Evaluation of Resources, Environment and Ecological Carrying Capacity from the Perspective of "Production-Living-Ecology" Spaces

Yi Bole[1,2,3,4], Su Rina[1,2,3], Mula Na[1,2,3,4], Shimeng Fan[1,2,3,4], Jiquan Zhang[a b c d] *

1 School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

2 Key Laboratory for Vegetation Ecology, Ministry of Education, Changchun 130024, China

3 State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, Changchun 130024, China

4 Jilin Province Science and Technology Innovation Center of Agro-Meteorological Disaster Risk Assessment and Prevention, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

**Correspondence: zhangjq022@nenu.edu.cn; Tel.: +86-135-9608-6467*

ABSTRACT

From 2005 to 2020, the ecological carrying capacity of resources and environment in western Jilin has undergone significant changes, reflecting regional differences in resource utilization and environmental management. The fluctuation of REECC value is between 0.23 and 0.54, which shows the imbalance of ecological carrying capacity, especially the high-value area is gradually transferred from the north and southeast of Zhenlai to the east. This change is closely related to economic development, population migration and environmental policy. The analysis of driving factors shows that the influence of population density, ecological value index and PM2.5 is gradually significant, which highlights the importance of environmental quality and human settlement conditions on the ecological carrying capacity of resources and environment. Although most regions have high ecological carrying capacity, they lack obvious ecological industry layout. In the future, resource management and industrial layout should be optimized to promote the development of green agriculture, green energy and eco-tourism in order to achieve regional sustainable development.

Key words: *Resources, Environment and Ecological Carrying Capacity, Ecological Industry, Western Jilin*

基于“三生”空间视角资源环境生态承载力评价

伊博乐[1,2,3,4]，苏日娜[1,2,3]，那木拉[1,2,3,4]，范师萌[1,2,3,4]，张继权[1,2,3,4] *

1.东北师范大学环境学院，吉林长春 130024

2 植被生态学教育部重点实验室，吉林长春 130024

3.湿地生态与植被恢复国家环境保护重点实验室，长春 130024

4.东北师范大学吉林省农业气象灾害风险评估与防范科技创新中心，长春 130024

**通讯作者邮箱：zhangjq022@nenu.edu.cn; Tel.: +86-135-9608-6467*

© The Author(s) 2025

S. Qiao et al. (eds.), *Proceedings of the 11th Annual Meeting of Risk Analysis Council of China Association for Disaster Prevention (RAC 2024)*, Advances in Economics, Business and Management Research 367,
https://doi.org/10.2991/978-94-6463-946-9_7

摘要

在 2005 至 2020 年间，吉林西部地区的资源环境生态承载力经历显著变化，反映了区域间在资源利用与环境管理上的差异。资源环境生态承载力值波动在 0.23 到 0.54 之间，显示出生态承载能力的不均衡，尤其是高值区域从镇赉北部和东南逐渐转移至东部。这一变化与经济发展、人口密度及环境政策密切相关。驱动因素分析表明，人口密度、生态价值指数及 PM2.5 等因素的影响逐渐显著，突显了环境质量与人居条件对资源环境生态承载力的重要性。尽管多数区域承载力较高，但缺乏明显的生态产业布局。未来应优化资源管理与产业布局，促进绿色农业、绿色能源及生态旅游的发展，以实现区域可持续发展。

关键字：*资源环境生态承载力,生态产业,吉林西部*

1. 引言

工业化以来，城市迅速发展，人口激增，导致资源短缺和环境问题加剧。中国的经济增长与城市化加剧了社会经济需求与承载能力之间的矛盾[1]。此外，区域经济发展不平衡和城市发展不协调已成为突出问题[2,3]。资源的过度开发和不合理利用造成了生态破坏，资源和环境的承载能力显著下降[4]。资源环境承载力评价已从单一的土地资源研究，演变为综合评价[5]。然而，结合资源、环境与生态的综合研究仍较为稀缺。2012 年，中国提出建设高效的生产空间、宜居的生活空间和美丽的生态空间，这些空间相互独立但又相互联系，通过物质、能量和信息的交换不断演变[6]。这三者在功能上互补，包括空间共生、耦合、协同与关联等形式。生产-生活-生态空间作为一个共生发展系统，推动了空间共生机制和功能优化研究[7]。

生态产业作为现代经济与环境协调发展的新兴领域，正在成为全球可持续发展的重要支柱[8]。随着环境问题日益严重，传统产业模式的负面影响凸显，生态产业的兴起提供了新解决方案，其核心理念是实现经济增长与生态保护的双赢。生态产业涵盖多个领域，如生态农业、清洁能源、循环经济和生态旅游，这些领域不仅促进资源的高效利用和环境修复，也为经济增长注入活力。本文旨在通过结合“三生”空间理论，综合评价资源环境生态承载力，以吉林西部地区为研究对象，分析资源环境生态承载力的时空变化及其规律，探讨其内部影响，为完善资源环境生态承载力的理论方法与评价指标提供思路，同时在明确区域内承载力的前提下判断生态产业布局的适宜性，并为区域政府和环境保护部门提供科学依据，管理和保护区域资源与生态系统。

2. 研究区与方法

2.1 研究区

吉林省西部面积广阔，面积约为 4.68×106 km^2，约占全省陆地总面积的四分之一（图 1）。该地区包括两个地级市—白城市和松原市。研究区是典型的大陆性季风气候的脆弱生态带。该地区坚定不移地致力于现代化和农业工业的发展，使其经济和社会发展取得了显着进步，从而大大提高了生产力水平和居民的生活水平。

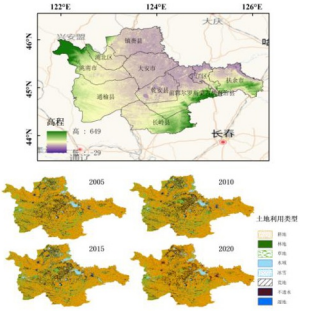

图 1 研究区概况（高程和 2005-2020 年土地利用变化）

吉林西部年降水和气温的空间分布研究（图 2）。2005 年降水量呈现由东南向西北递减的趋势；2010 年总体降水量较 2005 年有所减少；2010-2020 年降水量呈逐渐增加的趋势。2020 年西北地区降水也较 2005 年显著增加。总体气温呈现由西南向东递减的趋势，2010 年较 2005 年减少，2015 年较 2010 年显著增加，增温面积明显扩大。2020 年的气温接近 2015 年，但变暖的面积有所减少。

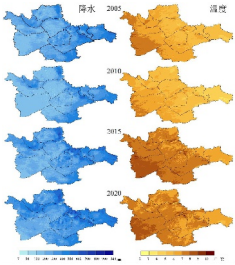

图 2 研究区降水与温度空间分布图

2.2 数据来源

为了确保对 2000-2020 年进行全面的分析，本研究中使用的社会经济信息提取自吉林统计年鉴、中国城市统计年鉴、中国社会统计年鉴和中国环境统计年鉴等。所有栅格数据的分辨率为 0.0092°。部分数据源为年鉴数据，通过 Kriging 算法进行空间化处理。

2.3 研究方法

2.3.1 资源环境生态承载力模型

资源环境生态承载力是指一个区域在一定时期内所能承受的资源消耗和环境保护的极限，准确评估资源环境生态承载力对制定区域发展规划、环境保护政策和资源管理战略具有重要意义。根据我国提出的“三生”空间理论[9]，构建了基于“三生”空间视角的资源环境生态承载力评价模型，由于地形和人类活动的影响，有的地区仅具有“生产-生活-生态”功能中的一种，有的地区具有两种功能，有的地区同时具有三种功能。然而，不同地区的功能比例不同。结合不同学者的评价和测量体系，参考区域社会经济统计年鉴，选择适合各区域的指标[10]。指标从生产、生活、生态三个角度选取。具体指标如下:

表 1 评价指标

一级指标	二级指标	三级指标	指标性质
生产空间指数	效益产出	x1:人均 GDP	+
		x2:第三产业增加值占 GDP 的比重（%）	+
		x3:城镇人口人均可支配收入（万元）	+
	绿色生产	x4:每万人粮食产量（吨）	+
		x5:资源节约和环保投入占财政支出比（%）	+
		x6:耕地面积(公顷）	+
		x7:工业废气排放量（万立方米）	−
	创新	X8:专利授权数（个）	+
		x9:科学技术支出占财政支出比例（%）	+
生活空间指数	居住环境	x10:城镇人口人均绿地面积（km^2)	+
		x11:城镇人口人均住房建筑面积（m^2)	+
		x12:夜间灯光数据	+
		x13:人口密度	−
		x14:人均道路面积（m^2）	+
	公共服务	x15:千人拥有教师数（个）	+
		x16:恩格尔系数	+
		x17:水环境质量综合指数	+
生态空间指数	生态环境	x18:农药施用强度（kg/hm^2）	−
		x19:EVI 增强植被指数	+
		x20:生态系统服务价值	+
		x21:空气质量指数（AQI)达到优良天数比例	+
		x22:森林覆盖率（%）	+
	生态保护	x23:自然保护区（国家级省级）数量（个）	+
	环境治理	x24:城镇污水处理率（%）	+
		x25:PM2.5	−
		x26:城镇生活垃圾无公害处理率（%）	+

因此需要在当地发展现状、人类活动程度和地形的背景下进行判断。由于主要差异受土地利用类型的影响，本文采用专家评分法[11]对不同土地利用类型的生产、生活和生态功能进行评价。采用算术平均法计算每个指标的最终得分，采用 10 个专家对该指标的打分相加，然后除以专家人数。计算公式为：$S_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} S_{ij}}{n}$

其中S_i表示第 i 个指标的最终得分，S_{ij}表示第 j 个专家对第 i 个指标的打分，n 表示专家人数。具体结果如表 2 所示。

表 2 三生空间评分标准

	一级土地利用类型	生产	生活	生态
1	农田	5	0	3
2	林地	0	0	5
3	草地	0	0	5
4	水体	3	0	5
5	城乡居民用地	1	5	0
6	未利用地	1	0	3

2.3.2 权重计算

CRITIC 方法是一种客观加权方法，通过评估指标的相对强度及其相互冲突的性质，将指标的客观权重纳入其中。使用标准偏差对同一指标的评价方案的不同程度进行量化。标准偏差越大，表明程序之间的数值波动或差异越大，则权重越大。在权重计算过程中，我们将比较强度乘以冲突指标，然后进行归一化以获得最终权重[12]。

正向指标：$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}$

逆向指标：$X'_{ij} = \frac{\max(X_j) - x_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)}$

指标变异性：以标准差形式来表现, S_j 代表第 j 个指标的标准差。

$$\begin{cases} x_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \\ S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij} - x_j)^2}{n-1}} \end{cases}$$

使用标准差来表示各指标的内取值的差异波动情况，标准差越大表示该指标的数值差异越大，放映

出更多的信息，该指标本身的评价强度也就越强，应该给该指标分配更多的权重。

指标冲突性：$A_j = \sum_{i=1}^{n} (1 - r_{ij})$

r_{ij}代表 评价指标 i 和 j 之间的相关系数。

信息量：$C_j = S_j \times A_j$

计算权重：$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^{n} C_j}$

客观权重：第 j 个指标客观权重 Wi 为：

$$W_i = X_{ij} / \sum_{i=1}^{n} X_{ij}$$

2.3.3 资源环境生态承载力计算

将单个指标的归一化值乘以相应的权重求和，得到综合指标值。该值为综合承载力指数，取值范围为0~1。得分越高，资源环境生态承载力的水平越高，由以下公式计算：资源环境生态承载力的评价模型由生产、生活和生态三个部分组成。

$$REECC=P\times \sum_{i=1}^{n} W_{pi} \times X_{ij} + L \times \sum_{i=1}^{m} W_{li} \times Y_{ij} + E \times \sum_{i=1}^{l} W_{ei} \times Z_{ij}$$

P、L、E 分别为生产、生活、生态不同土地利用类型得到的权重;分别为生产、生活、生态功能中各指标的权重;分别为生产功能、生活功能和生态功能各指标的标准化值。REECC 代表资源、环境和生态承载力。同时采用了地理探测器[13]对其驱动因素进行分析。

3. 结果

3.1 资源环境生态承载力时空分布特征

2005—2020 年，吉林西部地区资源环境生态承载力空间变化明显，空间分布不均衡。总体变化范围为0.23-0.54(图 3 和图 4)，2005 年，0.5～0.54 的资源环境生态承载力集中在宁江地区；全区资源环境生态承载力主要分布在 0.4~ 0.5 之间，面积占比为 48%；中部地区值主要分布在 0.30～0.40 之间，面积占比达到44%。2010 年，吉林西部大部分地区的值在 0.40～0.50 和 0.30～0.40 之间，面积占比分别为 32%和 64%。2015 年，洮北北部和乾安县以东的地区在 0.40~ 0.50 之间。西北大部分地区在 0.20～0.40 之间，占整个研究区的 68%。2020 年，研究区资源环境生态承载力值在 0.23~ 0.53 之间，高值区主要集中在东部的扶余、宁江、乾安和前郭地区；镇赉、洮南、洮北、长岭和通榆南部地区为 0.30～0.40，面积占比为 33%。2012 年相关政策出台后，各地对自身区域现状进行了管理和调控。区域内尚未遭到破坏的环境得以恢复，像退耕还林等政策的实施有效提升了部分地区的资源环境生态承载力（REECC）。但部分工业建设用地和城市建设用地面临不可逆转的状况，区域资源环境生态承载力持续下降。2007 年以后，在生态文明理念的指引下，中国推进了重要生态空间保护和生态功能修复工作，涉及重要生态功能保护区和生态脆弱区等，并初步建立了重点生态功能区保护体系。尽管在此期间实施了多项环境保护措施，如植树造林和退耕还林，但整体规划缺乏有效规范，导致裸地和湿地面积有所增加。2012 年之后，生态保护主要聚焦于山水林田湖草沙系统的保护与修复，此后各类土地利用的保护和管控成效显著，大多数土地利用类型朝着良好方向发展。水库坑塘面积的增加可能得益于吉林省西部的河湖连通工程，该地区已成为中国湖泊最为密集的区域之一，在调节区域气候、平衡降水、滞蓄洪水、净化水体和减轻污染等方面发挥着重要作用。

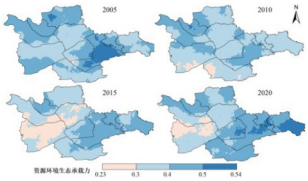

图 3 资源环境生态承载力 2005-2020 年空间分布

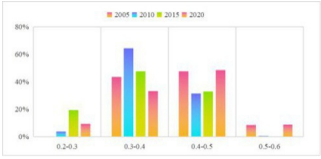

图 4 2005-2020 年资源环境生态承载力百分比

3.2 驱动因素分析

从驱动因素分析结果可以看出（图 5），2005 年的主要影响指标为 x12、x20、x26、x1 和 x4。同样，2010 年和 2015 年，前五名的影响指标与 x12、x26、x20、x1 和 x3 保持一致。与前几年的研究结果相比，2020 年的主要影响指标为 x12、x20、x26、x11。吉林西部资源环境生态承载力受多因素影响，夜间灯光体现出人口的增加与聚集程度。究其根本，人口密度

是主因，人口增多使资源消耗、生态破坏及废弃物排放问题加剧，给承载力带来巨大压力。生态服务价值也很关键，其降低会损害生态系统功能，影响经济与生态平衡。此外，PM2.5 浓度影响空气质量与生态系统，破坏生态平衡，最终降低该地区的资源环境生态承载力。此外，在这些时期，人均国内生产总值一直排在前五大影响因素之列。

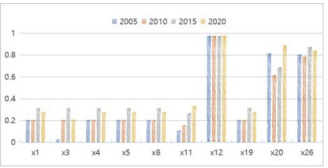

图 5 2005-2020 年资源环境生态承载力驱动因素

3.3 生态产业区域的资源环境生态承载力情况

吉林西部的主要生态产业有（图 6）：绿色农业、生态渔业、稻蟹养殖、生态农业旅游、生态观光以及绿色能源。绿色农业：强调可持续发展，采用有机耕作、轮作和生物防治等方式，减少化肥和农药使用，保护土壤和水资源。生态渔业：以生态平衡为基础，采用可持续捕捞和养殖方法，保护水域生态系统，确保渔业资源的长期利用。稻蟹养殖：在稻田中与螃蟹共生养殖，利用蟹的捕食行为控制害虫，同时增加稻田的生物多样性和农民收入。生态农业旅游：结合农业生产与旅游体验，让游客参与农业活动，增进对生态农业的理解，促进农村经济。生态观光：以自然和生态为主题的旅游活动增强对环境的保护，促进自然资源的合理利用。绿色能源：来自可再生资源的能源，吉林西部地区的绿色能源主要为太阳能和风能，旨在减少温室气体排放和环境污染，推动可持续发展。

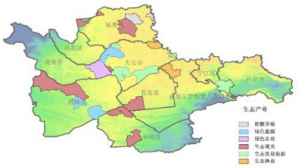

图 6 生态产业分布情况

整体来看（图 7），吉林西部资源环境的生态承载力较高的地区并未形成明显的生态产业分布。稻蟹养殖与生态渔业的分布区域承载力相对较好，显示出良好的资源利用潜力。但镇赉县的生态观光区域承载力较低，限制了其发展潜力。长岭县与乾安县的生态观光承载力处于中等水平，表明在可持续发展方面有进一步提升的空间。通榆县生态观光承载力最低，亟需采取措施改善其生态环境和旅游资源的开发利用。

此外，绿色农业区域的承载力水平相对较低，表明在农业生产方式上需进一步优化，以实现更高的生态效益。在绿色能源区域，承载力则处于适中水平，显示出一定的可持续发展潜力，但仍需加强基础设施和技术支持。最后，生态农业旅游的承载力较低，意味着在推广生态旅游和提升游客体验方面还需做出更多努力。综上所述，吉林西部在生态产业发展上存在不同的承载力水平，各地区的资源管理和产业布局亟待优化。吉林西部夜间灯光、生态服务价值与人口密度和区域生态产业联系紧密。夜间灯光可反映生态产业发展水平并引导其布局，较亮区域或意味着生态产业集中发展，还能据此合理规划产业分布。生态服务价值是生态产业发展基础与升级动力，当地丰富生态系统提供的服务为生态产业创造条件，提升其价值可推动产业高端化。人口密度既为生态产业提供劳动力，又影响市场需求，一定的人口规模保障产业人力需求，且人口密集区需求大，但过高人口密度也可能威胁产业可持续发展。

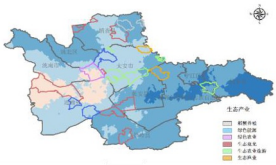

图 7 生态产业区域资源环境生态承载力情况

4. 结论

在 2005 至 2020 年间，吉林西部地区的资源环境生态承载力在 0.23 到 0.54 之间的波动变化表明该地区的承载力区域间的差异尤其明显。2005 年，承载力高主要集中在镇赉北部和东南地区，在 2020 年，高值区域逐渐转移至东部，这可能与区域经济发展、人口迁移以及环境政策的变化有关。

从驱动因素分析来看，x12、x20 和 x26 这几个指标在 2005 年至 2015 年间的稳定性，反映了这些因素在承载力中的持续重要性。2020 年随着社会经济的变化，人口密度、EVI 和 PM2.5 等的影响变得愈发显著，这表明环境质量和人居条件的改善对承载力至关重要。人均国内生产总值始终排在前列，表明经济发展与承载力之间的关联依然存在，但需要警惕经济增长可能带来的环境压力。

尽管西部地区的承载力较高，但未能形成明显的生态产业分布。稻蟹养殖和生态渔业的良好潜力表明，区域内的生态资源利用尚有提升空间。镇赉县承载力

较低，表明该地区在旅游资源开发和生态保护方面存在短板。相比之下，长岭县和乾安县的中等承载力则反映出这些地区在可持续发展上仍有提升空间。

整体来看，绿色农业、绿色能源和生态旅游区域的承载力不足，显示出在资源管理和产业布局上亟需优化，以促进可持续发展。因此，未来的策略应关注于加强区域内的生态产业协调发展，通过推动各地区的资源合理配置与可持续利用。政策的制定应更具针对性，促进承载力与经济发展的平衡，确保吉林西部地区的可持续未来。

致谢

本研究得到吉林省科技重大专项(20230303009SF)的支持。

参考文献

[1] He, C., Liu, Z., Tian, J., Ma, Q., Urban expansion dynamics and natural habitat loss in China: a multiscale landscape perspective. Glob. Chang. Biol，2014，pp.20, 2886–2902.

[2] Cheng, C., Jingyao, J., Zhou, Z., Kan, K., Chen, C., Dong, D., Fan, F., Jie, J., Evaluation and Analysis of Provincial Differences in Resources and Environment Carrying Capacity in China， 2016. Chinese Geographical Science.

[3] Zhu, M., Shen, L., Tam, V.W.Y., Liu, Z., Shu, T., Luo, W., A load-carrier perspective examination on the change of ecological environment carrying capacity during urbanization process in China. Science of The Total Environment，2020，pp.714, 136843.

[4] Li, X., Zheng, Z., Shi, D., Han, X., Zhao, M., n.d. New urbanization and carbon emissions intensity reduction: Mechanisms and spatial spillover effects，2023.

[5] Zhang, G., Luo, S., Jing, Z., Wei, S., Ma, Y., Evaluation and Forewarning Management of Regional Resources and Environment Carrying Capacity: A Case Study of Hefei City, Anhui Province, China. Sustainability，2020，pp,1637.

[6] Gao, K., Yang, X., Wang, Z., Zhang, H., Huang, C., Zeng, X.,Spatial Sustainable Development Assessment Using Fusing Multisource Data from the Perspective of Production-Living-Ecological Space Division: A Case of Greater Bay Area, China. Remote Sensing，2022，pp,2772.

[7] Deng, Y., Yang, R., Influence Mechanism of Production-Living-Ecological Space Changes in the Urbanization Process of Guangdong Province, China. Land，2021，pp,1357.

[8] 黎振强,游肖月.数字经济发展、产业结构升级对长江经济带生态效率的影响效应[J].长江流域资源与环境,2024,33(08):1624-1636.

Li,Z.,Q, You X.Y., Effects of the Digital Economy Development and the Industrial Structure Upgrading on the Ecological Efficiency in the Yangtze River Economic Belt.Resources and Environment in the Yangtze Basin.2024,pp.1624-1636.

[9] 吴凡,翟辉.基于“三生空间”协调的哈尼村寨振兴路径研究——以元阳县脚弄村为例[J].住区,2024,(04):139-142.

Wu, F., Zhai H., Research on the Revitalization Path of Hani Village Based on the Coordination of Production-Living-Ecological Space:a Case Study ofJiaonong Village in Yuanyang County. Design Community,2024,pp.139-142.

[10] Tian, F., Li, M., Han, X., Liu, H., Mo, B.,A Production–Living–Ecological Space Model for Land-Use Optimisation: A case study of the core Tumen River region in China. Ecological Modelling，2020,pp.109310.

[11] 赵欢欢,刘金成,郭义军,等.基于DPSIRM和PLUS模型的秦岭北麓生态敏感性评估[J].农业工程学报,2024,40(13):244-252.

Zhao, H.H.,Liu, J.C, Guo, Y.j., et al. Assessing the ecological sensitivity of the Northern Foothills of QinlingMountains using DPSIRM and PLUS models. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, pp. 244-252.

[12] Chang, Y.J., Zhu, D.,Urban water security of China’s municipalities: Comparison, features and challenges. Journal of Hydrology， 2020， pp, 125023.

[13] 刘昊,李琪颖,狄巍榕,等.河南省沿黄地区“三生”空间生态环境效应及驱动因素[J].环境科学术,2024,47(08):186-196.

Liu,H.,Li,Q.Y.,Land-use Transformation of Production-Living-Ecology Space along YellowRiver in Henan Province:Eco-environment Effect and Driving Factors.Environmental Science & Technology,2024,pp.186-196.

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.