农业和林业如何改变气候，我们该如何应对

农业和林业如何改变气候，我们该如何应对

出版者
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Institute of Meteorology and Climate Research
Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU)
Almut Arneth 教授 （博士）
Division of Ecosystem-Atmosphere Interactions
Kreuzeckbahnstr. 19
82467 Garmisch-Partenkirchen
Germany

www.luc4c.eu

编辑，设计和排版
Mechtild Agreiter 博士
KIT/IMK-IFU

翻译：Chao Yue（岳超），Wei Li （李伟）
Garmisch-Partenkirchen 2016

LUC4C项目的资金来源于“用于研究、
技术开发和示范的欧盟第七框架项目”，
基金号为603542。

目录

1. 土地利用变化：是什么，以及它如何影响气候变化？ 10
2. 国际气候政策中的土地利用变化 20
3. 研究土地利用变化和气候变化之间相互作用的模型和方法 26
4. 社会经济排放情景以及它们的作用 32
5. 粮食生产、气候和社会形成的交织网 40
6. 生物能源、土地利用变化和气候 46
7. 土地部门如何适应气候变化？ 50
8. 可持续的土地利用：埃莉诺·奥斯特罗姆的第三条道路 54

本宣传册是欧盟资助下的LUC4C项目“土地利用变化：净气候强迫评估以及气候变化减缓与适应措施”的一部分。更多信息请见项目网站：www.luc4c.eu

LUC4C项目的研究目的是提高我们对气候变化和土地利用变化之间相互作用的认识。LUC4C项目的科学家们主要通过复杂地球系统模型和工具的开发，对土地利用变化和气候变化之间的相互作用进行综合评估，为政策制定和其他社会参与者提供参考。LUC4C旨在发现和解释土地利用和土地覆盖变化的社会和环境驱动因素，以及它们与气候变化之间的关联。该项目通过以下方面对不同的减缓和适应政策进行评估：它们如何影响重要生态过程，以及在实施这些政策时，是否和其它土地利用变化相关的生态系统服务产生冲突（尽管这些冲突不是有意的）。

在本宣传册中，我们收集的文章主题包括：土地利用变化和气候变化间的相互作用、气候政策、最新的气候模型和情景、土地利用和粮食生产的关系以及与人类社会的相互作用。

I

土地利用变化：是什么，以及它如何影响气候变化？

Almut Arneth

几千年来，人类一直通过改变自然生态系统来播种粮食、获取木柴和木材。当今，无冰陆地表面的40%已经被农作物和牧草覆盖。由于人口的持续增长及其所带来的对自然资源需求的增加，农作物和牧草的面积将会在世界各地继续扩张。

当研究自然生态系统转变的影响时，科学家们往往会区分土地覆盖变化和土地利用变化。土地覆盖变化是指生态系统类型的转变，例如从原始森林或者自然草地转变成农田。土地利用和土地利用变化则是描述农作物、牧草和森林的管理方式（及其变化）。它可以包括施肥或者灌溉强度，放牧密度，或者人工林中树种组成的变化。

土地覆盖变化和土地利用变化都和气候变化有着相互作用，在本宣传册中，我们不再区分这两者。值得注意的是，两者属于这里统称为“土地利用变化”的不同方面。

土地利用变化在很多方面能够对气候变化产生影响。最广为人知的是通过大气中的温室气体。

像二氧化碳、氧化亚氮和甲烷等温室气体会影响地球的气候，并且这些气体在大气中的浓度随着人类活动加强不断升高，特别是在近100~200年间。大气中温室气体的浓度可以通过世界各地的观测站直接测量，也可以通过封存在冰川中的气泡进行估算，这些气泡很好地记录了几百甚至几千年前大气温室气体的水平。精确的温室气体分子化学信号（同位素构成）揭示了人类活动是温室气体增长的主要来源。

当森林被牧草或者农田取代时，大量的二氧化碳会进入到大气中，大部分是通过直接排放（如森林焚烧），或者在接下几年逐渐释放（当木制品被弃用，然后被烧掉或者开始分解）。大量的碳都储存在树干中，但是剩余的树根在死亡后也会被土壤微生物分解成二氧化碳。因为农作物和牧草没有枝干，而且根部的生物量也比树小，所以农田和牧草生态系统的总碳储量要小于森林。这样，在毁林过程中，会产生向大气的碳排放。如果森林取代了农田，那么大气中的碳会被重新吸收，但是在全球尺度上，森林面积的增加量相对很小。据估计，目前大气中人为源二氧化碳中有三分之一是来自于近几十年或几世纪的土地开垦。

二氧化碳、氧化亚氮和甲烷都是重要的温室气体。当前大气中监测到的氧化亚氮约有50%来自于农业，主要是使用化肥引起的。一部分的氮肥会被植物吸收以促进生长，而另一部分则会留在土壤中被微生物转化成各种含氮气体，然后扩散到大气中，其中就包括氧化亚氮。甲烷也是水稻田土壤微生物的伴随产物，来自于被称之为产甲烷菌的微生物群。这些微生物以植物凋落物为食，在厌氧的环境中生长（产甲烷菌存在于水稻田中，因为水稻经常种植于被水淹没的土壤中）。甲烷就是它们代谢的最终产物。甲烷还来自于反刍动物的胃部，尤其是奶牛。目前，水稻田和牲畜总共占据了每年人为源甲烷排放总量的近一半。

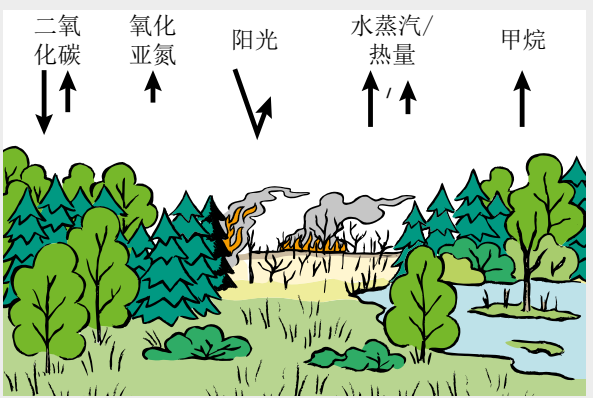
这些温室气体的排放会导致气候变暖。它们对全球的气候有着重要作用，因为这些气体的化学反应活性低，大气寿命长，因此有足够的时间在大气中混合。它们会在大气中存在几十年至几世纪，直到它们被物理或者化学过程最终去除。

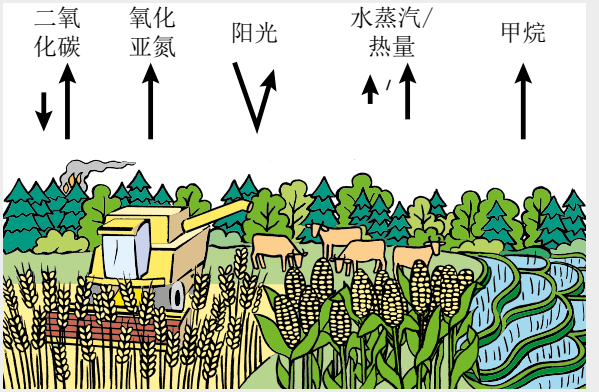
土地利用变化还可以通过与温室气体排放不相关的过程影响气候。这些过程经常被统称为“生物物理过程”，通过改变辐射和蒸发蒸腾产生影响。简而言之，当阳光到达陆地表面时，一部分光线直接被反射回大气，而剩余部分会被陆地吸收。反射回去的量称之为反射率，深色表面的反射率要低于浅色表面。因此，森林的反射率要低于农田或者草地，这会影响森林表面的温度，因为被吸收的阳光会转化成热量。相比于森林，被用作粮食生产的生态系统会有更多的阳光被反射回大气，从而导致它的陆地表面温度比森林相对较低。

然而故事并不是到这里就结束了。相反，因为被吸收的辐射只有一部分转变成热量；另一部分被用来驱动水蒸汽从生态系统向大气迁移。这一过程被称为蒸发蒸腾作用，包括土壤水蒸汽的损失（蒸发）和通过植物的绿叶（蒸腾）。强烈的蒸发蒸腾作用会导致变冷。很难确定自然森林是否比农田或者牧草系统有更强的蒸发蒸腾作用，它取决于植物生长的区域，自然或者人工植被的根部深度，以及农田是否灌溉等。在有些地区，干旱的发生和土地利用变化的生物物理过程有关，但是在其它地区，土地利用变化却会导致当地的变冷。

除之前介绍的长寿命温室气体和生物物理过程，在这里，还要提到土地利用变化所带来的第三个重要作用。

在考虑作为大气底部臭氧的生成前导物的痕量气体排放时，土地利用变化也是重要的一个方面。在大气底层，臭氧作为一种温室气体会导致气候变暖。最后，气溶胶和它们的前导物也是气候变化的中介，会起到升温或者降温的作用。和温室气体排放相反，生物物理过程和有反应活性的痕量气体和气溶胶大多都作用在土地利用发生变化的当地区域，产生变暖或者变冷的效果。





地表和大气之间与气候相关的交换过程
对页：在原生地表景观中，基本上没有（或者很少有）二氧化碳的净吸收或者释放。光合作用产生的碳吸收和呼吸或者火灾等过程产生的碳释放是平衡的。会有温室气体甲烷和氧化亚氮的小规模释放，尤其是在湿地或者热带草原地区。和农田相比，有更大比例的阳光会被地表吸收。通过该吸收作用带来的可用能量更多被用于水蒸汽的蒸腾。
本页：在人类改变后的地表景观中，二氧化碳通过土地利用变化排放到大气中，而甲烷（通过稻田和牲畜）和氧化亚氮（通过使用肥料）的人为排放远远超过了自然生态系统中这些温室气体的排放。相比于自然生态系统，相对较少的阳光被地表吸收。通常情况下，通过该吸收作用带来的可用能量更多被用于加热地表。

土地利用变化可以在很多方面影响气候变化，而且它们在不同的时间尺度（几天到几世纪）和空间尺度（区域到全球）上发挥作用。这将对理解过去、现在和将来土地利用变化对气候的所有影响构成巨大的挑战。此外，排放量和生物物理过程不仅取决于我们使用土地的方式，它们自身对气候变化也有响应。较高的温度将增强生物和化学过程，导致更多的排放并进一步强化生物物理过程。通过这种方式，它们对气候变化产生反馈。

但是气候变化也会影响土地利用和土地利用变化吗？显然如此。气候在某一区域是粮食和木材生产种类的重要决定因素，因为它决定了灌溉的可用水量，并影响产量（例如通过干旱、洪涝和霜冻）。气候因此会在当地或者区域上影响收成，无论是增产还是减产，这是影响人们如何选择管理土地的重要因素。不过，气候只是这些决策的一个方面，其它因素，如经济、社会或政治变革，对于理解土地利用变化也很重要。

2

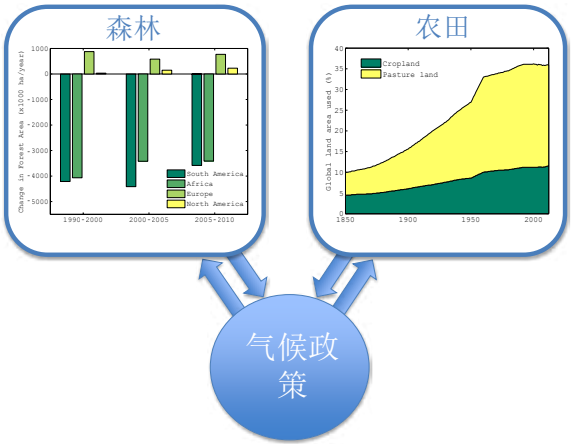
国际气候政策中的土地利用变化

Joanna House & Annalisa Savaresi

如何管理土地的政策和决定影响着温室气体的排放。从土地部门衡量和管理温室气体排放的国际政策逐步到位。世界上几乎所有的国家都批准了1992年《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC），这要求他们：

- 采取国家政策来限制温室气体的人为排放，保护、保持和增强温室气体在碳汇和碳库中的封存
- 定期公布用议定方法统计的温室气体排放和吸存清单

所谓的土地利用、土地利用变化和林业（land use, land-use change and forestry ，LULUCF）部分包括土地类别之间的转换（例如从林地到草地，从湿地到定居点等）和同一土地类型内的土地管理导致的排放和储存。在国际气候法律中制订定义和方法是一个长期和复杂的过程。两个特别困难的问题是，如何处理：（a）持久性（例如，一个新植的或者现有的森林可能会受到未来人为活动或者环境变化、虫害、火等的威胁）和（b）渗漏（例如在一个地方保护或者新增森林会间接导致其它地方的森林砍伐）。更多的困难来自于像澳大利亚或者新西兰等一些国家，LULUCF部分是很大的一个温室气体排放源，主要是由于密集放牧及与其相关的甲烷排放（见第一章）。与此相反，在有些国家LULUCF部分则是一个显著的温室气体的汇，如在很多欧盟成员国有大量的农田转换为森林。还有些国家，通过减少毁林，LULUCF部分在未来有潜力避免成为大的温室气体源（如巴西）。



土地利用变化会导致气候变化，从而影响气候政策。但是也可以在土地利用方面通过适当的政策为减缓气候变化提供机会。
左上图：区域森林面积变化（单位：千公顷每年；数据来源：联合国粮农组织，2010年）。热带地区仍有很多森林遭到砍伐，而欧洲和北美的一些地区森林面积在扩大，例如在农业用地被废弃之后。
右上图：全球农田和牧场的占地比例（Klein Goldewijk等，2011， Glob. Ecol. Biogeogr. 20，73－86）。历史上，很大一部分的自然植被都转化成了农田，但是在过去的几十年中这一转变呈下降趋势。

大多数UNFCCC缔约方还批准了1997年的《京都议定书》，其中为一些发达国家制订了2008年至2012年间具有法律约束力的减排目标。经过漫长的谈判，一小批发达国家采纳了从2013年到2020年的新减排目标。根据《京都议定书》，发达国家可以通过LULUCF项目来达到他们的减排目标。计量通过新造林、再造林、毁林和森林管理造成的排放和减排是强制性的，而计量其它土地部门的排放，例如耕地、草场和湿地管理等则是自愿性的，由各国自行决定。

发展中国家也可以在土地利用方面参与减排。依照清洁发展机制，发展中国家可以用发达国家提供的资金实施一些LULUCF措施（仅限造林和再造林），这些温室气体减排额度则归发达国家所有。最近，根据REDD+（减少森林砍伐和森林退化的排放，包括森林的保护、可持续的森林管理和森林碳储备的增长），发展中国家还可以通过实施造林、再造林、防止森林砍伐、森林管理等措施来获得资金支持。

很多发展中国家还自愿承诺在LULUCF方面进行减排，例如：

- 巴西提出要在2020年，和“一切照常排放”相比减少三分之一的排放，包括在2020前将亚马逊地区的森林砍伐降低80%（相比于2005年）。

- 中国承诺要在2020年前增加四千万公顷的森林覆盖和13亿立方米的森林储量（相比于2005年）。

- 印度尼西亚努力在2020年前，和“一切照常排放”相比减少26%~41%的排放。目前，印度尼西亚总排放的大约80%来自于森林砍伐和泥炭火灾。

- 墨西哥希望在2020年前，和“一切照常排放”相比减少30%的排放，包括REDD+和植树造林计划。

UNFCCC缔约方在对一项新的气候协议进行谈判，预计将在2015年12月的巴黎气候变化大会被采纳。新协议可能包括一个专门的REDD+机制和在土地利用变化方面的新规则，甚至有可能对于一些发展中国是具有法律约束力的，来促使他们从LULUCF方面进行减排。

3

研究土地利用变化和气候变化之间相互作用的模型和方法

Nathalie de Noblet-Ducoudré

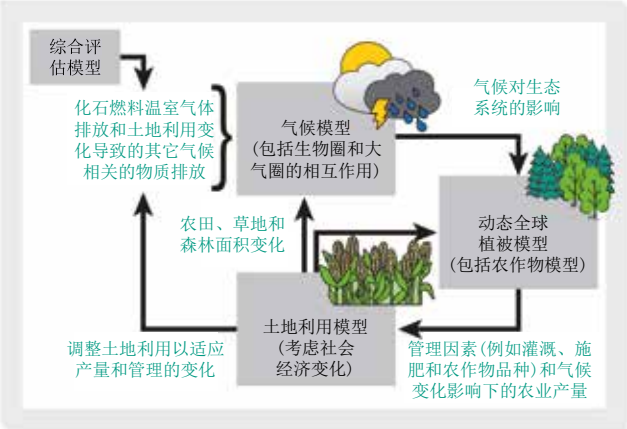
定量测量土地利用变化对大气（和气候）的影响，如对温室气体含量，其它土地利用相关的物质，对热量和水分交换的影响，具有很大的挑战性。有一种方法是选取两个样点进行测量，这两个样点的初始气候条件一样，但是其中一个样点后来发生了土地利用变化。这样，我们可以比较“原始”和“被干扰”地点的状态。然而实际情况中，很难找到合适的样点来进行这种控制实验。此外，仅仅进行局部观测并不足够，因为被干扰地点大气状态和成分组成的变化能够导致大气运动的变化（从而改变天气），进一步使得用以对比的原始样点受到影响。实地测定土地利用对气候变化影响的困难性（或甚至是不可能性）促进了模型的发展。这些模型是我们对特定学科知识的数理化表达，能够使我们对两种相反的状态进行比较，帮助我们探索土地利用变化和气候变化在未来如何相互影响（或者它们过去如何相互作用）。

为了充分考虑它们之间的相互作用，我们需要三个模型。这些模型是相互联系的，一个模型的结果会被另一个模型作为输入。

- 全球气候模型计算陆地和海洋生物圈与大气之间的热量、能量、水、温室气体和其它化合物的相互交换，从陆地流向海洋的水量，大气风场，洋流和大气的化学、物理、热值状态。为了评估气候如何随时间变化，例如对于人为化石燃料排放的响应，气候模型需要：a）自然源和人为源排放的温室气体和气溶胶的大气浓度；以及b）陆地生态系统的地理分布和它们的用途信息（是否灌溉，是否收割等）。土地利用变化作为气候模型的输入，然后生成土地利用变化导致的气候改变（气温、降水和风力等的日变化和季节波动）。

- 动态全球植被模型（dynamic global vegetation model ，DGVM）模拟陆地生物圈的运作。它嵌入了自然和人为生态系统，模拟生物圈的生命周期：植物的光合作用，呼吸作用，植物生长，和对水分、阳光和氮素的竞争等。在人为生态系统中，会有灌溉和施肥，可以计算农作物的年产量。DGVM需要一系列从气候模型来的大气参数（如辐射、空气温度和湿度、二氧化碳浓度、降水和风速），来驱动生物圈的模拟。至于气候模型，土地利用变化引起的改变作为了DGVM的输入。

- 土地利用模型（land-use model，LUM）是用来研究人类如何利用把陆地并将其分配为农田和牧场的。土地利用模型考虑了人口密度、收入水平、科技如何发展的估计和人们生活方式的变化（例如偏爱某种食物类型）。土地利用模型考虑了基本的经济学原理，但同时受社会和自然系统的约束（如某地区受当地气候和土壤条件限制所能达到的产量，可以通过DGVMs估算）。这些模型也需要人类社会未来发展的信息（见第四章），以模拟土地利用变化，后者可以用作气候和植被模型的输入信息。目前，“综合评估模型”(Integrated assessment models，IAM)通常用来在既定的模型框架下提供土地利用变化的预测，但是也有另外的LUM方法在不断发展，尝试更详细地考虑那些导致土地利用变化的人类决策。



图中显示了用来评估土地利用变化和气候变化相互作用的各种子模型之间的信息交换。绿色文字总结了各个模型的产出，黑色箭头表示了这种信息在模型之间传递的方向。

LUM模拟的土地利用变化会影响气候，如通过改变温室气体排放，或者反射率（见第一章）等地表特性。这些变化都被气候模型考虑在内，能够通过影响生物圈和大气之间的水、能量和热量交换，从而影响气候。

4

社会经济排放情景以及它们的作用

Detlef van Vuuren & Elke Stehfest & Alexander Popp

鉴于气候系统的惯性，评估今天决策的潜在长期后果是很重要的。情景分析已发展成为一种探讨和评估未来可能发展不确定性的工具，这些情景能够综合地球人口增长、经济和科技发展以及贸易模式等假设。在近年来，对能够综合不同气候变化研究领域的情景的需求已变得明确。这些情景让我们能够把不同研究联系起来，包括气候系统的研究、气候变化影响、适应性和脆弱性的研究，和未来人类温室气体排放以及减缓政策的研究。这些情景下的温室气体排放估计能够用在第三章介绍的模型框架中。目前，这些情景围绕着两个重要维度：典型浓度路径（representative concentration pathways，RCPs）描述了一系列的可能排放路径，每一路径对应着一个特定的辐射强迫水平，从而决定了气候变化的量级以及相关的气候变化影响。这些与每个RCP相对应的未来可能社会经济条件被称为共享的社会经济路径（shared socio-economic pathways，SSPs）。

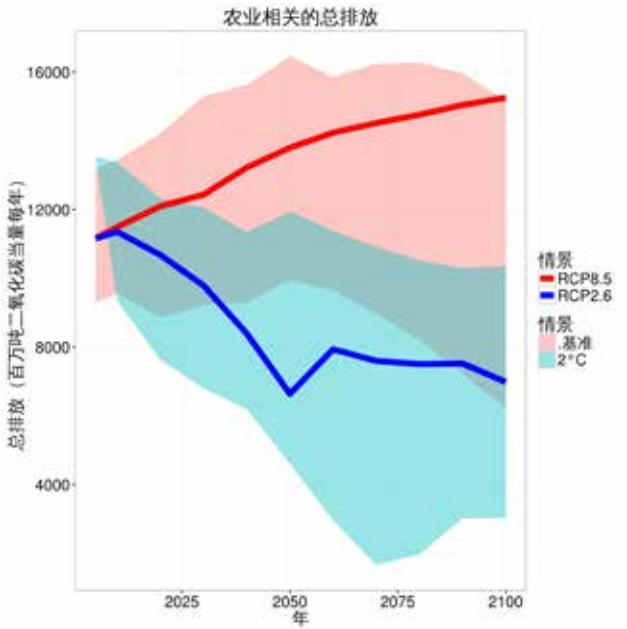
土地利用在这些情景中起着关键作用。SSPs提供了五个未来社会经济发展的备选情景，其中包括农业和土地利用可能的变化趋势。例如，某个SSP可能描绘了一个加大环境科技投资、低人口增长率、高水平的教育和更加注重经济平等性的未来世界；而另外一个SSP可能遵循一个和历史并没有太大差别的未来路径，包括持续的人口增长和化石燃料使用。在每个SSP中，气候政策都可以被用来减少排放，以达到和RCP情景相一致的浓度水平。土地利用相关的政策措施在这方面发挥了重要作用，包括生物能源的使用，林业管理相关的措施和在农业方面减少非二氧化碳温室气体的排放。

什么模型被用来开发RCPs和SSPs？

未来排放是各种社会经济因素之间复杂作用的结果，包括人口动态、经济发展、技术变化、文化和体制变化以及政策。所谓的综合评估模型（IAMs，见第三章）已经发展成为一个统一的框架来研究这些驱动因素下的未来可能发展，主要集中在能源和农业、土地利用系统以及相关的排放。

未来的土地利用是不确定的

过去不同的研究探讨了未来可能的土地利用。大多数的预测表明，在未来几十年中，农业用地的面积会继续缓慢增长，主要的驱动力源于食物和饲料需求的增长超过了相应的农业单位面积产量的预期增长。



图中显示了IPCC AR5数据库中不同情景下的全球土地利用变化排放（二氧化碳当量），比较了基准排放（“一切照常排放”）和旨在温度变化不超过2°C的排放情景（红色和绿色阴影部分是一系列代表了不同情景的IAM结果）。相应的RCPs（RCP8.5和RCP2.6）用实线表示。气候政策可以用来减少土地利用相关的排放，例如达到2°C的目标，但是也很明显不能把所有的排放降到零。（数据来源于IPCC AR5-WG3情景数据库和RCP情景）

土地利用扩张的程度取决于人口增长、饮食结构改变、对生物能源等非食物产品的需求和未来农业产量的变化（又会由科技和环境的影响决定，例如气候变化）。随着时间推移，这些不确定性可能会导致差别很大的土地利用变化模式。事实上，很多情景表明在没有气候政策时，土地利用是稳定的。但是，加上气候政策（见第二章）后，未来对生物能源的需求可能会带来对肥沃农业土壤的进一步“索取”。这可能导致自然用地的进一步流失，但也可能带来更高的农业单产产量，以应对土地稀缺。

气候的影响显然也是不确定的。虽然在过去几年中，模型研究已经开始探索在不同情景下土地利用变化的生物化学影响，但未来地球碳循环的精确变化仍是未知的。另外，未来土地利用变化的生物地球物理影响，如对阳光的吸收和反射（见第一章和第三章），仍然没有被广泛研究，在局地尺度这些影响可能会很强。正如LUC4C项目所做的一样，IAM模型、生物物理模型（例如DGVMs）和气候模型的耦合能以一种独特的方式来探索土地利用和气候变化之间的相关关系。

5

粮食生产、气候和社会形成的交织网

Thomas Pugh

所有生物都会改变周围的环境以使其更好满足自身的需要，但是随着农业活动在约一万年前起源以来，人类对环境的改变极其深刻。农业系统与先前原生生态系统的差异非常显著，极端的例子如大面积单一种类的农田取代了生物多样性丰富的森林。这本小册子前面已经提到，目前农田占全球陆地面积的12%，而畜牧业则进一步占到了25%。整体而言，陆地植被所固定的太阳能中约有25%被用以服务人类。

满足人类社会所需的农田面积大小取决于人口数量、饮食结构以及单位面积的农业产量。过去的500年中，伴随着人口数量的剧增，农田面积也大幅扩展。尽管这一状况在近期有所改观——农业产量的增加主要归功于技术进步，如使用肥料、机械化作业、更加高产的作物品种和病虫害防治。许多对于未来农业发展的预测（见第四章）基于这一假设，即农业技术将保持过去50年来的进步速度、或者先进农业技术尚未充分应用的国家（主要为发展中国家）将能够获得这一技术并实现大规模普及。然而，我们并不知道此类的预测是否可靠，以及它们所依赖的上述假设能否实现。

作为气候变化的结果之一，温度上升或降水量的改变能够影响农作物的生长。干旱对农业的不利影响显而易见，此外，作物开花季节时的极端炎热将大大降低农业产量。气候变化的另一后果是极端天气事件的严重程度会增加，如洪水、冰雹灾害等，他们会毁坏农作物。所有上述因素都会降低农业产量，或者增加产量的波动。但是，这些不利影响在全球范围的分布往往并不是均匀的，他们主要集中于热带地区，而那里的农业发展水平本来就比较落后。

当然，气候变化对农业的影响也不全是有害的。事实上，科学家们预计，受益于升温带来的植物生长季节的延长，温带地区的农作物会更加高产。另一方面，尽管空气二氧化碳浓度升高导致了温度上升，但同时也有大量证据表明植物光合作用的速率也在提高，因为二氧化碳是植物的主要“食物”来源。二氧化碳浓度上升提高作物产量的直接效应可能部分抵消其带来的气候变化的不利影响。

此外，二氧化碳浓度升高也间接减少了植物对水分的需求，这一效应在干旱区域，或由于气候变化会变得干旱的地区尤为重要。但是，二氧化碳浓度增加和气候变化对农业产量的综合作用仍然存在着巨大的不确定性。田间实验的结果并不一致，很难确切地获知这一综合影响到底如何。还有其它问题也需要考虑，例如二氧化碳浓度增加会不会影响粮食的品质，有证据表明它可能会降低粮食中蛋白质和矿物质的含量。

毋庸置疑，气候导致的农业产量变化将强烈影响养活地球人口所需要的农田面积，以及这些农田将分布于何处。为了应对单位面积产量的降低，扩大农田面积或农田重新布局可能是增加粮食产量的唯一途径，但是地球上几乎已经没有未被利用的土地了。迁移农田或者增加面积往往是以牺牲生态系统提供的其它功能为代价的，失去生态系统中储存的碳库就是例子之一（见第一章）。自然生态系统储存了大量的碳，可以达到大气中碳储量的两到三倍。尽管不乏例外，农田在生物体和土壤中储存的碳均低于它们所取代掉的自然生态系统。收割农作物从生态系统中移走了原本将储存在土壤中的碳。此外，一些耕作过程如犁地等破坏了土壤结构，增加了侵蚀风险和土壤中有机物质的分解。自然生态系统转变为农田时所流失的碳取决于气候、所耕种的作物品种、土壤类型和耕作方式。例如，免耕和原地保留非食物部分的农作物秸秆等耕作方式将会大幅减少碳的流失。

上述各种农业对温室气体排放极其效应的影响其实还可以通过一些反馈机制影响到农业生产自身。气候变化导致农田单位面积产量降低，由此就需要增加农田面积，而增加农田面积就会减少自然植被系统的碳储量并增加其它温室气体的排放，这将加剧气候变化，并进一步降低单位面积的粮食产量。当然，这一过程也可能倒过来成为良性循环。所以，要了解未来人类社会对土地利用的需求，就必须了解粮食产量将怎样随着气候变化和有关社会-经济条件变化而变化。但与此同时，为了解未来气候怎样变化，我们也必须了解农田面积及其耕作方式将怎样变化。

最后，在社会-经济系统这一方面也有一些问题需要回答，例如社会-经济系统能否把粮食从最佳生产地区运送到最适需求地区？现实经济条件所决定的农业土地利用路径是否会偏离理论最优路径？人类社会经济系统和自然生态系统间这些相互影响的基本因素是研究者们所面临的巨大挑战。了解这一相当复杂的图景是适应气候变化和减缓极端气候事件不利影响的关键。缺乏这种整体性的认识，维持粮食供应或者试图把气候变化控制在某一合理水平之内，将不是基于科学决策而是指望我们会有好的运气。

6

生物能源、土地利用变化和气候

Almut Arneth & Kerstin Baumans

“生物能源”指为数众多的用以产生能源（燃料、电能、热能）的各种形式的生物质。富含淀粉（如玉米）或油类（如油棕、油菜）的植物体可以被转换成乙醇、生物柴油或生物气体等生物燃料。木本植物是天然的、也是最传统的生物能源的来源，直到一个世纪前，用做取暖或喷饪的生物质仍然是全球范围内最大的能量来源。随着化石燃料使用越来越多（特别是在发达国家），生物质能源所占比重迅速下降。但是近年来，减缓气候变化的政策（参见第二章和第四章）也在促进生物能源的使用。本世纪以来，在有些国家和地区，例如中国、欧盟、美国和巴西，生物质能源产量增长了近三倍。

全球能源需求最终能够由植物供给的比例难于准确估计。乐观估计，到2050年植物将能够提供每年高达400艾焦（1018焦耳）的能源。多数人可能不了解这一数字意味着什么，400艾焦相当于三分之二的全球一次能源生产量。但是也有其它研究指出生物质提供的能源没有这么高（大概每年100艾焦）。这些估计的差别主要源于对能够从生物质中提取的能源量的估计，而这又取决于我们对未来的假设，如植物生产力将如何变化、将植物转化为其它能源形式的效率、以及未来可用于生物质生产的土地面积等。

那些认为推广生物能源有助于减缓气候变化的主张主要基于生物能源是一个闭合回路循环：在转化和燃烧生物质过程中所排放的碳不过仅仅是植物在生长过程中从大气吸收的碳。但是，研究生物能源的气候影响还应该考虑将生物质转换为液态或气态燃料时所耗费的能源、以及这些燃料燃烧时所排放的气溶胶颗粒。最关键的是，种植生物能源作物时施用氮肥所排放的氧化亚氮能够显著影响温室气体的平衡，这一影响似乎比起初所认识到的更为显著，特别是在一些密集耕作的生物能源作物中，如甘蔗或玉米。

此外，对于生物能源生产还有一些其它方面的担忧。人们担忧将淀粉类或糖类农作物转换为生物燃料将对粮食生产构成威胁，由此推高粮食价格并加速自然植被向农田的转化。有一项研究比较了汽车如何利用生物能源更为有效，结果发现，将生物能源直接用于发电驱动汽车，和转化为生物燃料驱动汽车相比，前者行车里程高80%。因此，加大种植专门用于能源生产的农作物将会导致更多的土地利用变化，包括所谓的“间接土地利用变化”，即在某处新增农田种植粮食，是为了补偿在另一处由于生产生物能源导致的粮食产量下降。

当自然植被转化为农田，不管是直接还是间接的土地利用变化，都会导致原来储存在植被和土壤中的碳的流失，这就部分抵消了通过燃烧生物能源而非化石能源所节省的碳排放。这一影响的大小取决于被改变的原有生态系统的类别以及用于能源生产的生物质的生产效率。但是同时，这种不利影响也可以缓解，如利用原有生态系统的副产品进行生物能源的生产，而不是种植单一的以生物能源为目标的农作物。在合理的设计下，生物能源生产和粮食生产可以并行不悖，这对农村发展和农民收入增加都非常有益。

7

土地部门如何适应气候变化？

Mark Rounsevell

自从首次确立气候变化的科学证据以来，政治决策就集中于如何减少温室气体排放以减缓气候变化（参见第二章）。但是人们也逐渐认识到一定程度的气候变化已然不可避免，这就需要理解气候变化所带来的影响，并且制定计划以适应这些影响。当然，个体和社会适应气候变化的方法可以多种多样，其中有些方法可以来新的发展机会和复合效益。

不同土地部门适应气候变化的方法也因其管理方式而异。农业部门适应气候变化的方法包括种植更加耐热的作物品种、或者改变耕种或收获日期以更好对应变化的天气状况。农业主们甚至可以通过改变土地利用类型而改变整个农田作物系统（如将草地变更为粮食用地）。种植更加多样化的农作物品种也可以将气候波动相关的风险降至最低，而其本身对自然界也有益处，因为它可以为不同物种创造更广的生境。农业主们也可以靠使用灌溉技术应对更暖和更干的气候条件，特别是，当灌溉用水是来自于农田本身所收集和存储的降水时，也可以减少抽取河水和地下水，降低对水循环系统的干扰。的确如此，在某些情况下变暖甚至是有利的，如变暖可以增加高海拔地区葡萄栽培和葡萄酒酿制的面积，以及其它水果的生产。

变暖对高海拔地区林业管理的影响也类似。更暖的气候条件使得高海拔地区林场能够引入更广的树种，当时这一决定需要及早做出，因为跟快速变化的气候变化，树木的生长周期较长。在某些自然植被区，为了维持气候变化下的生物多样性，需要人为将那些迁移能力较弱的物种从一处迁至另一处（物种迁移）。自然生境管理人员也可以通过建设生态廊道增强现有自然保护区间的连通性。洪水是气候变化的一个主要潜在影响，但是恢复自然湿地系统可以调节气候主导的洪涝事件（作为过量水体的缓冲带），并可为湿地物种（如迁徙鸟类）提供新的生境。这种双赢的情景在河流系统或者海岸系统都可以实施，重新连接海岸线需要移除海岸防护墙并恢复自然盐沼，后者可以作为沿海洪水和海平面上升的天然防护屏障。

所有这些适应气候变化的案例都依赖于个体、或者个体所居住的社区能够预见到气候变化的潜在影响并实施适当的应对策略。这需要关于气候变化影响的适当知识，和一种参与的意愿，以制定对人人都有利的、长期的土地利用管理和规划策略。

8

可持续的土地利用：埃莉诺·奥斯特罗姆的第三条道路

Mechtild Agreiter

“我们一直以来行驶的道路有种迷惑性的轻易，我们在这条平坦的高速公路上急速前进，而它的尽头却是灾难。另一条岔路——少有人走的那条——却是最后的、也是唯一的通往我们所居住的地球永续保护的道路”。

雷切尔·卡森在她1962年出版的书《寂静的春天》中做了这样的陈述。她已经意识到“我们正在被迫冒无意义的和可怖的风险”。卡森坚信我们应当承担责任并认清可供我们选择的其它道路。而这条道路在土地利用和气候变化的情景下又意味着什么呢？

现今时代的土地利用，和快速变化的气候一道构成了我们的挑战，而我们却常常试图通过技术创新来应对这些挑战。在这样做的时候，这些挑战就蒙蔽性的成为了一个简单的自然科学问题，与人类价值取向、伦理和社会变革似乎没有多少关联。埃莉诺·奥斯特罗姆创造性的展示了，没有人类社会行为的关键性变革，仅有技术解决方案是远远不够的。对于公共资产的管理，她没有因循传统求助于国有化或私有化，相反，她开辟了第三条道路：一种合作性制度的可能，即便是对复杂的系统也同样适用。2009年，埃莉诺·奥斯特罗姆成为了历史上第一位获得诺贝尔经济学奖的女性，以表彰她在公共资源可持续利用领域的研究。她的研究工作的价值在于指出公共资源不需要、也不能以一种有利可图的、生态破坏的方式加以利用。通过许多研究案例，奥斯特罗姆表明共同体成员能够找到合作性的、可持续的土地利用制度。

奥斯特罗姆列出了八条应该作为公共资源（如土地、气候）利用指导的“制度要素”：

埃莉诺·奥斯特罗姆罗列的成功的、可持续的公共资源管理的制度要素：

1. 清晰界定的边界
2. 必须符合当地的需要和条件（因地制宜）
3. 集体决策
4. 对使用者和资源的有效监督
5. 对于违反规则者的分级制裁机制
6. 冲突解决机制
7. 组织的自主权得到认可和保障
8. 多中心治理结构，可以建立相互嵌套（但必须负责）的机构

奥斯特罗姆的假设是在某种局部情境下，人们将自愿遵守这些规则，并且人们将不再追求自身利益的最大化，特别是当这些规则能够解决社会冲突时。这一系统也同样适用于气候变化和土地利用。正如奥斯特罗姆所指出的，关键点是人们要承担责任，组成自治团体，一起合作寻求解决方案，并同时兼顾局地需求和具体情形，注重所有利益相关方的参与。

建立此种系统的最大挑战之一是创造诸多条件使其便于实施，如创造条件使所有参与方实行自治，允许个人表达其真实意愿，这样就可以提升（群体的）责任意识，实现土地资源的持续利用。

考虑到过去几年雨林的大规模破坏或大规模的“土地攫取”，这些通常具有巨大的破坏性影响，毫无疑问，通过应用奥斯特罗姆的基本原则，土地利用能够发生积极的改变。

在全球许多区域建立众多小规模的行动计划将比等待在全球水平上达成的政策或国际条约更有意义。当然，显而易见，奥斯特罗姆所提倡的系统需要获得政策支持。正如诺贝尔委员会所指出的，人们的未来维系于“对合作的组织”能力。要想这些改变获得成功，焦点必须从依靠技术进步和维持少数人的利益转向注重对人的组织。我们必须采取快速行动，特别是顾及到气候变化的速度、全球范围内社会的不均衡以及粮食短缺。

编写参与人员：

Almut Arneth 教授（博士）
Mechtild Agreiter 博士
Thomas Pugh 博士
Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Meteorology and Climate Research, Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Germany
http://imk-ifu.fzk.de/plant_atmosphere_interactions.php

Joanna House 博士
Cabot Institute School of Geographical Sciences, University of Bristol, UK
http://www.bristol.ac.uk/geography

Annalisa Savaresi 博士
Edinburgh Law School, University of Edinburgh, UK
http://www.law.ed.ac.uk/

Nathalie de Noblet-Ducoudré 博士
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Centre national de la recherche scientifique, France
http://www.lsce.ipsl.fr

Alexander Popp 博士
Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany
https://www.pik-potsdam.de

Detlef van Vuuren 教授（博士）
Elke Stehfest 博士
Department of Climate, Air and Energy, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency
http://www.pbl.nl/en/aboutpbl/departments/climate-air-and-energy

Kerstin Baumans 女士
Lund University, Dept. Physical Geography and Ecosystem Science, Sweden
http://www.nateko.lu.se

Mark Rounsevell 教授
David Kinloch Michie Chair of Rural Economy and Environmental Sustainability, School of GeoSciences, University of Edinburgh, UK
http://www.ed.ac.uk/schools-departments/geosciences

图片提供：
© S. Rösner | pixeldiversity.com (cover; p. 1; 4; 36/37; 48/49; 58; 59), © Almut Arneth (p. 2; 14/15; 31), © Delphine Deryng (p. 7), © Anita Bayer/DLR (p. 8/9), © Nadine Rühr (p. 19), © Andreas Gast (p. 24/25; 38/39; 44/45; 53), © Ines Bamberger (p. 56; 62/63)

图表提供：
Almut Arneth (p. 16/17); Thomas Pugh (p. 22); Nathalie de Noblet & Almut Arneth (p. 30)

这本小册子是LUC4C项目的产出之一。LUC4C项目全称是：“土地利用变化：净气候强迫评估以及气候变化减缓与适应措施”。LUC4C项目由“欧盟委员会第七框架项目”提供资助。本宣传册包括了与以下主题有关的文章：土地利用变化与气候变化的相互作用；气候政策；气候模型和情景的最新进展；土地利用变化与粮食生产和人类社会间的关联。