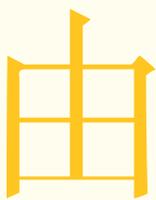


# 传粉媒介

## 生态系统服务的营养安全效应

众所周知, 传粉媒介可以影响作物产量及市场价格。而新的研究表明, 它们也可以影响食物的营养价值。 © Konrad Wothe/Minden Pictures/Corbis





于蜂群崩溃综合症造成大量人工培育的蜜蜂消失，以及全球范围内传粉媒介物种的减少，一时间舆论沸沸扬扬。最近科学家们开始评估粮食作物对动物传粉媒介——包括蜜蜂、蝴蝶、蝙蝠等——的依赖程度，其中一项研究估计传粉媒介提供的“生态系统服务”经济价值大约为1670 亿美元。最近多项新研究发现，传粉媒介也可能对营养安全——食物中所含的人类必需的常量营养素及微量营养素——产生有益影响。

“众所周知传粉过程可以影响农作物产量和农业经济学。”佛蒙特大学昆德生态经济研究所 (Gund Institute for Ecological Economics at the University of Vermont) 主任 Taylor Ricketts 说道，同时也指出我们现在逐渐了解到传粉过程同样可以影响食物的营养价值。

缺乏 3 种常量营养素 (脂肪、蛋白质和碳水化合物) 以及许多必需微量营养素 (维生素及矿物质) 可导致营养不良、免疫功能低下、发育不良，并大大增加其他疾病的死亡率。目前全世界约有 7.95 亿人长期缺乏足够的热量及蛋白质，20 亿人缺乏微量营养素 (所谓“隐性饥饿”)。最新研究表明，传粉过程减少可能会在某些地区导致这些问题恶化。

## 蜜蜂的价值

“生态系统服务”似乎是大自然的慷慨馈赠，食物、饮水、生命维持系统如湿地植物净水功能以及土壤养分循环等等滋养着人类繁衍生息。2005年“千年生态系统评估”(Millennium Ecosystem Assessment)的作者指出，“如果人类赖以生存的大多数生态系统服务继续退化，那么我们在‘千年发展目标’——根除贫穷与饥饿、改善健康、环境可持续性——方面取得的任何进展都不可能持续下去。”

有些情况似乎有违我们的直觉：人类对自然界的改变与许多全球健康指数改善相一致。与此同时，生态系统变化产生的负面影响也日趋明显，在未来可能会更加突出。对许多生态系统服务，我们缺乏足够的研究以充分了解其对人类健康的影响。

弗莱堡大学(University of Freiburg)农业生态学家 Alexandra-Maria Klein 与同事们仔细研究了全球作物生产对传粉媒介的依赖程度，首次尝试为传粉服务估算价值。Klein 的团队根据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations)的数据，选出了占全球粮食产量 99% 的 124 种水果、蔬菜及种子作物。

“我们阅读了关于每种作物的所有文献，评估其对传粉媒介的依赖性，”Klein 说道，“根据每个国家的作物产值及其对传粉媒介的依赖程度，可以估算(如果传粉媒介消失)造成的损失。”

研究发现 87 种作物在一定程度上

需要动物传粉，28 种不需要，另外 9 种的传粉依赖性未知。占全球产量比例最大的农作物(主要是谷物与甘蔗)依赖风媒传粉和自花传粉。然而只有 1/3 的作物总产量来自其水果、蔬菜或种子产量随动物媒介传粉而增加的作物。

继这项工作之后 Klein 进行了另一项研究，评估传粉媒介数量下降如何影响人类营养状况。她的团队收集了联合国粮农组织于 1997-2007 年间收集的 150 多种作物的产量数据、美国农业部关于每种作物的常量及微量营养素含量数据、以及 Klein 之前研究的作物对传粉媒介依赖性的数据。对这些数据的分析表明，多种微量营养素——维生素 A、维生素 C、大多数胡萝卜素及生育酚——大多来自于至少部分依赖动物传粉媒介的作物(见表格)，其中 3 种微量营养素——维生素 A、胡萝卜素、β-隐黄质——超过 40% 完全依赖于动物传粉。

研究结果还表明，58% 的钙和 29% 的铁来自传粉媒介依赖性作物，其中分别 9% 和 6% 完全依赖于动物传粉。虽然肉类和乳制品中的钙和铁吸收效率较高，但是由于价格较贵，并不是所有人都负担得起。

作者的结论是，破坏动物传粉过程“可能会对人类营养状况产生巨大影响”。他们承认由于数据全部来自美国，其结果存在局限性，可能无法反映其他国家同种作物的营养含量。联合国粮农组织可持续农业项目专家 Barbara Herren 补充说，该研究也没有考虑到许多当地社区居民大量食用一些传统的本地土著食物，包括在森林中收集的野味。

“森林为当地人口提供了重要的饮食多样性，他们对非木材林产品的依赖程度比我们知道的要高得多。”Herren 说道。她指出最近的研究表明，生活在非洲森林茂密地区的儿童比生活在树木较少地区的儿童食物营养更丰富。“由于存在粮食及营养安全问题，发展中国家对传粉媒介依赖性作物需求的增长比发达国家要快得多。”她补充道。

## 传粉及营养安全

动物传粉媒介影响果实状况、营养含量，进而影响市场价值的方式似乎颇为复杂。有实验研究发现，与风媒传粉及自花传粉的草莓相比，蜜蜂传粉的草莓更红、更重、更结实、糖-酸比率更低，因而保质期更长且市场价值更高。另有研究表明动物传粉与苹果中的钙、油菜籽中的油以及橘子中的糖含量较高有关。

Klein 与同事研究了杏仁的营养含量是否随杏仁树传粉方式不同而改变。他们发现，与自花传粉的杏仁树相比，异花传粉杏仁树的杏仁中维生素 E 水平较低，但油酸-亚油酸比率较高。有证据表明杏仁的心脏保护作用来自其油酸成分，一种单不饱和脂肪。研究人员指出，注重饮食健康的消费者会选择油酸-亚油酸(一种多不饱和脂肪)比率较高的食品。

Klein 领导的另一项研究发现传粉方式与坚果大小之间存在很强的关联性。在萨克拉门托山谷(Sacramento Valley)的一个实验果园里，他们发现自花传粉的杏仁树较人工传粉的杏仁树产出的杏仁数量少但个头大，而蜜蜂传

Estimated Percentages of Human Nutrients Derived from Pollinator-Independent versus Pollinator-Dependent Crops			
	Independent (%)	Dependent (%)	
		Attributed to wind- or self-pollination	Attributed to animal pollination
<b>Macronutrients</b>			
Protein	83.43	13.57	3.00
Fat	26.02	66.98	7.00
<b>Vitamins</b>			
Vitamin A	28.71	30.26	41.03
β-Carotene	27.44	34.19	38.37
α-Carotene	32.25	29.83	37.92
β-Cryptoxanthin	0.77	56.99	42.24
Lycopene	0.00	56.67	43.33
Lutein, zeaxanthin	94.05	3.92	2.03
α-Tocopherol	63.73	28.94	7.33
β-Tocopherol	0.63	72.50	26.87
γ-Tocopherol	32.92	52.66	14.42
δ-Tocopherol	14.87	62.50	22.63
Vitamin K	71.55	19.28	9.17
Vitamin C	6.99	73.37	19.64
Vitamin B <sub>1</sub>	95.29	4.00	0.71
Vitamin B <sub>2</sub>	97.66	1.92	0.42
Vitamin B <sub>3</sub>	89.46	8.93	1.61
Vitamin B <sub>5</sub>	87.57	9.34	3.09
Vitamin B <sub>6</sub>	97.93	1.58	0.49
Vitamin B <sub>9</sub> (folate), total	55.49	37.19	7.32
<b>Minerals</b>			
Calcium	42.40	48.49	9.11
Iron	70.66	23.14	6.20
Magnesium	88.50	9.06	2.44
Phosphorus	89.06	8.72	2.22
Potassium	72.74	20.93	6.33
Sodium	87.18	8.63	4.19
Zinc	91.80	6.54	1.66
Copper	80.92	15.21	3.87
Manganese	93.87	4.94	1.19
Selenium	97.46	1.97	0.57
Fluoride	45.57	34.60	19.83

Adapted from Eilers et al. (2011)<sup>7</sup>

粉的杏仁树产出的杏仁大小介于中间。研究人员在随后的季节里没有进行实验干预，在正常果园条件下收集了各种大小的杏仁，发现杏仁重量与单位重量营养成分含量之间没有关联性。

“我们原以为（营养成分差异）是

坚果大小间接导致的结果，” Klein 说道，“但是并没有发现坚果大小存在差异，所以应该是和传粉媒介相关。”

为了深入探索这一新兴领域，Klein 与斯坦福大学伍兹环境研究所

（Stanford University’s Woods Institute

for the Environment）及明尼苏达大学环境研究所（University of Minnesota’s Institute on the Environment）的科学家们合作开展了“自然资本项目”（Natural Capital Project），对生态系统服务进行绘图及评估。他们想知道哪些地区的农业在整体上以及特定营养成分含量上最依赖传粉过程。这些信息可以帮助决策者们优先选择重点地区保护传粉媒介。

利用全球 115 种农作物产量的地理分布数据以及 Klein 的农作物对传粉媒介依赖性的数据，他们绘制的地图可以预测严重依赖传粉媒介作物产量与各种微量营养素缺乏重叠的热点地区。“我们根据不同微量营养素的传粉依赖程度对所有国家进行了排名。”“自然资本项目”研究员、该论文第一作者 Rebecca Chaplin-Kramer 解释道。他们专注于对全球健康最重要的 3 种微量营养素：维生素 A、铁和叶酸。维生素 A 缺乏每年导致 80 万人死亡、多种疾病死亡率加倍、产妇分娩期间死亡率增高 3 倍。缺铁是全球最常见的微量营养素缺乏症之一，可以导致本可预防的贫血、易感染及认知障碍。叶酸缺乏则可能导致发育中的胎儿出现神经管缺陷。

这 3 种微量营养素中，维生素 A 最依赖传粉媒介。在泰国以及印度、澳大利亚、墨西哥、美国及其他国家的一些地区，其依赖程度接近 50%。在亚洲、墨西哥、非洲及巴西部分地区，叶酸和铁对传粉媒介依赖程度最高达 12%~15%。

作者还在缺乏这些必需微量营养

素的地区对作物的传粉媒介依赖性进行了评估,发现依赖传粉媒介的热点地区——维生素 A 的传粉媒介依赖性超过 30%、铁的传粉媒介依赖性超过 15%——通常位于世界卫生组织鉴定为维生素 A 缺乏及缺铁性贫血风险地区,比位于其他地区的可能性高出 3 倍(由于缺乏数据而无法评估叶酸)。

Chaplin-Kramer 与同事们还比较了 3 种微量营养素的需求与传粉媒介依赖性供应,发现传粉媒介依赖性作物提供的叶酸比全球人口每日建议摄入量高出 13 倍,维生素 A 则高出 5 倍,但是铁只达到了需要量的三分之一。

然而这种供需不协调存在地区差异,在某些地区维生素 A 的产量可能更为有限。Chaplin-Kramer 指出,例如在东南亚部分地区,依赖传粉媒介的作物产量只能提供当地需求量的 48%。“这意味着在东南亚地区,本地农作物维生素 A 产量不足以满足人们的营养需求,”Chaplin-Kramer 说道,“而在中美洲(依赖传粉媒介的作物)维生素 A 产量却超出本地需求。”虽然全球贸易可以弥补本地产量不足,但是许多这些国家的民众已经出现营养不良,说明微量营养素在全球层面供应过剩并不意味着许多地区的营养需求得到满足。

Chaplin-Kramer 认为这些研究结果对政策与科研均会产生影响。“对于政策层面,公共卫生部门应该更全面地考虑如何应对可能进一步增加营养健康风险的生态系统服务。”她说道。该研究还引起了人们的担忧:在农作物依赖传粉媒介的地区,传粉媒介不断减少是否会加剧营养不良和“隐性饥饿”现象。

“我们应该根据需求程度在不同地区进行研究。”Chaplin-Kramer 说道。需求程度高的地区可以作为进一步研究的目标区域,而目前为止生态系统服务研究基本是随机选址。



加尔各答市的一个市场小贩正在检查南瓜质量。南瓜富含维生素A——最依赖传粉媒介的微量营养素之一。对维生素A和其他重要营养素的研究表明,传粉媒介减少将在不同地区产生不同影响,取决于人们当前的营养状况、他们获取各种营养素的作物来源是否依赖动物传粉、以及是否存在不依赖传粉媒介的替代食品。© Rupak De Chowdhuri/Reuters/Corbis

## 考虑饮食因素

下一步是研究发展中国家居民如何获取营养物质，以及传粉媒介消失会产生何种影响。2015年，Ricketts与佛蒙特大学的项目负责人 Alicia Ellis以及哈佛医学院的共同作者 Samuel Myers发表了其研究成果，该研究是“健康与生态系统：关联性分析”（Health & Ecosystems: Analysis of Linkages）——旨在量化生态保护、生态系统与人类健康关系的一个研究机构联盟——的首批项目之一。

“已经有很多相关讨论以及一些案例研究，但是我们在力争系统地研究生态系统变化与健康的关系，” Ricketts说道，“‘健康与生态系统：关联性分析’的重点是尽可能量化、清晰及严谨。”

研究人员评估了如果传粉媒介完全消失——这种情况不太可能发生，会对获取具有广泛健康重要性的微量营养素——维生素 A、叶酸、铁（Chaplin-Kramer 的研究）、钙及锌——产生何种影响。钙在神经肌肉及骨骼的发育和功能中起着关键作用，而锌对人体内众多生化功能至关重要。他们在乌干达、莫桑比克、孟加拉国和赞比亚调查了居民饮食情况，以评估当地饮食的微量营养素含量。他们分析了各个年龄组的营养摄入量，但重点放在 1~3 岁的儿童，因为这些微量营养素对生长发育尤其重要。

他们的研究表明，传粉媒介减少可能以多种不同方式影响人类健康，取决于当地饮食偏好、是否存在传粉媒介依

赖性作物的替代品、以及人们当前营养状况。例如在赞比亚，几乎所有研究对象的维生素 A 营养状况良好，以至于如果提供维生素 A 的传粉媒介依赖性作物产量减少，人们完全可以承受。而在孟加拉国人们普遍营养不良，他们没有食用过富含维生素 A 的传粉媒介依赖性作物，所以传粉媒介的减少很可能也不会影响他们的营养状况。

相比之下，在乌干达和莫桑比克，许多人处于维生素 A 缺乏的临界点。Ellis 指出，这里的居民主要从传粉媒介依赖性作物中获取维生素 A，传粉媒介减少很可能会导致许多人营养不良。

“值得注意的是，我们的研究表明主要是维生素 A 会受影响，” Ellis 说道，“对于其他营养物质如铁，传粉媒介减少可能没有什么影响。这取决于个人是否食用高度依赖传粉媒介的食物，以及他们所需的大部分营养是否来自这些食物。”

在那些已经极度营养不良的国家，传粉媒介减少对营养状况的影响可以忽略不计，但如果公共卫生措施改善居民健康状况后，这种情况可能会改变。

“如果其他因素改善了居民的整体营养状况，那么传粉媒介的变化可能就会产生影响。” Ricketts 说道。同样，如果营养状况良好人群的饮食由于某些原因而恶化，那么传粉媒介的变化也会对他们产生影响。

Ricketts 与同事们仍在继续研究传粉过程对人类健康的影响，并纳入了行为与饮食选择因素。例如，如果传粉媒介种群数量下降，从葫芦瓜——依赖昆虫传粉——获取维生素 A 的人群可以

转而食用富含维生素 A 的甘薯，其口感类似但不依赖昆虫传粉，问题是人们愿意吗？

“从逻辑上来讲可以想得到，” Ricketts 说道，“但我们没有料到从这个全球食物数据库可以有这些发现……我们发现了解人类行为对于理解自然是否有助人类健康至关重要。”

“Ellis 的研究是一个很好的例子，我们需要进行更多研究来了解这个体系的真正弱点。” Chaplin-Kramer 说道。她在加纳和布基纳法索开展了一个项目，建立模型评估当地食物营养成分如何受各种农业措施的影响。“关键在于根据实际饮食状况更多地关注传粉服务需求，而不仅仅是传粉服务供应。”她说道。

Herren 认为这个新兴研究领域相当重要。“在粮食安全方面我们花了太多时间仅仅关注卡路里含量，”她说道；“而没有关注营养安全。”

Wendee Nicole, 为《探索》(Discover)、《科学美国人》(Scientific American)及其他出版物撰稿。

译自 EHP 123(8):A210—A215 (2015)

翻译：周江

\* 本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.123-A210>