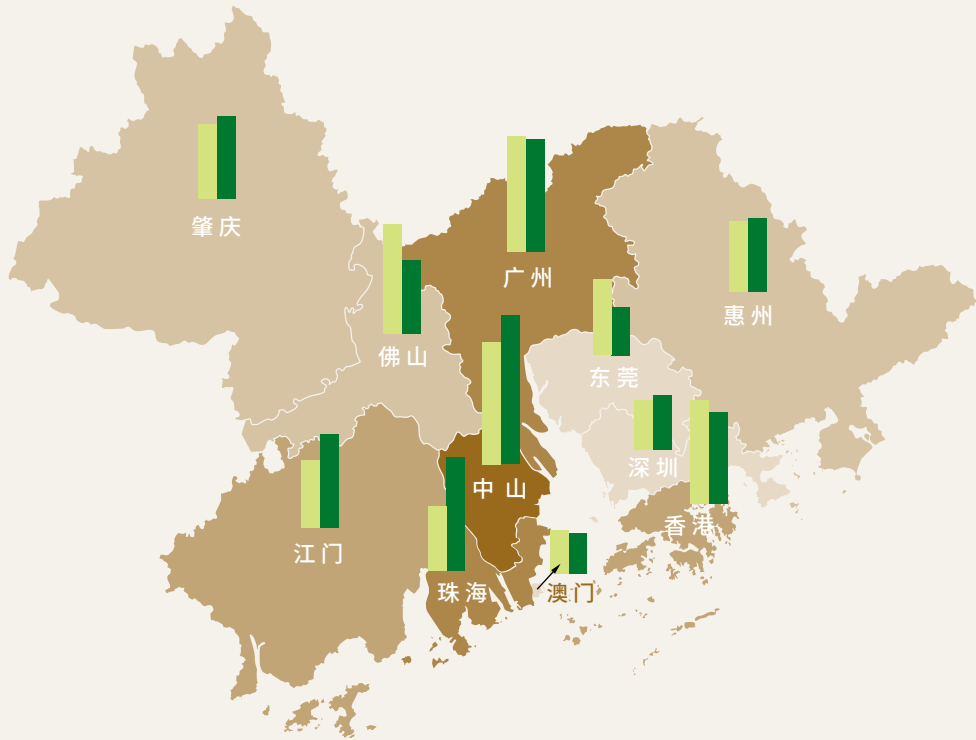
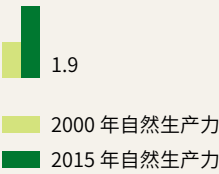


图 3.7 粤港澳大湾区城市群的生物承载力（2015 年）  
注：（1）柱体的宽度代表人口相对规模；与 2000 年相比，2015 年江门、佛山人均生物承载力在湾区内的排名较 2000 年时前移了一位，相应地，惠州、中山的排名后退了一位，其他各市的排名保持不变。（2）香港人均承载力为 2014 年值，由 WWF 香港分会提供。



2007 年的香港米埔湿地 © Martin Harvey / WWF

图 3.8 粤港澳大湾区自然生产力  
注：（1）自然生产力 = 生物承载力 / 区域面积  
（2）香港 2015 年数据采用 2014 年值，基于 WWF 香港分会提供数据核算。





生态足迹

2015 年，**粤港澳大湾区总生态足迹**为 2.8 亿全球公顷（香港采用 2014 年值，由 WWF 香港分会提供，下同），较 2000 年增长了 75%；年均增长率 3.8%，约是其生物承载力增速的 5 倍。80% 的足迹集中在广州、深圳、佛山、东莞和香港这五

个人口过 700 万（2015 年）的城市（图 3.9）。2000~2015 年期间，各城市的总生态足迹均有所增加，上述五个城市增长规模最大，共贡献了湾区 82% 的足迹增量。

图 3.9 粤港澳大湾区生态足迹的区域构成  
注：（1）2015 年图中香港数据为 2014 年值（由 WWF 香港分会提供）；（2）湾区 80% 的生态足迹、72% 的人口聚集、82% 的 GDP 在广州、深圳、佛山、东莞和香港这五个人口规模过 700 万人的城市。

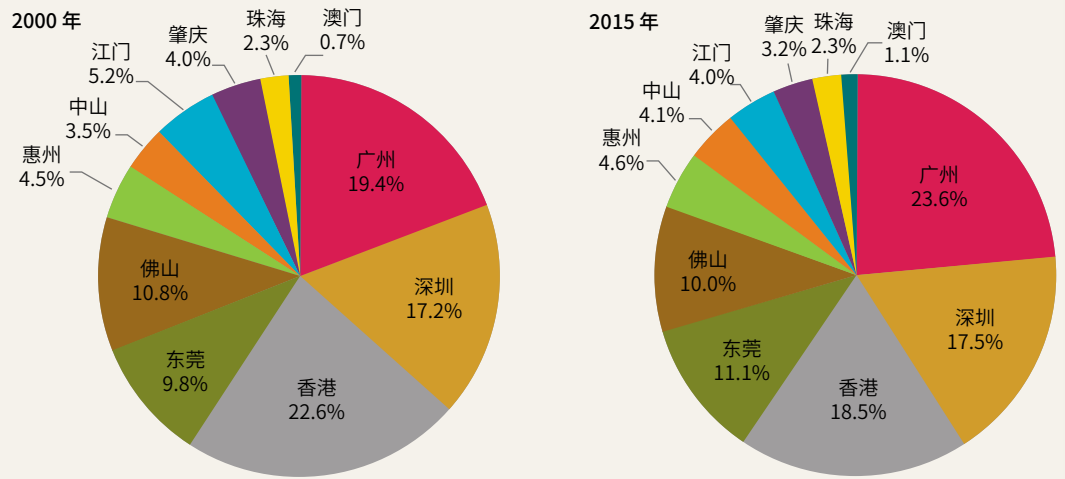


图 3.10 粤港澳大湾区各市生态足迹总量  
注：（1）香港 2015 年数据实际为 2014 年值，基于 WWF 香港分会提供的数据计算；（2）图中各城市由左到右按 2000~2015 年区域生态足迹总量增长规模由大到小顺序确定。

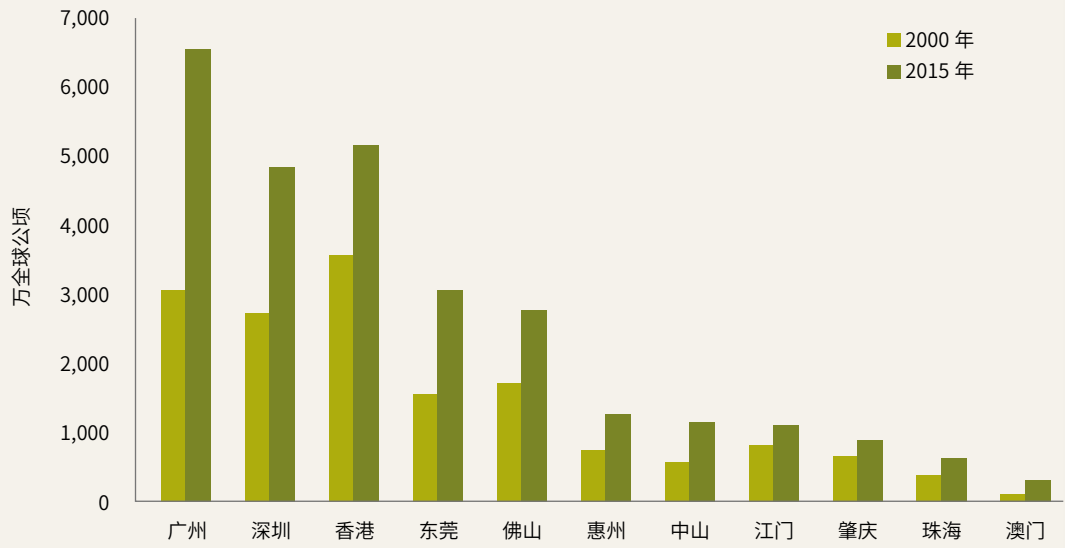


图 3.11 粤港澳大湾区各市的生态足迹(2000 年)  
注：香港数据由 WWF 香港分会提供。

■ 建筑用地  
■ 碳足迹  
■ 林地  
■ 渔业用地  
■ 草地  
■ 耕地

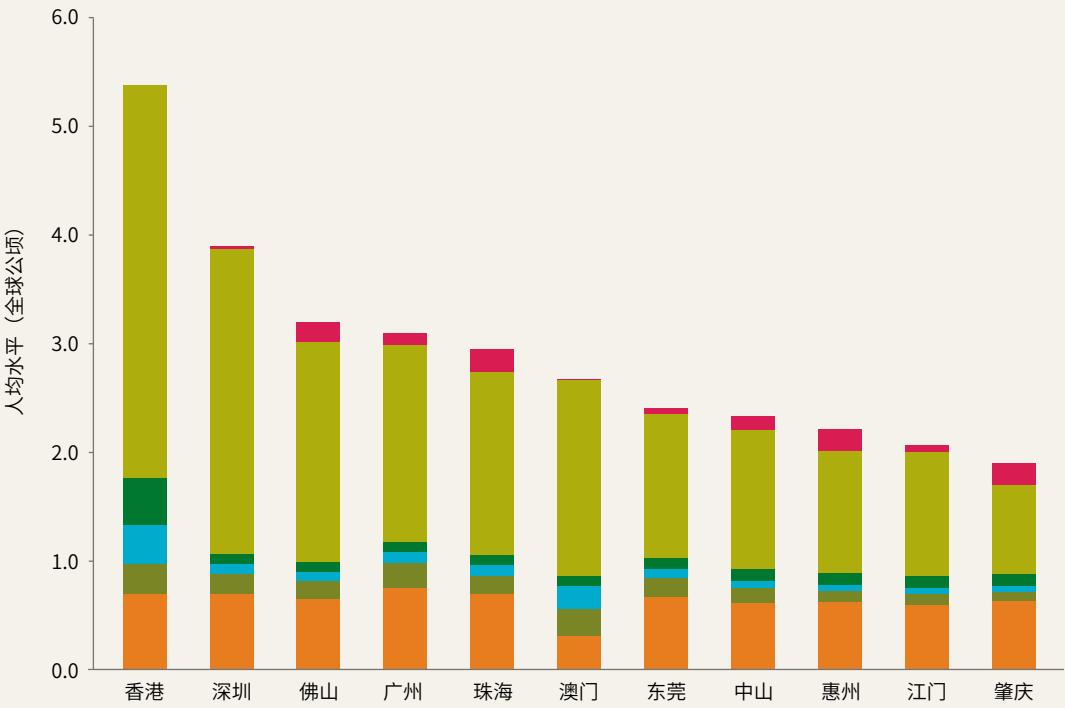
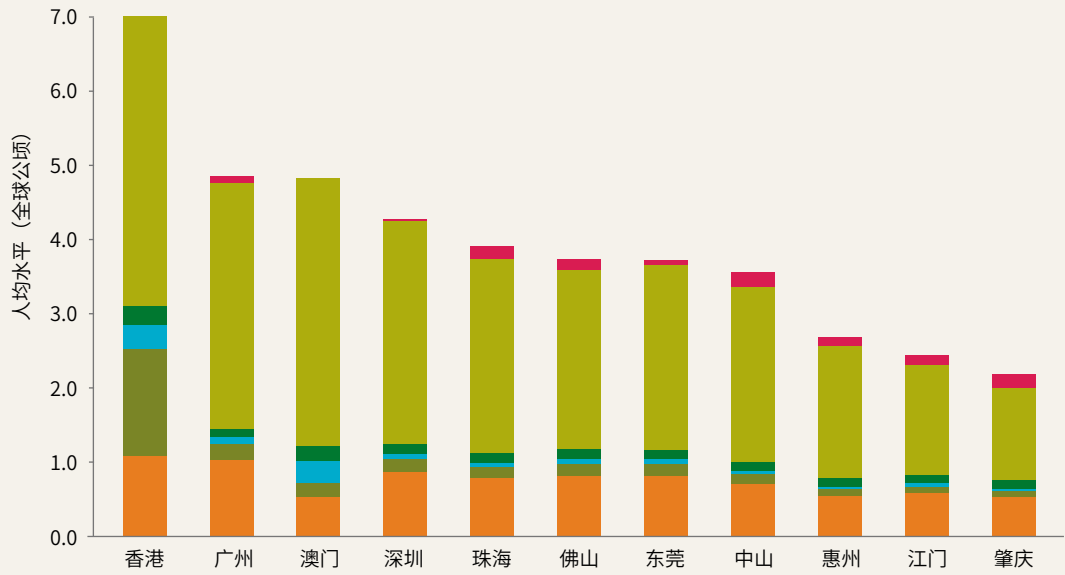


图 3.12 粤港澳大湾区各市的生态足迹(2015 年)  
注：香港数据为 2014 年值，由 WWF 香港分会提供。

■ 建筑用地  
■ 碳足迹  
■ 林地  
■ 渔业用地  
■ 草地  
■ 耕地



2015 年，**粤港澳大湾区人均生态足迹** 4.2 全球公顷，较 2000 年增长了 31%，年均增长 1.8%。同年，湾区人均 GDP 为 12.65 万元，是中国人均水平的 2.5 倍。湾区人民的生态消费是相对理性、生态文明的，虽然人均生态足迹超出了全球人均 1.68 全球公顷的生物承载力限额。2000~2015 年，湾区人口规模增长了 33%，年均增长 1.9%。人均足迹变动与人口规模变动对区域生态足迹增长的贡献基本相当。

湾区人均生态足迹差异化变动（图 3.11、图 3.12）。较 2000 年，2015 年澳门人均足迹增长了 80%，年均增长 4.0%；深圳人均足迹增长不足 9%，年均增长率 0.6%；广州、东莞与中山人均足迹增长了 50% 多，年均增长 2.8%~3.0%；香港等其他城市人均足迹增长了 15%~35%，年均增长 0.9%~1.8%。在这样的区域人均生态足迹差异化增长机制下，2015 年湾区各城市间的人均生态足迹差异低于 2000 年。某种意义上，这说明区域生态消费的公平程度在提高。区域人均 GDP 的公平程度较之提高得更明显。



与美国两大湾区相比，粤港澳大湾区各城市的人均生态足迹相对较低（图 3.13），人均生物承载力相对更低。粤港澳大湾区的发展生态约束更紧，其内各城市同时面临膳食生产空间不足与碳足迹吸收空间不足的双重挑战，然而，美国湾区城市面临的主要是碳足迹吸收空间不足问题。

碳足迹是湾区及各城市生态足迹增长的主要足迹组分，与全球和中国生态足迹的组分构成总体情形类似。2015 年，湾区碳足迹占其生态足迹的比重为 65%；耕地、草地与渔业用地三种可更新膳食足迹合计占生态足迹 30%（图 3.14）。与其 2000 年相比，

碳足迹所占比重提高了约 3 个百分点，可更新膳食足迹、林地足迹和建设用地各约下降了 1 个百分点。

碳足迹有两个来源：直接能源消费与伴随产品、服务消费发生的间接能源消费。2015 年湾区直接能源消费对碳足迹的贡献率为 14%，较 2000 年倍增（图 3.15）；86% 的碳足迹伴随产品、服务消费而间接发生，可见，调控碳足迹的重点场所在家庭及个人日常消费，更在社会生产与服务领域。从区域看，碳足迹占生态足迹的比重仅在香港与深圳有不同程度下降（图 3.16）。

图 3.13 中美湾区人均生态足迹比较  
注：旧金山统计区生物承载力数据缺失。

■ 生物承载力  
■ 生态足迹

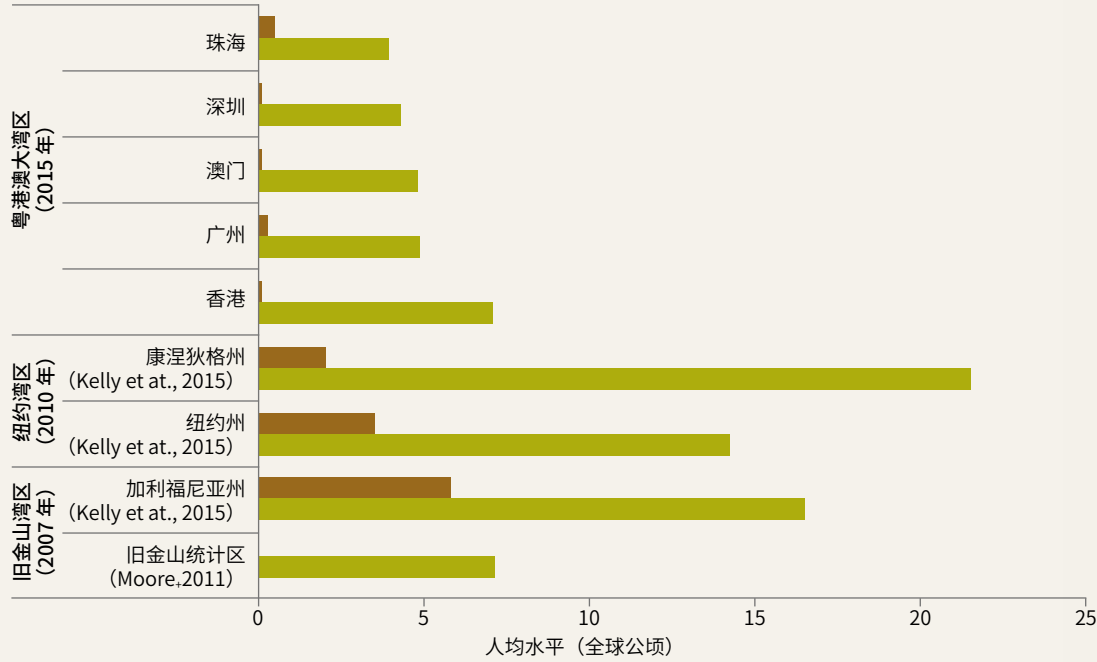
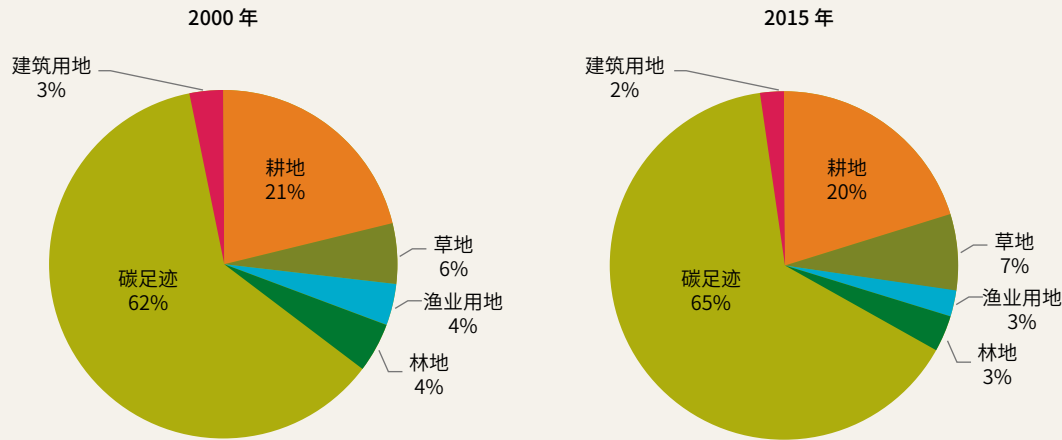


图 3.14 粤港澳大湾区生态足迹的组分构成  
注：2000 年与 2015 年湾区足迹中香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。



澳门地球一小时夜景 © Earth Hour - Macau

图 3.15 粤港澳大湾区碳足迹的来源  
注：（1）食品指在家及在外就餐的所有食品消费；非食物指服装、电器等产品消费与医疗、娱乐等服务消费；（2）因数据缺失，未包含香港数据。

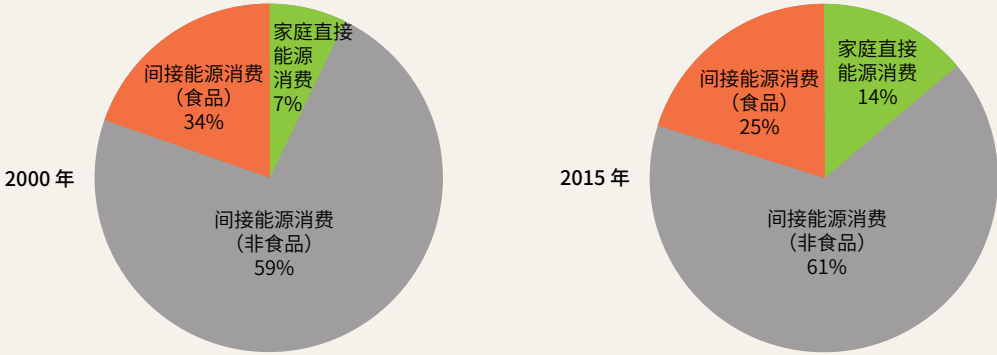
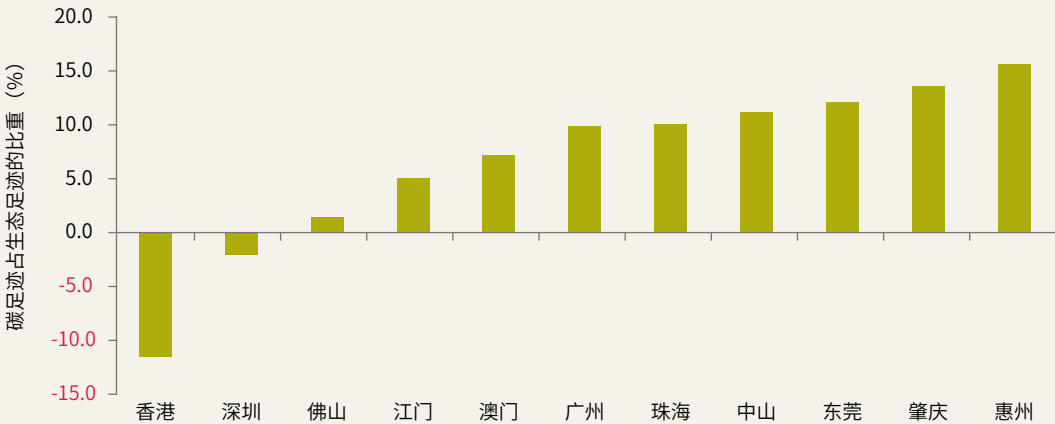


图 3.16 粤港澳大湾区碳足迹比重的变化 (2000-2015 年)  
注：香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据计算。



2015 年，湾区用来支持居民食物消费的 1.2 全球公顷膳食承载力中，约 12% 来自本地生产，88% 来自外地生产。本地膳食承载力满足居民食物消费的能力较 2000 年水平下降了三分之一。这里将本地膳食承载力满足居民食物消费的能力简称为膳食承载力自给率。2000~2015 年，湾区仅肇庆、惠州与江门三个城市的膳食承载力自给率保持在 30% 以上（图 3.17）：肇庆膳食承载力自给率基本保持在 80%；惠州膳食承载力自给率由 2000 年的 65% 下降为 2015 年的 46%；江门膳食承载力自给率由 2000 年的 31% 提高为 2015 年的 43%，主要得益于耕地承载力的提高。中山、珠海、广州与佛山膳食承载力自给率为 8%~16%。在生态资本极度匮乏的东莞、深圳、香港与澳门四个城市，膳食承载力自给率在 2015 年已低于 3%。除了肇庆与江门，湾区其他城市对外地膳食承载力的依赖均明显增强。湾区食物承载力自给能力的下降，有区域功能转变的原因，也与城镇化进程中土地利用集约性不够、生态规划约束力发挥不足密不可分。

在城市化进程中，香港农业衰退非常严峻，澳门农业生产功能基本消失，支持二地消费的生物质产品所需的生物承载力（即食物、纤维、木材等生物质产品生产所需的生物承载力，统称为 FFT 承载力）几乎全部依靠进口。2015 年，澳门的 FFT 承载力约 16% 来自中国大陆；香港所需的 FFT 承载力 45% 来自中国大陆，较 37% 的 2000 年水平提高了 8 个百分点（图 3.18）。

香港、澳门与大陆之间日益紧密的生态联系，不仅体现在生物质产品上，还体现在能源、生态用地、水资源等众多生态要素的跨区配置与共享领域。

从活动来源看，大湾区各城市居民消费的生态需求主要来自膳食与居所（图 3.19），前者包括家庭购买及在外消费的各种食品（含酒水饮料），后者包括居所能耗及满足起居生活所购买的各种耐用品与非耐用品。交通与服务对香港以外的湾区城市的生态影响贡献均在 10% 左右。

图 3.17 粤港澳大湾区各市本地膳食承载力对居民食物消费的支持能力  
注：（1）膳食承载力 = 耕地承载力 + 草地承载力 + 渔业用地承载力；（2）2000 与 2015 年香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。

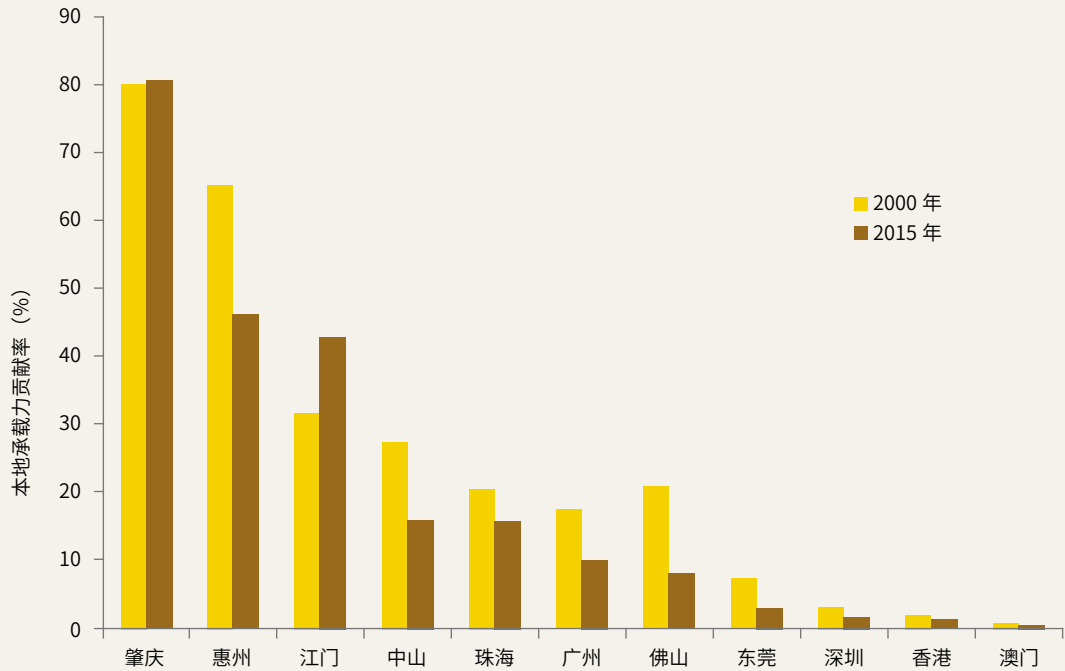


图 3.18 香港与澳门的生物承载力来源：基于生物质产品

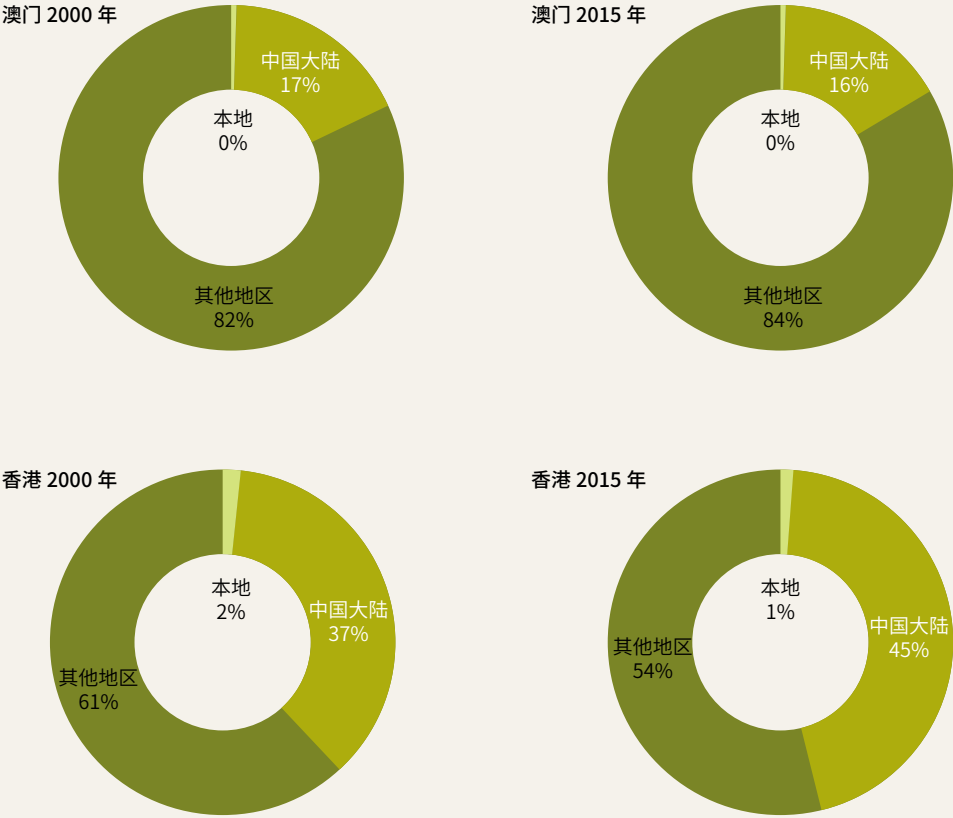
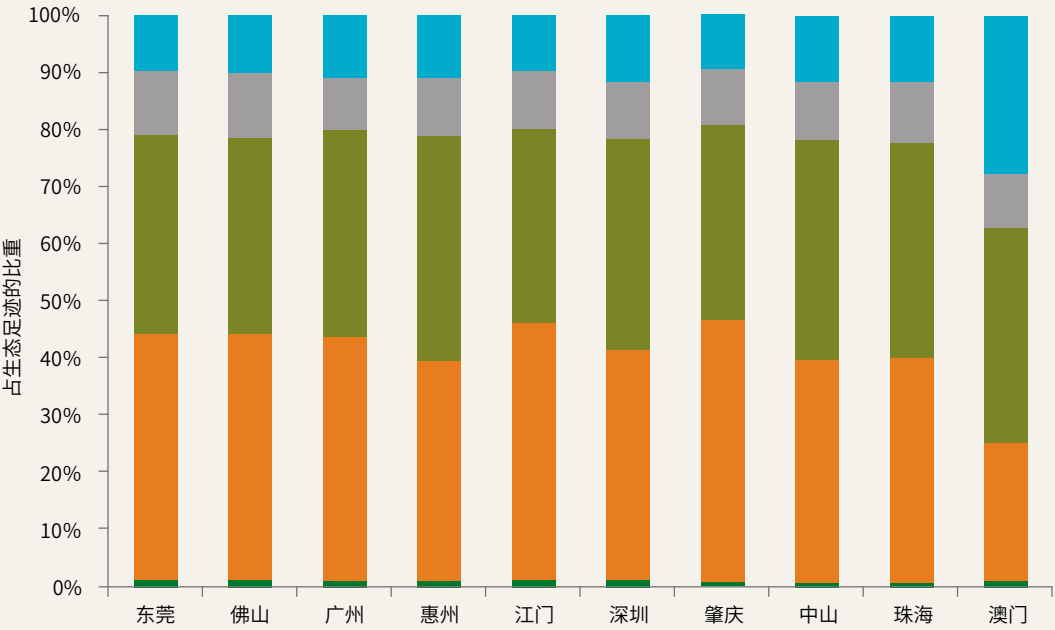


图 3.19 粤港澳大湾区生态足迹的活动来源（2015 年）  
注：因数据缺失，未包含香港。

服务  
交通  
居住  
食物  
衣服







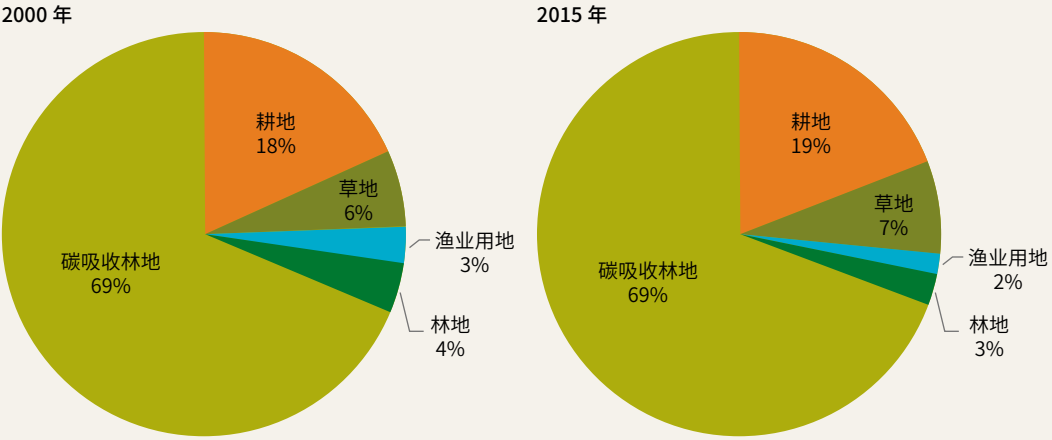
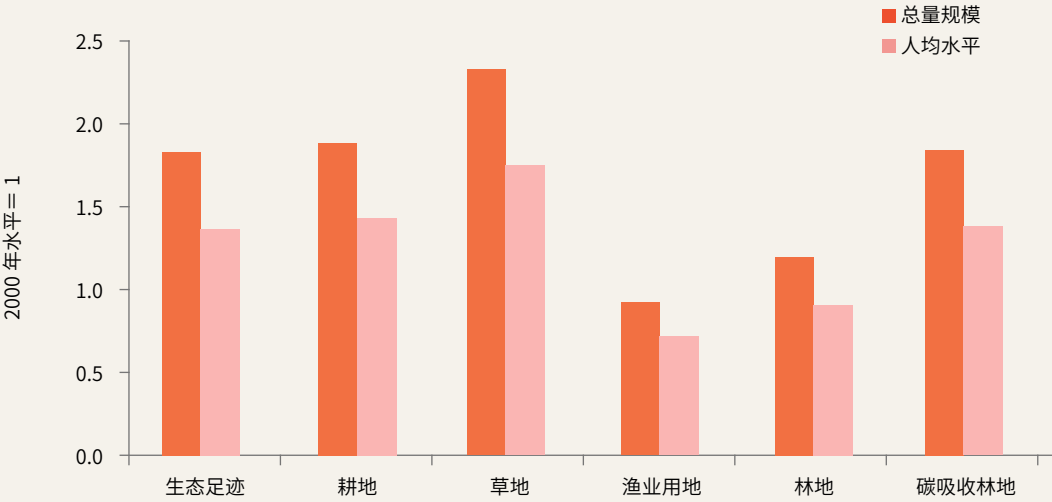
香港海下湾公园 © Martin Harvey / WWF

图 3.20 粤港澳大湾区生态足迹及各组分赤字程度（2015 年）  
注：2000 年与 2015 年湾区赤字中香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。

图 3.21 粤港澳大湾区生态赤字的组分构成  
注：2000 年与 2015 年湾区赤字中香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。

生态赤字

2015 年，粤港澳大湾区生态资本供需平衡结果为生态赤字，生态赤字总量为 25930.8 万全球公顷。与 2000 年相比，人均赤字增加了 36%，加上人口增长的贡献，赤字总量水平增加了约 82%。除不能跨越地理边界使用的建设用地外，湾区各类生物承载力组分均供不足需。2000~2015 年期间，湾区的生态赤字的组分构成基本保持稳定（图 3.21）。





湾区生态赤字的区域分布大致特征是：香港、广州与深圳共占 65% 左右，东莞与佛山合计约占 21%，其他城市合计占 15% 左右（图 3.22）。膳食型生产空间（耕地、草地、渔业用地）赤字的区

域分布规律与集中程度与之类似，其中，香港、广州与深圳合计约占 2/3，东莞与佛山合计约占 1/4（图 3.23）。

图 3.22 粤港澳大湾区生态赤字的城市构成  
注：2000 年与 2015 年湾区赤字中香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。

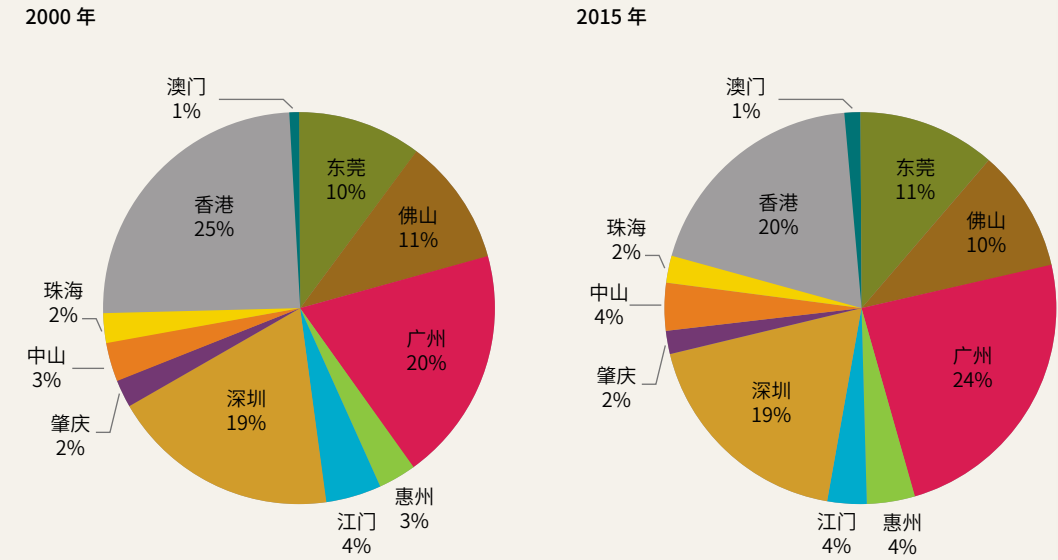
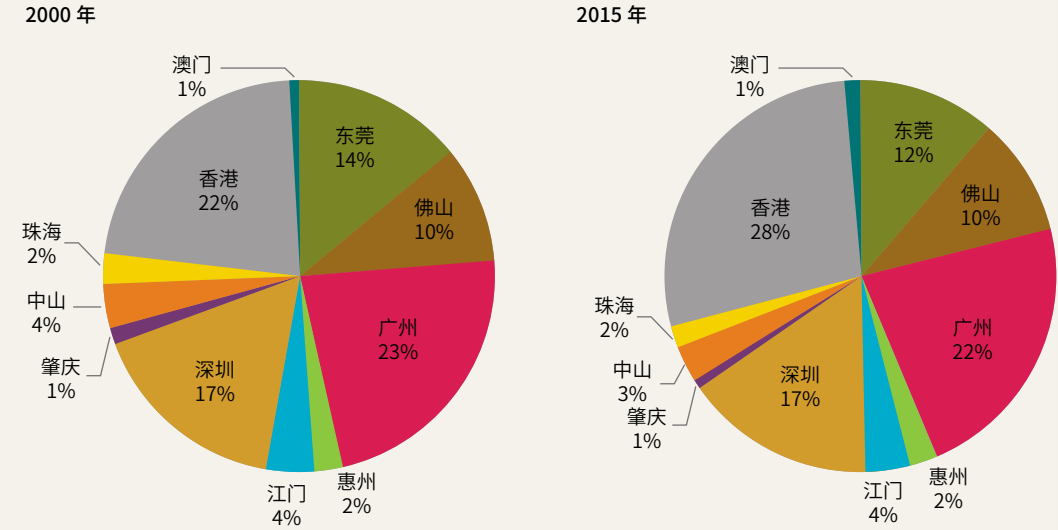


图 3.23 粤港澳大湾区膳食型生态赤字的区域构成  
注：（1）膳食型生态赤字 = 可更新膳食足迹 - 膳食承载力，其中，可更新膳食足迹 = 耕地足迹 + 草地足迹 + 渔业用地；膳食承载力 = 耕地承载力 + 草地承载力 + 渔业用地承载力；（2）2000 年与 2015 年湾区赤字中香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。



香港城市夜景 © Global Warming Images / WWF

## COLUMN 专栏

### 科学、客观看待城市生态赤字

人流与物流高稠密的城市，在能源系统成功实现以可再生能源为主体转型之前，似乎在逻辑上无法摆脱生态赤字的标签。于是，生态赤字给众人灰色的结论：城市没有可持续发展的未来，城市无法实现人与自然的和谐共处。生态赤字到底揭示了什么？应当如何科学解读生态赤字。

在全球尺度上，地球没有耕地、草地等具有生物生产力的生态资本贸易伙伴，是一个生态资本贸易视角下的封闭经济体，地球居民消费的生态足迹依赖其生物承载力来支持。人均生物承载力份额（现值为 1.68 全球公顷）是人类可持续利用生态资本的红线。

城市是以居住功能与非农生产功能为主体功能的区域，是开放的系统，其生态足迹可以通过贸易由其他区域的生物承载力来满足。

城市生态赤字首先反映的是区域的生态资本需求不能由当地生态系统满足。若城市的人均生态足迹不超过全球人均生物承载力份额（现值为 1.68 全球公顷），说明城市居民的生态资本消费，

包括生物质资源（膳食资源与木材、纸张等纤维资源）与能源资源消费，总体是可持续的。若城市的人均生态足迹超过了全球人均生物承载力份额（现值为 1.68 全球公顷），其生态足迹与碳足迹之差低于全球人均生物承载力份额，说明城市居民的生物质资源消费模式是可持续的，但能源利用模式具有一定的生态风险。

人均生态足迹不超过全球人均生物承载力份额，适宜作为城市可持续消费模式的战略标准。近中期内，人均生态足迹可以适当定高一些。城市本地生物承载力应当满足其多大比例的生态资本需求，或者生态赤字有多少，应当根据城市承担的功能，具体确定个性化的科学标准；一旦确定下来，应当作为城市发展的生态控制红线。对于城市而言，其自身生物承载力应当可以基本充足地满足居民对本地生态系统服务的需求。具体的生物承载力限值，取决于个性化的城市生产、生活功能与生态功能最低限度的平衡。对于深圳、香港、澳门这样以非农生产与生活功能为主的都市，可以适当定低一些；对于承担农业生产功能的都市，应当高一些。

图 3.24 粤港澳大湾区各城市的生态赤字规模及增长幅度（2000-2015 年）  
注：香港数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据核算；各城市柱体总高度即为 2015 年的生态赤字总规模。

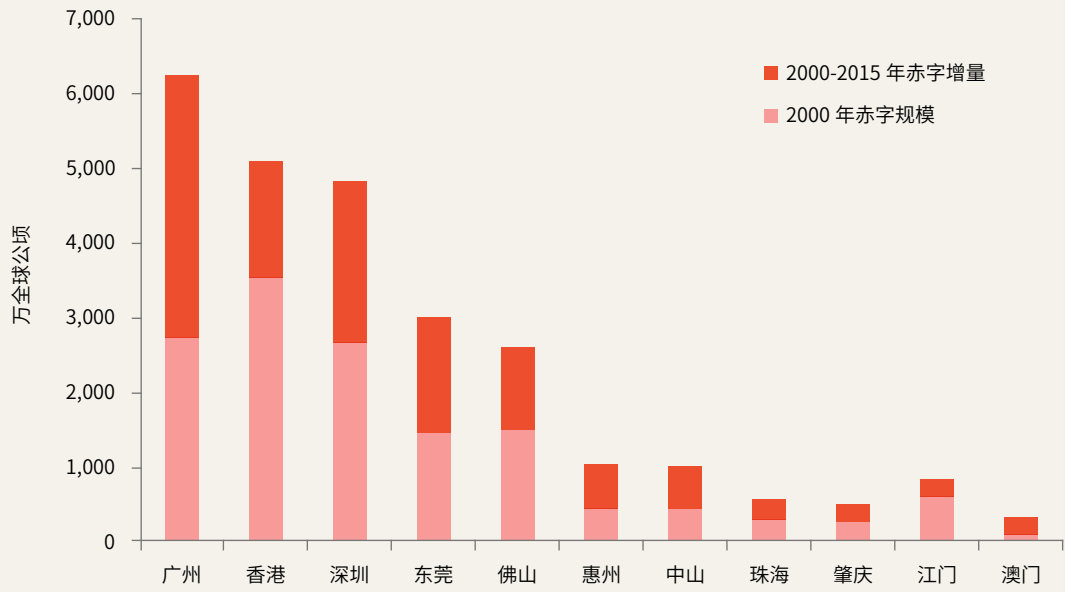


图 3.25 粤港澳大湾区各城市的生态赤字状况（2015 年）  
注：香港数据为 2014 年值，由 WWF 香港分会提供。

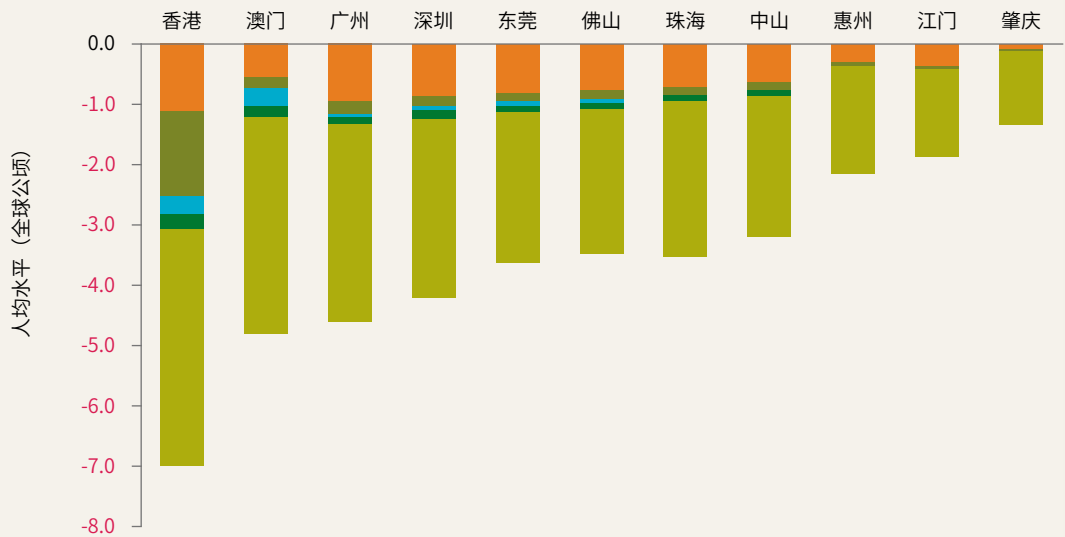
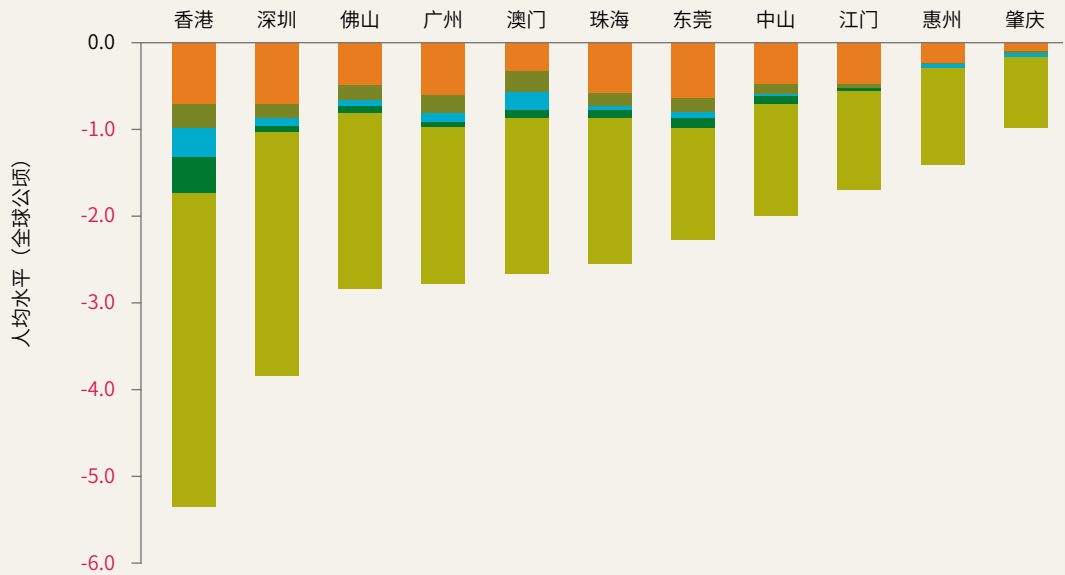


图 3.26 粤港澳大湾区各城市的生态赤字状况（2000 年）  
注：香港数据由 WWF 香港分会提供。

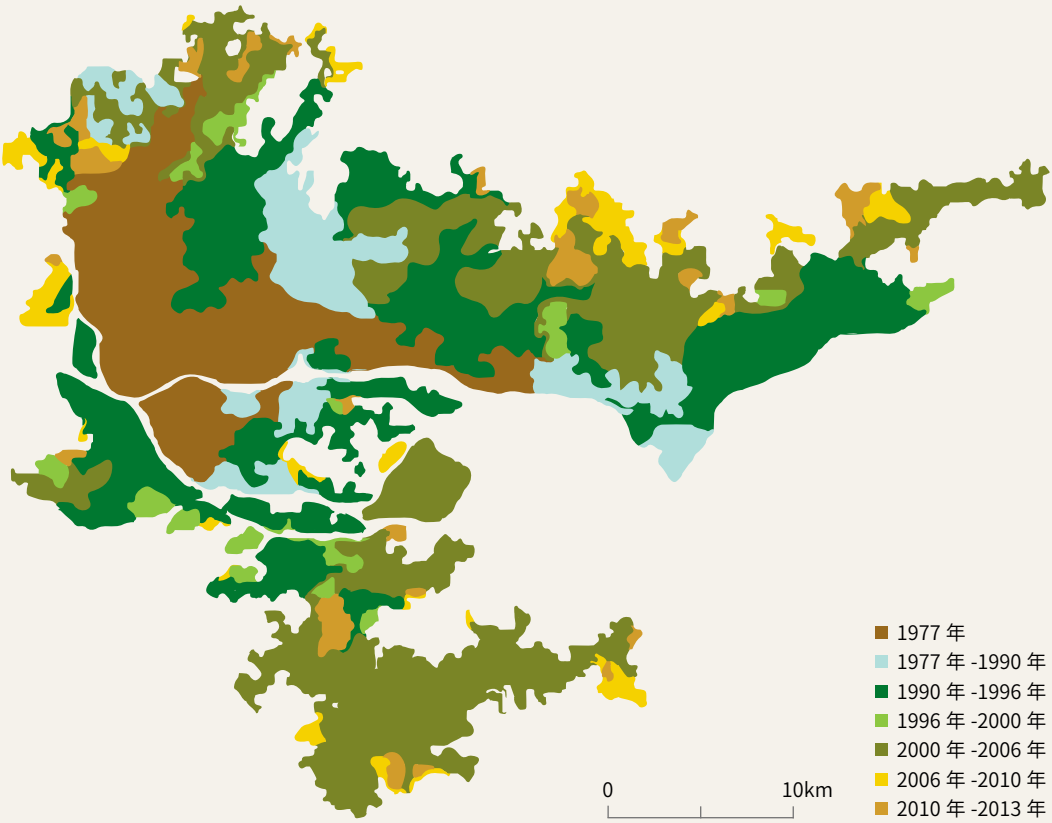


2000~2015 年期间，湾区各城市不仅生态资本供需平衡结果均为生态赤字，各组分的情况也是如此。与 2000 年相比，2015 年各城市生态赤字的总规模有不同程度增加，尤其以碳足迹与耕地赤字幅度增长最为显著（图 3.24 至图 3.26）。83% 的生态赤字增量汇集在广州、香港、深圳、东莞与佛山五个城市。

生态系统是人类生存繁衍的必要条件，是城市健康可持续发展的物质基础。城市化进程中，扩大生态赤字背后往往意味着城市空间扩张及自然生境的退化与丧失。由此产生生物多样性下降、外来种入侵

概率增加、生态系统服务能力下滑等系列生态隐患（李双成等，2009；林杨 & 王伟，2018；李俊生等，2005）。例如，在城市化进程中，广州市林地和湿地的面积有所增加，然而由之增加的生态服务价值无法弥补耕地减少所带来的生态服务价值的损失，区域系统生态服务价值下降的趋势（张轶秀，2011）。在广州市番禺区和南沙区工业化、城市化进程中，大部分“曲水芦苇荡、万顷荷色美”的湿地景观被桥梁、道路和港口等基础设施建设取代，致使那里的湿地区的昆虫的生物多样性受损严重，甚至劣于当地的农田（李志刚等，2010）。

图 3.27 广州建成区扩展动态（徐进勇等，2015）





# URBANIZATION, DEVELOPMENT AND ECOLOGICAL PRESSURE

## 城市化、发展与生态压力



2006 年日本森大楼俯瞰图 © Michel Gunther / WWF

区域生态赤字程度是该区域自然系统生态供给与经济社会系统自然生态资本需求竞争的结果。如果社会经济所需利用生态资源的提高幅度高于自然系统生态供给规模的提高幅度，区域的生态赤字将扩大。

在供给端，区域生物承载力规模由两个因素决定：土地面积和土地生产力。在消费端，区域生态足迹规模由三个因素决定：人口规模、人口创造的财富能力（一般用人均 GDP 表示）和生态资源经济产出效率（简称生态资源效率，即单位生物承载力利用的 GDP 产出大小）。这五个因素一起决定着区域生态资本供需平衡的结果。

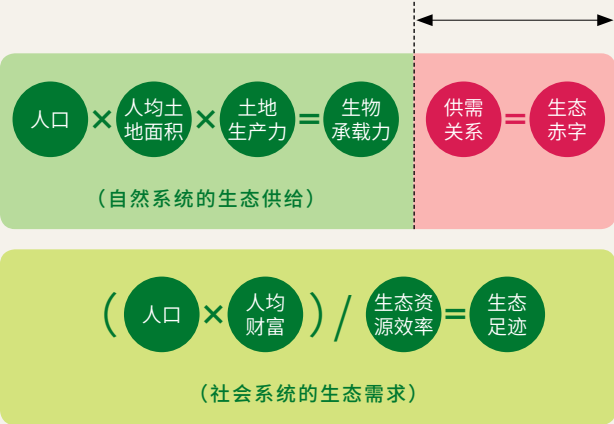
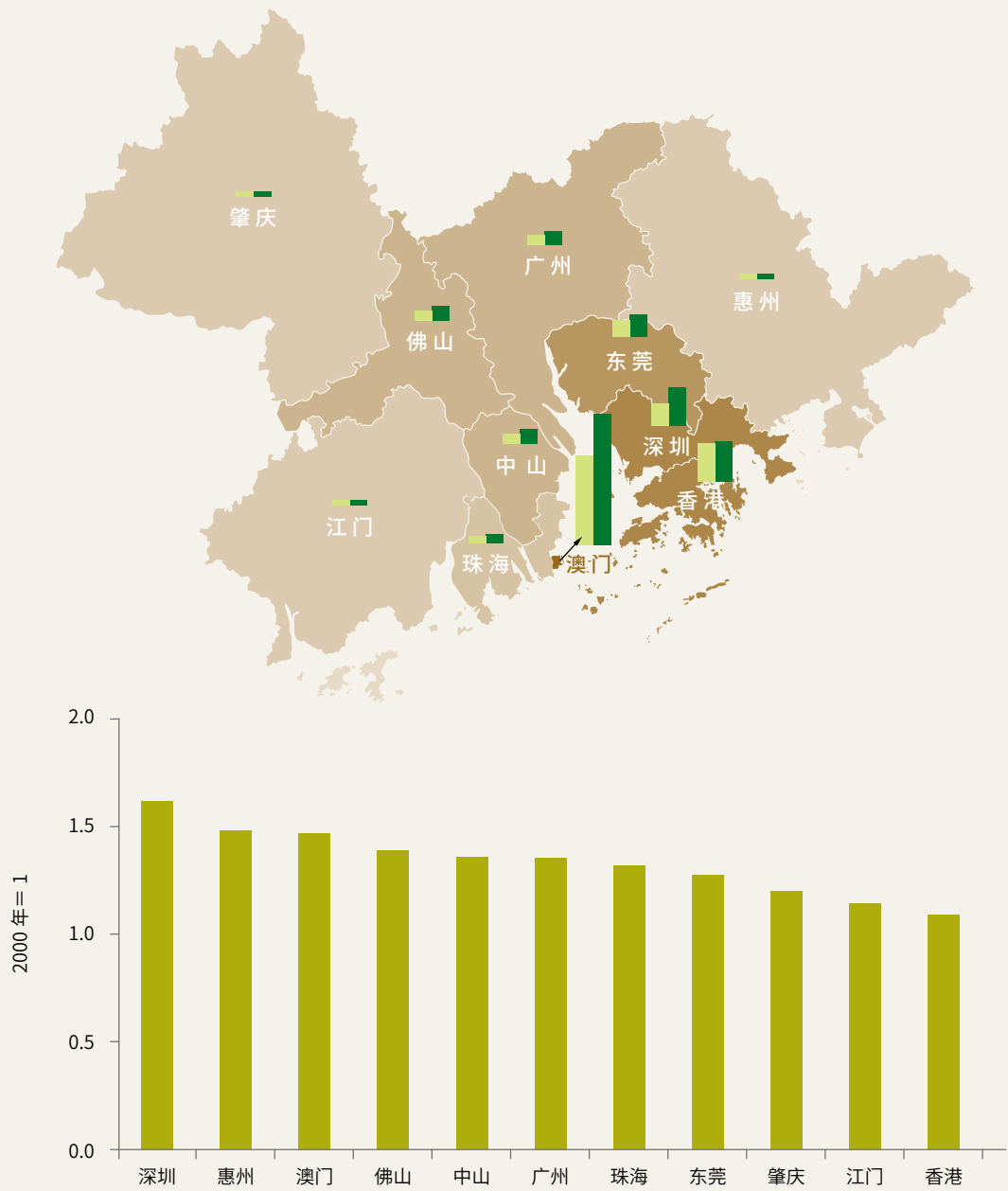


图 4.1 决定生态赤字总规模的五大因素



图 4.2 粤港澳大湾区人口密度（上）与人口规模变化（下）

注：下图城市按 2015 年区域人口规模较 2000 年增长倍数升序排列（由左到右）。



人口与经济增长是城市扩展的内在动力。2000 年到 2015 年，粤港澳大湾区总体上处于城市化成熟发展阶段，吸引了大量的人口在此高密度地生产生活（图 4.2）。城市化作为一种经济和社会发展的形态，与工业化、产业结构、经济格局演进相伴，在新世纪的头 15 年里，粤港澳大湾区的经济格局由期初的香港一极独大逐步形成了广州、深圳、香港多中心的经济格局。区域经济社会系统的生态资源产出效率环境发生了明显的变化（图 4.3）。

2000-2015 年期间，在人口增长的分母效应下，粤港澳大湾区各城市人均国土面积减少（图 4.4）。

在江门、珠海和中山三市，土地生产力增幅可以补偿人均国土面积的缩减，人均生物承载力有所增加。在澳门、珠海、广州、肇庆与香港，土地生产力增长不足以补偿人均国土面积的缩减，人均生物承载力下降，但是，区域总生物承载力有所增加。澳门的土地生产力增长有渔业的贡献，更有大陆以湿地损失为代价支持其生存发展的贡献（李金平等，2004）。在东莞、佛山、惠州，土地生产力降低与人均国土面积减少共振，造成区域生物承载力人均量与总量双双下降，成为湾区生态系统最为脆弱的区域。

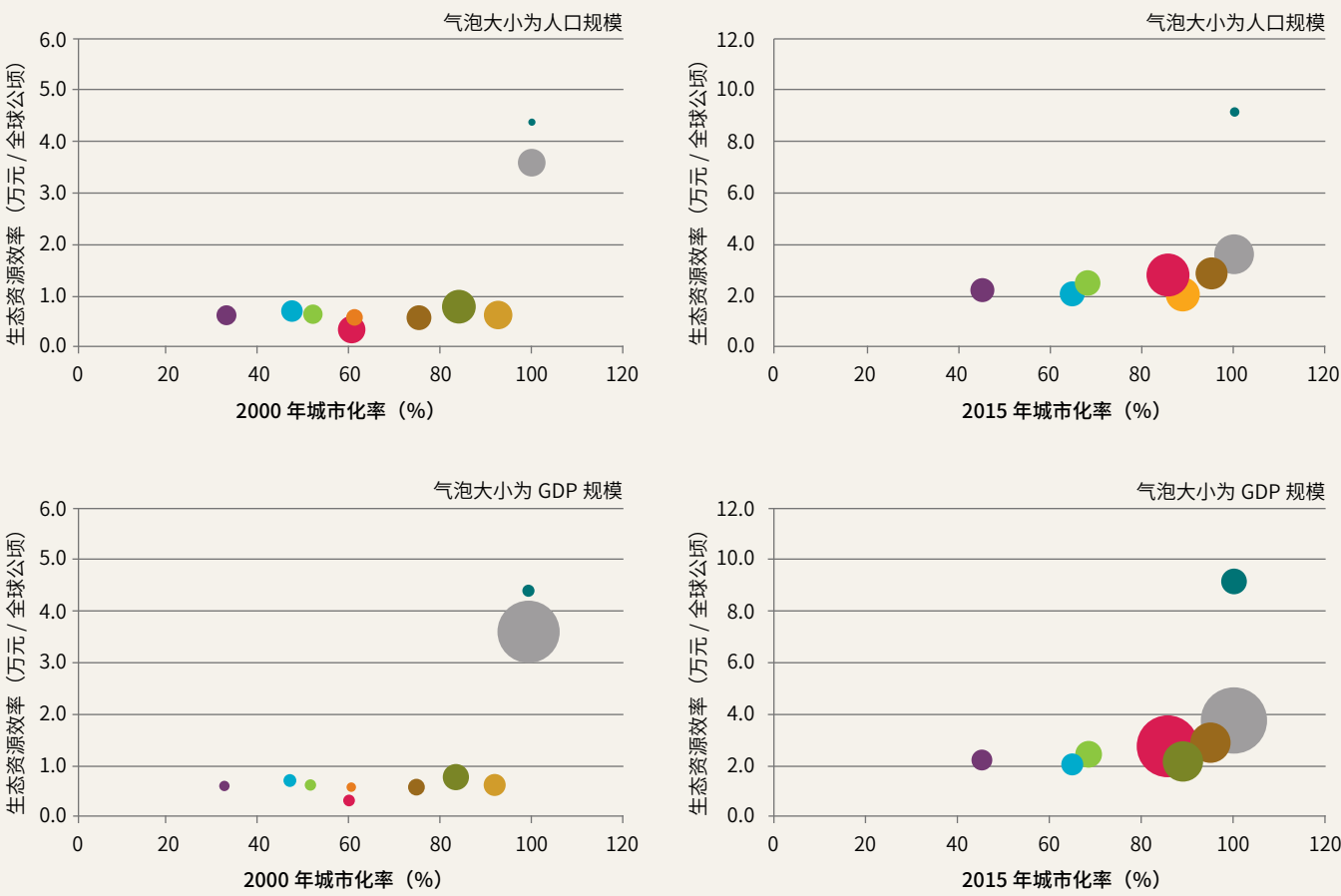


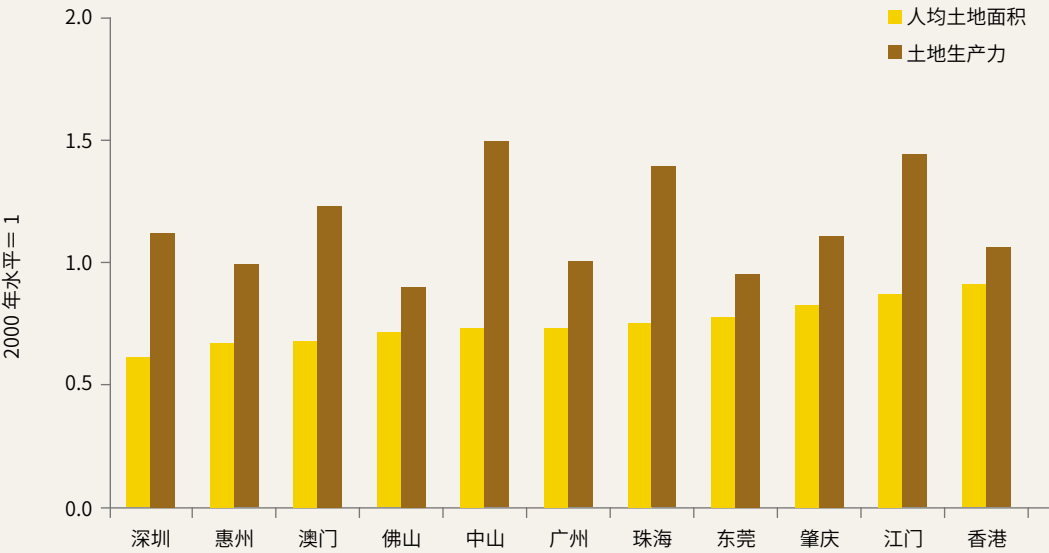
图 4.3 粤港澳大湾区人口、经济所处的城市化、生态资源效率背景

注：（1）人口更密集集聚在城市区域，有利于要素流动与资源优化配置；经济系统由单中心向多中心演化，也有利于要素流动与资源优化配置；（2）资源效率 = GDP/ 生态足迹，2000 年与 2015 年香港生态足迹数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据核算。



图 4.4 湾区人均生物承载力变动（2000-2015 年）驱动机制

注：（1）城市由左往右按 2015 年区域人口相对于 2000 年的规模排列；（2）2000 年与 2015 年香港生态足迹数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据核算。





区域单位全球公顷土地承载力投入的经济回报率，即区域 GDP 与生态足迹的比值，反映了区域生态资源利用的效率。分析期间，湾区各城市的生态资源效率均显著提升（图 4.5）。

在区域发展的一定时段内，快速的经济增长意味着快速的社会结构变迁、活跃的元素流动、扩展的世界联系、旺盛的消费需求，形成有利于生态资本利

用效率提升的发展背景。在消费没有达到饱和时，社会消费进步的步伐往往快于社会生产进步的步伐，使得生态资源效率提高的幅度赶不上人均财富增长的幅度，人均生态足迹增长（图 4.6）。加上人口乘数的作用，2000~2015 年湾区及其内各个城市的生态压力均增加。随着消费满足的实现，扩张型消费将逐渐朝品质型消费转变，加上效率提升，区域人均生态足迹将达到峰值，进入回落通道。

图 4.5 粤港澳大湾区生态资源效率  
注：资源效率 = GDP / 生态足迹。2000 年与 2015 年香港生态足迹数据采用 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年数据。

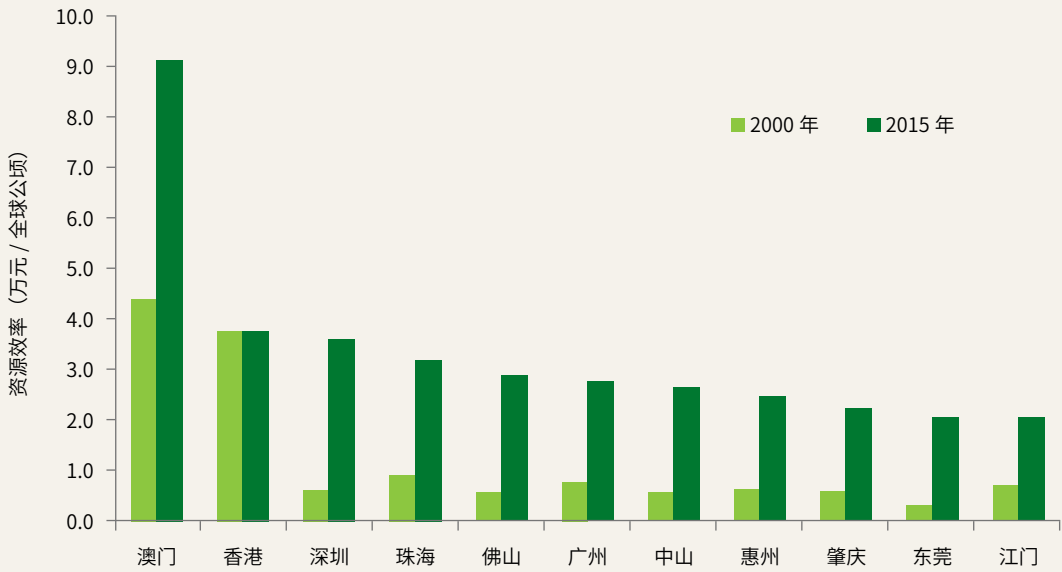
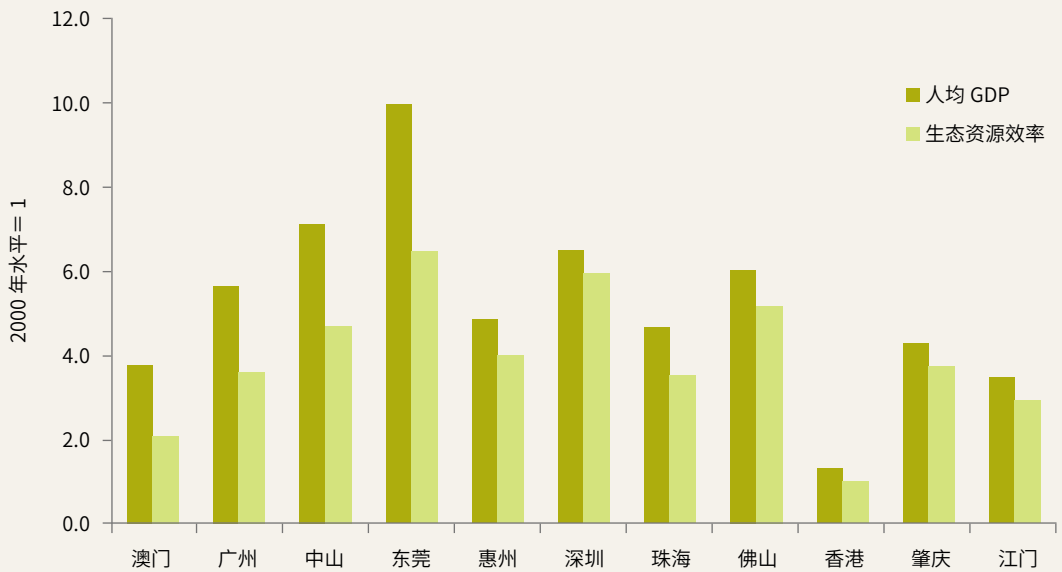


图 4.6 粤港澳大湾区人均生态足迹驱动机制比较（2015 年）  
注：（1）生态资源效率 = GDP / 生态足迹，香港生态效率基于 WWF 香港分会提供的 2000 年与 2014 年足迹数据计算；（2）城市由左往右按 2000~2015 年区域生态足迹总量增长倍数由高到低排列。生态资源效率提高幅度赶不上人均财富增长幅度，人均足迹增加。



深圳大鹏官湖海岸 © 谭璐铭 / WWF



COLUMN  
专栏

香港自然保育经验

香港经济发达，人口稠密，土地资源稀缺，约 75% 的土地为仍保留较自然的面貌，当中约 60% 的土地指定为各种与自然保育有关的用途(张志辉, 2016; 陈弘志等, 2016)，对控制城市发展对自然景观和环境的入侵具有重要意义。

在战后香港城市重建时期，为了减少城市发展对自然生态环境的威胁，香港的土地利用规划特别考虑到自然及文物保育的需求，自然保育的控制带包括“郊野公园”、“特别地区”、“海岸公园及海岸保护区”、“地质公园”、“具有特殊科学价值地点”、“自然保育用途地区”、“绿化地带”、“集水区”等，其中很多地点是互相重合的，例如大部分集水区和特别地区都处于郊野公园范围内（李劭等, 2017），合理的城市规划为生态环境保护提供了必要条件。1972 年，香港立法通过了第一个郊野公园五年发展计划（1972 ~ 1977）。1976 年，港府行政局正式

颁布了《郊野公园条例》。截至目前，香港已建设 24 个郊野公园和 22 个特别地区，总面积为 443km2，约占香港总面积的 40%。郊野公园建设过程中充分考虑城市与郊野的现存要素，形成人与自然和谐共生的边界空间,既保护了生态环境，又为居民提供了休憩空间。香港政府于 1995 年颁布了《海岸公园条例》，其后指定 5 个海岸公园和 1 个海岸保护区（图 4.7）。2004 年香港政府公布了《新自然保育政策》，鼓励商业机构与非营利机构合作建设 12 个优先加强保育的地点。香港郊野公园与特别地区、海岸公园、海岸保护区一起构成香港地区资源与环境的保护模式，对维护宝贵的生态资源起到了重要的作用。

香港的自然保育经验为解决粤港澳大湾区城市建设中城市扩张与自然环境的冲突提供了借鉴和参考价值。



图 4.7 香港自然保护区  
注：大小磨刀海岸公园（位于大屿山以北水域，海域面积约 970 公顷），于二零一六年十二月指定为海岸公园，未采用图例标记为海岸公园。该公园位于大屿山以北水域，海域面积约 970 公顷，设立的目的是保育中华白海豚及其栖息地，以及提升该水域的海洋及渔业资源。  
来源：《香港生物多样性策略与行动计划 (2016-2021)》

COLUMN  
专栏

深圳城市生态保育经验

在经济发展迅猛、人口高密度、土地资源极紧缺的情况下，湾区内的深圳在城市生态环境保育方面也进行了积极的探索。

1979 年，深圳建成区绿化覆盖率还不足 10%，城市内人与自然关系失调严重。

在 1994 年和 1995 年,深圳先后颁布实施了《深圳市经济特区城市绿化管理办法》及《深圳市经济特区城市园林条例》，加强城市园林绿化和管理养护工作，使得园林绿地面积逐年增加。

2005 年，深圳市在国内率先划定基本生态控

制线，控制线内的土地面积约 984.7 平方公里，加上规划和原有的公园面积，生态地达到陆地总面积的 56%，对保障城市基本生态安全、维护生态系统的完整性和连续性发挥了重要作用。2006 年，深圳开始构建“自然公园-城市公园-社区公园”三级公园建设体系，确保市民居住地 2 公里范围内有园林小游园或社区公园；5 公里范围内有休闲游览的大型城市公园；10 公里范围内有供市民回归自然和登山锻炼的郊野公园。

2016 年，深圳市建成区绿化覆盖率 45.1%，市民可以“出门见绿、500 米见园”。



图 4.8 深圳市基本生态控制线范围图  
来源：《深圳市基本生态控制线管理规定》



# INTER-CITY CONNECTIONS

## 粤港澳大湾区城市间的相互联系



香港货运码头 © WWF-Hong Kong Chai

粤港澳大湾区城市间有着天然的地缘、人缘联系，在经济上有着特殊的依赖。随着城市化进程的加快，粤港澳大湾区城市间的联系日益加强，不断增加的人口、资金、商品、资源、能源的流动，使得湾区城市间的关系愈加紧密，成为一个利益共同体。

2015 年的统计数据表明，当年广东接待入境过夜游客 3441.02 万人次，其中来自香港的游客 2123.02 万人次、占比超过六成；澳门游客 253.57 万人次，占比 7.4%；入境香港游客中，77.3% 的游客来自中国大陆，2.0% 的游客来自澳门；入境澳门的游客中，来自中国大陆和香港的游客占比将近九成。在大陆赴港澳游客来源地中，广东省是赴港澳旅游人数最多的省份。

香港、澳门与广东省之间贸易关系紧密。香港和广东是澳门的主要进出口地区，2015 年，澳门出口商品中，广东和香港贸易额占到澳门对所有国家（地区）总出口额的 71.2%；外地进口商品贸易中，广东和香港贸易额占到 29.3%。广东是香港最主要的进口商品来源地，2015 年其进口额占比为香港总进口额的 39.3%，占到了广东总出口额的 31.9%（图 5.1）。

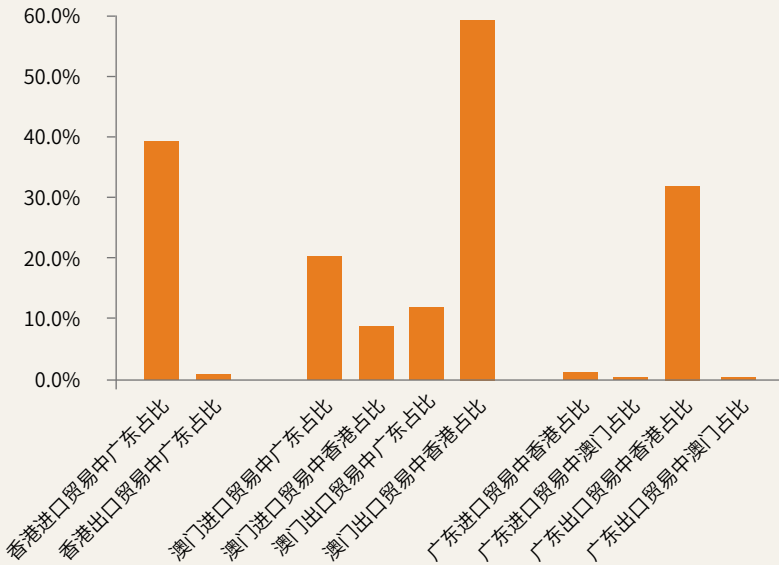


图 5.1 粤港澳间商品贸易额占比 (2015 年)





澳洲龙虾船 © Antonio Busiello / WWF-US

港澳的人口、土地面积和产业结构决定了其自产食材远远无法自给自足。长期以来，港澳居民所需蔬菜、肉禽等基本生活物资主要靠中国大陆供应。广东是向港澳地区供应鲜活动植物、动植物产品和食品的主要生产和保障基地。中国大陆的供港鲜活商品经深圳出境进入香港，供应香港市场 90% 以上的活猪、活牛、蔬菜、河鲜产品，以及 30% 以上的活鸡，而每天通过珠海运抵澳门的新鲜蔬菜总量占澳门蔬菜进口总量的七成以上。

香港人口密度高且没有自主水源，原水水源主要来自广东省的东江。从广东省输入原水的历史可追溯到 1960 年，自九十年代后期起，东江每年对港供水量占全港用水总需求量七至八成。澳门境内没有河流，用以储存水源的设施也十分有限，澳门日常约 96% 的原水由珠海供应，水源来自西江。

珠三角地区是港澳重要的电力供应地。香港每年用电量的四分之一由位于深圳的大亚湾核电站提供，而澳门用电量的 80% 以上由珠海供应（图 5.2）。

粤港澳大湾区是一个内部联系合作非常紧密的区域综合体，在生态文明建设过程中必须多方合作，共商共建共享，才能实现经济、社会与生态环境的可持续发展。

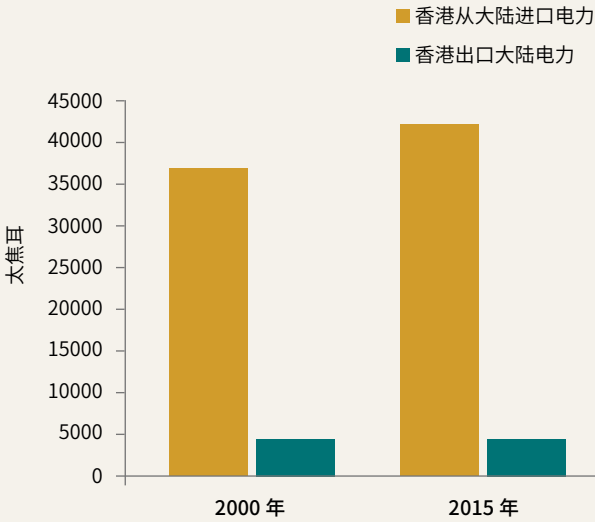


图 5.2 香港和大陆间进出口电力



# DEVELOPING A CITY CLUSTER CONNECTING TO NATURE

## 建设与自然共生的城市群



悉尼绿色建筑 © Shutterstock Olga Kashubin / WWF

城市化在促进社会经济发展、提高人类生活质量方面具有重要意义，对生态系统的结构、功能及空间演变也有着广泛而深远的影响。粤港澳大湾区增强的高密度的人类活动，产生了增长的生态系统服务需求，然而，扩展的城市已经使耕地、草地提供生态系统服务的能力发生了整体性的衰退，海洋丰富的滩涂、浅海区等后备土地资源与捕捞渔业成为了湾区减缓生态系统服务损失的重要抓手。湾区生态系统供给服务衰退的背后，隐藏着生态系统调节服务与支持服务下降风险。粤港澳大湾区人均生物承载力 0.27 全球公顷，人均生态足迹 4.2 全球公顷，预示着粤港澳大湾区生态系统服务的严重匮乏。在供给端，提供基本充足的本地生态系统服务；在消费端，抑制生态足迹特别是碳足迹的不合理增长，是当前和未来粤港澳大湾区建设亲近自然城市群的两个主要任务。

### 在供给端，提供基本充足的本地生态系统服务

土地能否提供基本充足的本地生态系统服务成为粤港澳大湾区生态文明建设必须应对的一个挑战。基本充足的生态系统服务要能满足城市在自然内、自然在城市中的基本景观格局和生态服务供给需求。具体是多大面积的土地，取决于个性化的城市生产、生活功能与生态功能最低限度的平衡。对于深圳、香港、澳门这样以生产与生活功能为主的城市，可以适当定低一些，对于拥有基本农田的城市应当适当地定高一点。最低限度的两条准则应当满足：（1）每公顷国土面积的自然生产力不低于全球各类土地利用的平均生产力，即每公顷国土面积的生物承载力至少达到 1 全球公顷以上；（2）土地利用转换过程中生物承载力总量至少不退化。对于粤港澳这样构成的城市群，建议采用如下准则：扣除建设用地后的人均生物承载力不低于支持城市群内人均基本口粮消费的生态土地利用需求。对于肇庆、惠州这样人均生态资源接近全国平均水平的城市，最低标准可考虑：本地生物承载力不低于居民的可更新食物足迹（耕地、草地、渔业用地）。





香港建筑工地 © Global Warming Images / WWF

保障本地生态系统提供基本充足的生态系统服务，可考虑采取恢复、保育与建设生态用地，保护与促进自然生产力两个办法。湾区各个城市都已行动起来，致力提供增长的生态服务。例如，为了重回自然，香港探索出了一条以郊野公园为依托的城市绿色生态空间建设样本，郊野公园在抑制城市蔓延、平衡开发与保护、提供康乐场所等方面发挥了有益作用（阎凯 & 沈清基，2018）。深圳市 2005 年率先提出生态保护红线的划定，以有效地保护自然生态空间，保障发展的生态底线安全，其做法于 2014 年在广东全省推广。在今后的城市发展过程中，湾区城市应全面而系统促进生物承载力提升：重视自然保育，设置市内园林、郊野公园等自然保育区域；以肇庆、惠州、江门、广州、佛山为重点城市，加强农田健康管理，促进土地质量恢复和提升；严格控制建成区扩展；开展林地、草地、滩涂、浅海区等生态建设和恢复保育工作；加强生态系统完整性与生物多样性管理。

在消费端，抑制生态足迹特别是碳足迹的不合理增长

抑制生态足迹特别是碳足迹的不合理增长成为粤港澳大湾区生态文明建设必须应对的另一个挑战。全球人均 1.68 全球公顷的生物承载力是我们追求的合理生态消费标杆。粤港澳人口消费未达到和翻过峰值，其 86% 的碳足迹隐含于物质与服务消费之中、80% 左右的生态足迹来自食物消费与居所消费。抑制其生态足迹增长需要走消费减量（物质量）与生产增效相结合的道路。区域应当大力发展生活服务业，为居民减量消费提供良好的社会舞台。减量消费需要全社会的共同参与和努力：生产者提供高品质、相对长寿的商品以及回收再利用使用后的产品；销售者减少搭售品；消费者尽可能购买本地农产品；网络购物平台禁售低价劣质品；理性发展共享商品与服务；公共管理部门提供便捷的公共交通服务，提高市民绿色出行率；使用低碳清洁能源；加快技术成果转化，提高能源利用效率；借鉴香港海水冲厕经验，提高水利用率。

作为一个内部联系合作非常紧密、生态资本极度匮乏的区域综合体与城市群，湾区发展应当生态规划先行，在一张清晰定位好各城市的生态角色、红线与格局的生态蓝图制约下，推进湾区发展，共同促进优质美好生活。全社会需一起行动，建设一个亲近自然、生态可持续、经济发达、生活美好而富裕的粤港澳大湾区。



# REFERENCES

## 参考文献

[1].Crutzen P J. 2002. Geology of mankind. Nature, 415: 22-23

[2].Diaz, R J, R. Rosenberg.Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems[J]. Science,2008, 321(5891): 926–29

[3].ETRI ( 中国石油经济技术研究院 ).2018.《2050 年世界与中国能源展望》(2018 版)

[4].Moore D.2011. ECOLOGICAL FOOTPRINT ANALYSIS SAN FRANCISCO – OAKLAND – FREMONT, CA METROPOLITAN STATISTICAL AREA

[5].Nicholls RJ, Wong PP, Burkett VR, Codignotto JO, Hay JE, McLean RF, Ragoonaden S, Woodroffe CD (2007) Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds), Cambridge University Press, Cambridge, pp 315–356

[6].Northam R M. Urban Geography. New York: John Wiely & Sons, 1975

[7].Ronna Kelly, Susan Burns, Mathis Wackernagel .2015.State of the States: A new perspective on the wealth of our nation

[8].WWF. 2018. Living Planet Report - 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.

[9].2017 年度粤港澳大湾区空间发展年度评估报告：湾区的元年与展望，2018

[10]. 陈弘志，张安 . 从香港郊野自然保育看景观政策的概念框架 . 风景园林 ,2016(01) :126-130.

[11]. 张志辉 . 香港的郊野公园和受保护地区 . <https://www.legco.gov.hk/research-publications/chinese/essentials-1617ise06-country-parks-and-protected-areas-in-hong-kong.htm>

[12]. 杜乐山，刘海燕，徐靖，等 . 城市化与生态系统服务的双向影响综述 . 生态科学 ,2017,36(06):233-240

[13]. 广东省人民政府，国家海洋局 .2017. 广东省海岸带综合保护与利用总体规划 , [http://zwgk.gd.gov.cn/006939748/201712/t20171212\\_734994.html](http://zwgk.gd.gov.cn/006939748/201712/t20171212_734994.html)

[14]. 李劼，刘建政，李卫锋 . 城市自然保育规划决策困境——以香港沙螺洞为例 . 国际城市规划 ,2017(05):1-9.

[15]. 李金平，王志石 .1983—2003 年澳门生态系统服务价值的变化 . 生态环境 ,2004(04):605-607+611

[16]. 李俊生，高吉喜，张晓岚，等 . 城市化对生物多样性的影响研究综述 . 生态学杂志，2005，24(8):953~957

[17]. 李双成，赵志强，王仰麟 . 中国城市化过程及其资源与生态环境效应机制 . 地理科学进展 ,2009,28(01):63-70

[18]. 李志刚，张碧胜，翟欣，等 . 广州不同生境类型区域昆虫多样性 . 生态学杂志 ,2010,29(02):357-362

[19]. 林杨，王伟 . 城市化进程对森林植物群落多样性的影响分析 . 南方农业 ,2018,12(24):117-118

[20]. 刘魏魏，王效科，谏非，等 . 全球森林生态系统碳储量、固碳能力估算及其区域特征 [J]. 应用生态学报 ,2015,26(09):2881-2890

[21]. 刘静暖，2010. 自然力经济学 . 长春出版社，p113

[22]. 刘通，程炯，，苏少青，等 . 珠江三角洲桑基鱼塘现状及创新发展研究 . 生态环境学报 ,2017,26(10):1814-1820

[23]. 陆大道 . 关于珠江三角洲大城市群与泛珠三角经济合作区的发展问题 [J]. 经济地理 ,2017,37(04):1-4

[24]. 魏辅文，聂永刚，苗海霞，等 . 生物多样性丧失机制研究进展 [J]. 科学通报 ,2014,06:430-437

[25]. 香港生物多样性策略与行动计划 (2016-2021). 香港特别行政区环境局，2016.

[26]. 徐进勇，张增祥，赵晓丽，刘斌，易玲 . 近 40 年珠江三角洲主要城市时空扩展特征及驱动力分析 . 北京大学学报 ( 自然科学版 ),2015,51(06):1119-1131

[27]. 阎凯，沈清基 . 香港郊野公园阶段特征与管制机制研究 [J/OL]. 国际城市规划 [2018-11-30].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5583.tu.20181015.1001.001.html>.

[28]. 张轶秀 . 广州市土地生态系统服务价值分析与评价 . 广州大学 ,2011

# TECHNICAL DESCRIPTION

## 技术说明

### 生态足迹

生态足迹是指人类为满足其资源消费、污染物消纳、基础建设支持等需求所需利用的所有生物生产性土地的总和，而自然可为人类提供的生物生产性土地的规模，即为生物承载力。换言之，生态足迹是满足人类消费所需要的生物承载力数量。对于某一研究区而言，这些生物承载力可以来自本地，也可以来自本地以外的地区；可以来自分析的年份，也可以来自之前或未来的年份。当生态足迹指向未来的生物承载力时，说明人类透支了生态服务功能，可能造成生态资产退化，加大未来发展的生态风险。

为了使单产能力不同的各地、各类的土地利用具有可比性，生物承载力和生态足迹采用用“全球公顷”这样的标准化面积来计量。生态足迹与生物承载力均包含六种组分：耕地、草地、渔业用地、林地、碳足迹（碳吸收用地）、建设用地。目前，全球尚无专门林地用于吸收人类生产生活所排放的二氧化碳，即生物承载力中可供利用的碳吸收用地面积为零。对于一个指定的区域而而言，二者的平衡关系有三种结果：生态赤字（生态足迹 > 生物承载力）、生态盈余（生态足迹 < 生物承载力）、生态平衡（生态足迹 = 生物承载力）。

人类的生态资本消费需求，总体上可以分三类：生物物质资源（膳食资源与木材、纸张等纤维资源）消费需求、建设用地需求、能源资源消费需求。耕地、草地、渔业用地、林地四类足迹组分基于人类生物物质资源需求，反映的是对生态系统物质生产服务功能的需求；建设用地足迹衡量的是支持人类城乡住宅、产业生产、交通等基础设施建设所需空间，由

耕地、草地、林地等原本具有生物承载力功能的土地利用转换过来；在能源利用废弃物消除角度下，碳足迹基于人类能源资源需求，反映的是对生态系统非物质生产服务功能的需求。可见，从人类生态资本需求本质而言，耕地、草地、渔业用地、林地、建设用地五类足迹组分是人类对生态系统物质生产功能的需求，依赖当年或往年的生物承载力组分来满足，是真实生态资本需求；碳足迹是人类对生态系统非物质生产服务功能的需求，在净零生态影响原则下也应当由当年生物承载力来满足，当其不能由当年的生物承载力满足时意味着现有能源利用模式具有生态风险。

在全球尺度上，地球没有耕地、草地等具有生物生产力的生态资本贸易伙伴，是一个生态资本贸易视角下的封闭经济体，地球居民消费的生态足迹依赖其生物承载力来支持。1.68 全球公顷的人均生物承载力份额是人类可持续利用生态资本即人均生态足迹的红线。在生态足迹法中，建设用地在需求与供给基本是相等的；在全球尺度上，可更新膳食足迹与膳食生物承载力空间也大致相当，生态赤字主要是碳足迹造成的；在区域尺度上，很多地区的可更新膳食足迹与膳食生物承载力空间往往并不接近，生态赤字成因相对复杂一些。



碳足迹

在生态足迹法中，碳足迹衡量的是人类能源消费的生态资本、生态服务需求。核算视角总体有两类，一类是从能源替代视角核算生产人类直接或间接所消费的化石能源需的生态资本数量，不局限于林地；另一类是从消除能源利用的废弃物角度核算，仅考察人类直接或间接利用煤炭、石油、天然气等化石能源的碳排放，这部分碳排放约 28% 由海洋吸收，剩余部分假定由林地吸收。

本报告，与几乎全部已有生态足迹一样，从能源利用废弃物消除角度核算碳足迹。此种情形下，碳足迹实际指扣除海洋碳吸收贡献后消除人类化石能源利用的碳排放所需的林地面积。全球森林平均固碳

能力约 1 吨碳 / 公顷。人类直接或间接燃烧化石能源每排放 1 吨碳，扣除约 28% 的海洋碳吸收贡献后，还需要 0.8 公顷林地即 1 全球公顷林地。也就是说，1 全球公顷碳足迹衡量的是消除人类直接或间接燃烧化石能源所产生的 1 吨碳排放的生态服务需求。

能源利用废弃物消除角度下，碳足迹衡量的是人类能源利用的生态风险，其发生的时间、地点与影响程度具有不确定性。对粤港澳大湾区这样承担人口居住功能、人流和物流高稠密的城市群而言，碳足迹在未来一定发展时期内依然对生态赤字起决定作用。对这类区域的生态赤字问题不能与全球、全国及乡村地区的生态赤字问题等同视之。

可更新膳食足迹

满足人们食品消费的生态资本需求是人类对自然生态资本的基础性与永恒性需求，在很大程度上，是人类对自然生态资本的刚性需求，依赖耕地、草地与渔业用地的规模与生产力。

在本报告中，在生态资本需求端，耕地、草地、渔业用地三类足迹组分被统称为可更新膳食足迹。可更新膳食足迹与支持食物消费所需要的碳足迹一起构成了完整的食物足迹。相应地，在生物承载力供给端，耕地、草地、渔业用地三类生物承载力组分在本报告中被统称为膳食生物承载力。将可更新膳

食足迹大于膳食生物承载力空间的情形定义为膳食型生态赤字；将可更新膳食足迹小于膳食生物承载力空间的情形定义为膳食型生态盈余。当库存变化可以忽略的情况下，区域膳食型生态赤字反映的是该区食物消费对外部生态资本的依存程度，它几乎没有弹性，需要其他区域切实提供同等大小的膳食生物承载力空间；相比而言，综合角度的生态赤字反映的是区域消费对外部生态资本、未来生态资本的混合依存程度，碳足迹造成的赤字部分相对而言具有一定的弹性。

核算方法（香港以外城市）

在本报告中，香港的生态足迹与生物承载力由 WWF 香港分会提供。其他城市的生态足迹与生物承载力由项目团队采用下述方法核算。

生态足迹法由生态足迹与生物承载力核心指标组成。它把生物生产性土地利用空间作为地球生态系统可更新能力的代名词，以生物生产性土地利用为媒介，采用生态足迹与生物承载力两个对应性指标，度量进出社会经济系统的生态服务流，以及自然对这些生态服务流的最大满足能力，以此刻画自然与人之间相互作用形成的供需关系。在需求端，以生态足迹为指标，评价人类对生态系统可再生能力的需求；在供给端，以生物承载力为指标，评价区域可供人类开发利用的生物生产性土地规模。生态足迹法将每个人消费或自然生产的生态服务流折合成为全球统一的、具有生产力的地域面积，单位为“全球公顷”。通过比较区域生物生产性土地的需求量（生态足迹）与可得量（生物承载力）之间的对比关系，判断区域经济活动在生态意义上的可持续性

生态足迹，是指生产一定人口特定活动的资源、吸收其产生的废弃物所需要的生物生产性空间（包括陆地和水域生态系统）的面积，且无论其在地球的位置如何。生态足迹核算基于的基本假设包括：（1）绝大多数人类消费的资源与排放的废弃物是可定量与可追踪的；（2）这些资源与废弃物中的重要组分可以用生物生产性土地面积来衡量。不能用生物生产性土地面积来衡量的资源流与废

弃物流被排除在评价模型之外，因此，生态足迹核算会低估人类的实际生态足迹。

由于数据限制，采用了混合法核算生态足迹。对广东各市，从区域人均消费出发，核算区域的人均生态足迹，然后再通过人口规模，计算区域的总生态足迹。对于任一消费项目 k，其人均某类生态足迹组分 (ef) 计算公式为：

$$ef_j^k = c^k * EFI_j \tag{1}$$

式中：c 为区域人均年消费量，单位：t；上标 k 表示生态足迹组分类型标记；EFI 表示消费项目的生态足迹强度，单位：gha/t。对于无法获得消费量的消费项目，基于消费支出核算，c 为消费支出，单位：元；相应地，EFI 的单位为“gha/ 元”。

对于澳门，能源、服务等消费的生态足迹采用式 (1) 核算，对生物质产品基于表观消费量计算生态足迹（式 (2) ），其中，表观消费量等于国内生产与净进口贸易之和，然后经人口调整得到人均足迹。

$$EF = \sum_{j=1}^n eqf_j \sum_i \frac{C_i}{Y_i} YF_i \tag{2}$$

式中：EF 与 BC 分别为区域的生态足迹与生物承载力；i 为消费项目的类型；j 为生物生产性空间的类型；eqf<sub>j</sub> 为第 j 类土地利用的均衡因子；C<sub>i</sub> 为 i 种消费项目的年表观消费量；Y<sub>i</sub> 指第 i 种消费项目的全球年平均产量；YF<sub>i</sub> 指产量因子。



生物承载力也采用了混合算法。渔业用地基于全球生产力核算，见式（3），研究将捕捞获得的渔获视为区域生态生产的一部分；耕地、草地和林地的承载力基于土地利用面积、产量因子和均衡因子计算得到。考虑到南方灌林草地的林木生产和草本生产的多功能性，将部分灌林同时作为草地处理。

$$BC = eqf_j \sum_k \frac{P_k}{Y_k} YF_k$$

(3)

$$BC_j = eqf_j a_j YF_j$$

(4)

式中，a 表示土地利用面积，P 表示水产品的产量，其他符号同前。采用的全球公顷为以 2010 年全球土地生产力为标准的全球公顷。采用的均衡因子见附表 1。

附表 1 土地利用的均衡因子（全球公顷 / 公顷）

耕地	森林	草地	渔业用地	碳吸收林地	一般建筑用地	水利设施建筑用地
2.51	1.26	0.46	0.37	1.26	2.51	1.00

数据来源

研究涉及三个层面的数据：区域基础数据、全国平均的生态足迹强度数据、全球农业生产力数据。

广东各市人口、城镇化水平、GDP、农作物生产等数据来自《广东省统计年鉴》、《广东省农村统计年鉴》，各市能耗、消费数据来自各市统计年鉴、政府公开的工作报告，土地利用数据根据广东省自然资源厅公布的土地利用现状汇总表整理。对于缺失数据，采用补充调查与相似区域法推算相结合的处理方法。澳门的生物质贸易数据来自联合国商品贸易统计数据库，其他数据来自其统计年鉴。香港的生态足迹与生物承载力由 WWF 香港分会提供，

其生物质贸易数据来自联合国商品贸易统计数据库。

消费项目的生态足迹强度基于中国平均生产水平计算。其数据来源为《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》。

全球各类农作物的平均产量数据来自联合国粮农网数据库。

香港生态足迹与生物承载力由 WWF 香港分会提供。