



## 内容提要

在城市化进程快速推进、耕地持续减少的今天，食品安全、食物里程、都市农业和垂直农场等话题日益受到关注。本书试图寻找一种适宜高密度城市建成环境、符合可持续原则、切实可实施的城市建筑与农业种植的整合方式。这种方式将农作物和人作为共同主体，是农业生产与城市空间的融合，能提高农业生产和建筑运行的空间和能源效率。

本书对现行的建筑农业形式进行梳理和解析，总结不同类型农业种植活动与建筑的关系特点，提出理想的整合模式，即建筑与农业种植一体化。人和农作物共同的温度需求是种植空间与建筑结合的基础，农作物对光照强度和日照时间的高需求，决定了种植空间在建筑中占据外围位置。建筑与农业种植一体化的具体形式受气候条件影响，基于所在地区的农业生产、建筑运行的环境控制需求和资源以及二者的供应关系，推断运行时段、判断运行形式并确定相应的空间形态。最后，本书以北京地区住宅为例，提出理想化的范式，推演建筑与农业种植一体化空间形态，完成能耗模拟和农业生产预估。通过对现有住宅室内和封闭阳台的光照和温度环境测量，明确潜在种植空间，提出具体的空间设想和改良措施。



建工出版社微信



建筑与城规中心



责任编辑：刘丹

封面设计：HUI XING 慧星书装

ISBN 978-7-112-23604-6



9 787112 236046 >

经销单位：各地新华书店、建筑书店

网络销售：本社网址 <http://www.cabp.com.cn>

中国建筑出版在线 <http://www.cabplink.com>

中国建筑书店 <http://www.china-building.com.cn>

本社淘宝天猫商城 <http://zgjzgyCBS.tmall.com>

博库书城 <http://www.bookuu.com>

图书销售分类：建筑学 (A20)

(33892) 定价：68.00 元

国家自然科学基金《建筑与农业种植一

刊》(基金号: 51608022) 支持

# 建筑与农业种植一体化空间研究

刘 焯 著



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

建筑与农业种植一体化空间研究 / 刘焯著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.6

ISBN 978-7-112-23604-6

I. ①建… II. ①刘… III. ①都市农业—住宅区规划—研究—北京 ②都市农业—住宅区规划—研究—天津 IV. ①TU984.12

中国版本图书馆CIP数据核字 ( 2019 ) 第068927号

责任编辑: 刘 丹

责任校对: 赵 颖

## 建筑与农业种植一体化空间研究

刘 焯 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 ( 北京海淀三里河路9号 )

各地新华书店、建筑书店经销

北京点击世代文化传媒有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

\*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 12½ 字数: 195千字

2019年8月第一版 2019年8月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-23604-6

( 33892 )

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

( 邮政编码 100037 )



## 刘 焯

现任教于北京建筑大学建筑与城市规划学院。

2008年于北京交通大学建筑与艺术学院获学士学位，2010年和2014年于天津大学建筑学院获硕士和博士学位。

主要从事绿色建筑与生态城市研究，关注都市农业、垂直农场、建筑与农业种植一体化。目前主持国家自然科学基金“建筑与农业种植一体化研究——以北京地区城市住宅为例”、北京市社会科学基金“基于生产性城市景观的北京中心城区既有社区有机更新研究”等课题。

# 序

自古以来，民以食为天，人类一天不改变吃喝拉撒的生物学本性，农业则始终是重中之重的“第一产业”。即使在第一产业在国民生产总值中的比重逐年下降的今天，农业的重要性却丝毫不减。

2011年，全球人口已达到70亿，其中城市人口超过50%。城市化扩张与农争地，与民夺食；人口的不断增长和物质诉求的膨胀，将会使人地关系愈加紧张，贫困饥饿会随时袭来。据联合国粮农组织（FAO）数据，2018年全球饥饿人口已超过8.2亿。雪上加霜，持续的气候变化也会造成土壤的荒漠化和海平面的上升，侵吞大量的土地和农田，给人类生存带来难以估量的威胁。《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）的有关信息表明，若不采取有力措施，未雨绸缪，至2025年干旱将使地球上70%的土壤荒漠化，发人深省，令人震惊。

我国的情况更不容乐观。人多地少是我国长期存在、不断加剧的基本国情，多项资源指标未能达到世界平均水平，人均耕地面积不足世界平均水平的1/2。据国家统计局公报，2018年我国的城镇化率已达59.58%，依然在朝着既定的城镇化道路和目标持续推进，将进一步加剧各种资源尤其是用地的紧张局面。目前，我国粮食进口依赖度已达到20%左右，国家粮食安全形势严峻。面对现实困境，如何在聚焦“三农”、发展农业的同时，深入挖掘城市内部及其周边的农业生产潜力，“都市农业”（Urban Agriculture）不失为一条行之有效的重要途径。

所谓的都市农业，并非天方夜谭和分外之事。在国际上，城市与农业相结合的研究和实践由来已久，近年也逐渐渗透到城市规划、城市设计、景观设计和建筑设计之中，成为城市与建筑理论研究和实践的新趋势。

早在18世纪末到19世纪上半叶，为救济和安抚失地农民及城市劳工，英国城郊就已出现了划成小块廉价出租的份地农园（Allotment garden），是比较早的都市农业的雏形。份地农园后来也影响到欧洲其他国家和北美。19、20世纪之交，受空想社会主义思想的影响，英国

社会活动家埃比尼泽·霍华德针对日益恶化的城市环境，提出了田园城市的构想。在田园城市中，霍华德把零散分布的份地农园整理成宅地农业和环城农业两种类型，并于1903年组织“田园城市有限公司”，在伦敦郊外建立了第一座田园城市——莱奇沃思(Letchworth)。“二战”期间，在欧美国家出现了大量的城市内部和城郊的农园，以解食品短缺的燃眉之急。1944年，美国掀起了大规模自由农园、救济农园和胜利农园运动，满足了战时全国40%的食物需求。

现代建筑大师勒·柯布西耶和弗兰克·L·赖特对城市与农业的一体化情有独钟。柯布西耶认为，一家一户的份地农园效益低下，微不足道。在1922年的“当代城市”方案中，他提出了紧邻城市的大规模农田、集中式社区农园、空中农园，以及公共绿地上的果树、果园等丰富多样的构想，甚至主张用“垂直田园城市”来取代霍华德水平向扩展的田园城市。与柯布西耶不同，赖特反对高密度垂直发展的城市模式，认为汽车交通和电力输送的便利为城市的分散式布局带来契机，于1935年提出了“广亩城市”的概念。广亩城市为每户住宅配置了1英亩的土地种植粮食和蔬菜，居住与农业合而为一，自给自足。赖特晚年出版的《活的城市》收录了他提出的关于都市农业的规划布局模式。然而，大师们闪光的思想似乎都被有意无意的屏蔽了，远未引起应有的重视，在欧美城市规划设计的理论与实践中也极少关注城市的农业问题。

进入1960年代之后，随着美国科普作家蕾切尔·卡逊《寂静的春天》出版，现代农业和工业化发展的环境弊端引发了人们对城市生态问题的普遍担忧和反思。与此同时，一些学者开始探索城市生态环境与农业生产相结合的途径，都市农业的构想在生态建筑、生态城市中也得到充分展现。建筑生态学的创立者索勒里(P·Soleri)于1970年开始尝试把食物生产融入城市设计，提出城市的“生产性植被”理念。受澳洲热带雨林植物群落互助现象的启示，生态学家莫林森(B·Mollison)与霍姆格伦(D·Holmgren)于1978年提出“永续农业”(Permaculture, 由Permanent的Perma和Agriculture的culture组合而成)的思想。1987年，国际生态城市建设理事会主席杰斯特(R. Register)最早提出了生态城市概念，在关于伯克利的城市研究中，他把农业视为城市命运的要素之一，倡导在不同尺度进行各种形式的农业种植。

如果说生态建筑、生态城市中的农业还只是作为城市的要素存在的话，从新世纪之交到现在，有关都市农业的研究则进入了以农业为

主的城市整体性探索的新阶段。其重要标志当属 2005 年英国布莱顿大学建筑系教师维尤恩 (A. Viljoen) 与建筑师波恩 (K. Bohn) 编辑《CPULs 连续生产性城市景观: 为可持续城市设计城市农业》一书的出版。该书汇集了众多跨学科的相关研究成果, 提出将农业做为可持续城市的重要基础设施, 融入整体的城市公共空间连贯起来, 被誉为“为建筑学打开了一个新的领域”。其后, 荷兰瓦赫宁根大学建筑系的提莫伦 (A. van Timmeren) 与建筑师洛灵 (W. Roling) 提出可持续植入理论, 构建了分布式“关键流”代谢循环技术体系; 荷兰建筑师格拉夫 (P. de Graaf) 主持的“食用鹿特丹”研究项目提出了鹿特丹城市特征的五层次空间布局构想; 新城市主义旗手 DPZ 和加拿大 HD Lanarc 事务所分别提出农业城市主义的思想, 从城市居民与土地、食物及社区的关系入手, 把食物生产的需求从各个层面融入整体城市结构。国外的都市农业研究已经初步形成了一种新的城市规划设计理论, 正在朝着整体性、系统性方向发展。

此外, 我国关于都市农业的研究虽然起步较晚, 但也正在引起学界的关注。1990 年代, 都市农业的概念从日本传入我国, 相关研究从世纪之交起步, 发表成果主要集中于经济、农林、资源、地理等领域, 规划、建筑领域相对较少。2008 年, 建筑学家孟建民基于我国耕地缺乏、食品安全、热岛效应和城市空间潜力的思考, 在《深圳特区报》发表《让田园农业回到现代城市中来——有关城市农业化变革的构想》一文, 在《中国建设报》又进一步提出“城市农业化革命”的新概念, 在城市规划、建筑设计、生态环保等领域引起强烈反响和关注。

天津大学建筑学院对都市农业的跟踪研究始于十多年前。当时工作室的研究生在做国外生态村的论文, 还有几位低年级硕士生没有开题。我有次出差在飞机上看报, 被浙江绍兴农民在自家屋顶上收割水稻的两张照片深深打动。在建筑上种庄稼不也是很好的课题吗? 于是就让在校的同学搜索屋顶农业 (Rooftop Farming)、城市农业 (Urban Agriculture)、垂直农业 (Vertical Farming)、可食景观 (Edible Landscape) 等关键词。等我回到学校, 几位同学已经搜索到几百篇文献, 后来就给他们确定了“都市农业”的选题。

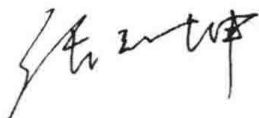
本书作者刘焯就是三位选择都市农业开题的硕士生之一。当初, 刘焯与崔璨、孙艺冰三位同学一起收集资料, 分别从建筑、城市和景观入手, 开始硕士论文的写作。崔璨和孙艺冰分别完成了《给养城市——可食城

市与产出式景观思想策略初探》(崔璨, 2010)和《都市农业与中国城市生态节地策略》(孙艺冰, 2010)的硕士论文。后来孙艺冰硕博连读,期间赴美国华盛顿大学访学,参与了纽约市的都市农业调查,完成了博士论文《都市农业发展现状与潜力研究》(2013)。

硕士期间,刘烨的主要精力集中于垂直农场,完成了硕士论文《垂直农场初探》(2010)。在博士阶段中,刘烨也曾遇到是否继续深入研究垂直农场,还是另选题目的问题。垂直农场作为城市中的独立个体,采用人工环境控制技术,具有较高的经济和生态成本,概念提出数年,始终没有实质性进展。踌躇之际,来自海南大学、具有农学背景的博士生穆大伟恰好进入工作室,他的专业知识对论文选题和种植实验多有助益。在穆大伟的帮助下,刘烨提出以农作物替代垂直绿化的设想,依托工作室内的窗台设计了种植黄瓜的“黄瓜窗帘”。通过一年的连续测试记录,与无种植窗户的室内光照和温度环境数据进行比较分析,明晰了农业种植与建筑相结合的优势所在,也坚定了研究方向,2014年完成了《城市建筑与农业种植的有机整合》的博士论文。

从博士毕业到北京建筑大学工作的几年中,刘烨在原来研究基础上,又向“生产性城市”方向探索,将研究视野从建筑单体拓展至社区农园。她还成功获批国家自然科学基金项目和北京市社会科学基金项目,反映了学术界对都市农业方向的关注和重视。很高兴她的研究成果能够以专著的形式和读者相见。与论文相比,书中增加了近几年的新思考,对实验结果进行了更系统的分析,研究思路和方法也发生了一些新变化。

“房前屋后种瓜种豆”的传统,绍兴农民屋顶水稻的实践,国内外的相关研究成果与案例,都会给我们以启迪。希望本书的出版能够引起更多学者、读者的关注和思考,共同探索都市农业发展途径和前景,为建设城市美好家园而努力。



天津大学建筑学院



# 目 录

## 第一章 绪论 / 1

### 1.1 研究背景 / 2

1.1.1 耕地减少、农产品“食物里程”增加与都市农业 / 2

1.1.2 中国城市的高密度环境 / 2

1.1.3 现代农业生产导致高能耗 / 3

1.1.4 建筑农业实践缺乏策略指导 / 3

### 1.2 国内外理论研究及实践探索 / 4

1.2.1 都市农业 / 4

1.2.2 垂直农场 / 5

1.2.3 建筑与农业种植一体化 / 7

1.2.4 屋顶农园与其他露天农业种植 / 9

1.2.5 建筑室内农业种植 / 11

1.2.6 国内理论与实践概况 / 11

### 1.3 拟解决问题与相关概念解析 / 12

1.3.1 拟解决问题 / 12

1.3.2 相关概念解析 / 13

### 1.4 研究意义 / 15

1.4.1 理论层面 / 15

1.4.2 实践层面 / 15

### 1.5 研究维度 / 16

1.5.1 学科融合 / 16

1.5.2 案例研究 / 17

1.5.3 实证调查 / 17

1.5.4 文献解读 / 17

1.5.5 实验统计 / 18

## 第二章 城市中的建筑农业 / 19

- 2.1 建筑农业类型及特征 / 20
  - 2.1.1 垂直农场 / 20
  - 2.1.2 基于城市建筑的农业种植 / 29
- 2.2 建筑农业相关技术 / 40
  - 2.2.1 农业技术 / 40
  - 2.2.2 城市有机废弃物再利用技术 / 45
  - 2.2.3 雨水收集技术 / 46
  - 2.2.4 可再生能源技术 / 46
- 2.3 建筑农业发展趋势与存在问题 / 47
  - 2.3.1 发展趋势 / 47
  - 2.3.2 存在问题 / 48
- 2.4 本章小结 / 49

## 第三章 建筑与农业种植一体化的空间构成和运转模式 / 51

- 3.1 建筑与农业种植一体化及作用原理 / 52
- 3.2 生理需求比较 / 53
  - 3.2.1 人的生理需求 / 53
  - 3.2.2 农作物的生理需求 / 55
  - 3.2.3 人与农作物生理需求的异同 / 59
- 3.3 种植空间与城市建筑的结合方式与空间布局 / 61
  - 3.3.1 温度需求与结合基础 / 61
  - 3.3.2 温度需求与结合方式 / 62
  - 3.3.3 光照需求与空间布局 / 66
- 3.4 建筑与农业种植一体化的气候差异性表现 / 67
- 3.5 气候差异下的农业种植 / 69
  - 3.5.1 中国农业气候区划 / 69
  - 3.5.2 露天种植时段 / 70
  - 3.5.3 设施农业类型及运转的季节性需求 / 71
  - 3.5.4 本地农产品供应 / 72
  - 3.5.5 农业种植为建筑提供的季节性保护 / 73

- 3.6 气候差异下的建筑及建筑与农业种植一体化模式 / 73
  - 3.6.1 建筑的气候性和季节性需求 / 73
  - 3.6.2 与气候对应的建筑室内环境调控资源 / 74
  - 3.6.3 建筑与农业种植一体化运行模式的推演机制 / 74
- 3.7 本章小结 / 78

## 第四章 北京地区建筑与农业种植一体化设想 / 81

- 4.1 北京地区城市集合住宅的运行模式 / 82
  - 4.1.1 气候与农业生产特征 / 83
  - 4.1.2 城市集合住宅的环境特点 / 87
  - 4.1.3 生产时段与运行模式 / 87
- 4.2 建筑与农业种植一体化空间形态、技术支持与应用 / 89
  - 4.2.1 种植空间形态与种植技术 / 89
  - 4.2.2 主被动式太阳能技术及应用 / 93
  - 4.2.3 种植空间的四季运转 / 94
  - 4.2.4 在不同类型集合住宅上的应用 / 94
  - 4.2.5 建筑的总体高度控制 / 95
- 4.3 建筑与农业种植一体化的可持续属性 / 96
  - 4.3.1 降低建筑能耗 / 96
  - 4.3.2 农业生产——立体种植 / 100
  - 4.3.3 能源生产——光伏发电 / 101
- 4.4 基于现有集合住宅的种植空间改良 / 102
  - 4.4.1 现阶段的农业种植空间 / 102
  - 4.4.2 调查研究 / 102
  - 4.4.3 存在问题及实验设计 / 104
- 4.5 本章小结 / 104

## 第五章 北京地区城市住宅光照环境的 农业种植适宜性研究 / 107

- 5.1 测量实验基本情况 / 108
  - 5.1.1 测点选择 / 108

- 5.1.2 测量仪器与方法 / 109
- 5.1.3 建筑农业农作物类型及光照强度范围设定 / 111
- 5.2 冬季测量实验 / 112
  - 5.2.1 测量实验设置 / 112
  - 5.2.2 测量结果分析 / 113
- 5.3 夏季测量实验 / 121
  - 5.3.1 测量实验设置 / 122
  - 5.3.2 测量结果分析及结论 / 122
- 5.4 室内和阳台光照环境的种植适宜性分析 / 123
  - 5.4.1 种植空间季节性变化与适宜种植时段 / 123
  - 5.4.2 多个采光面的阳台空间光环境 / 124
  - 5.4.3 种植空间光照环境改良措施 / 124
- 5.5 本章小结 / 126

## 第六章 北京地区城市住宅温度环境的 农业种植适宜性研究 / 127

- 6.1 实验基本情况 / 128
  - 6.1.1 测点建筑平面布局 / 129
  - 6.1.2 测量方法与仪器 / 131
  - 6.1.3 农作物适宜温度范围与温度环境分析方法 / 132
- 6.2 冬季测量实验 / 133
  - 6.2.1 测量实验设置 / 133
  - 6.2.2 测量结果分析 / 133
  - 6.2.3 结论 / 155
- 6.3 春季测量实验 / 156
  - 6.3.1 测量实验设计 / 156
  - 6.3.2 测量结果分析 / 157
  - 6.3.3 结论 / 163
- 6.4 夏季测量实验 / 164
  - 6.4.1 测量实验设计 / 164
  - 6.4.2 测量结果分析 / 165
  - 6.4.3 结论 / 167

6.5 室内和阳台温度环境的种植适宜性分析 / 167

6.5.1 种植空间温度环境的适宜性 / 170

6.5.2 种植空间温度环境的季节性变化 / 170

6.5.3 种植空间温度环境的改良措施 / 171

6.6 本章小结 / 171

**第七章 结论与展望 / 173**

7.1 既有北京地区住宅建筑种植空间形态改良 / 174

7.2 研究结论 / 179

7.3 存在的问题与研究展望 / 181

**参考文献 / 182**

**后记 / 187**

# 第一章 |

## 绪论

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 耕地减少、农产品“食物里程”增加与都市农业

随着全球范围的人口持续增加、耕地持续减少，饥饿问题和粮食安全问题日益严重。根据联合国粮食及农业组织（Food and Agriculture Organization, FAO）、联合国世界粮食计划署（World Food Programme, WFP）的统计，2017年全球约有8.21亿人面临长期的食物短缺和营养不良，而且情况有可能持续恶化。《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）指出，干旱已经影响到地球上至少41%的土地，到2025年，可能令地球上70%的土壤变成焦土。这意味着随荒漠化加剧，地球上可用耕地正在逐步减少。为了缓解世界范围内的饥饿问题，人们不得不将寻找可耕种土地的目光转向城市和城郊这些传统意义上的非农业地区。与此同时，20世纪以来，随着现代城市的发展，农业生产长久地被隔离在城镇生活之外。全球化经济前提下，基于运输业的技术进步和产业发展，农产品产地与消费者之间距离越来越大。目前，城市中消费的水果、蔬菜等不仅来自城市周边地区，更有甚者来自数千千米以外的农业产区。现代农业分配和消费方式极大地增加了农产品的“食物里程”（Food Mile）。“食物里程”并非是农产品运输的距离，而是农产品离开产地到达餐桌的过程中，包装、储藏、运输等环节消耗的资源 and 能源总和。由于“食物里程”与化石能源消耗和二氧化碳排放相关，在能源紧缺、环境污染严重的今天，这种不可持续的食品分配和消费方式引发了广泛的关注。都市农业（Urban Agriculture）作为城市范围内的农业种植活动，因其能为城市提供低“食物里程”的农产品，在城市规划和城市设计领域中已经引起关注。

### 1.1.2 中国城市的高密度环境

基于对耕地减少和农产品高“食物里程”问题的回应，近年来，各个国家和地区的城市和周边地区出现了多种都市农业活动，包括市民农园（德国）、社区支持农业（美国、中国等）、插花型