

食品中的农药残留解读



尽管很多消费者都担忧农产品中的农药残留，但农药残留带来的风险很微不足道，而农产品和谷物饮食对健康带来的益处可远远抵消该风险。（照片来自 Monkey Business Images/Shutterstock）

摘要

美国的消费者经常接触含农药残留的食品。由于食品中存在农药存留，此类化学污染物会对消费者健康带来风险，因此引发相关问题。

该报告结论：没有直接的科学或医学证据表明，消费者接触农药残留会构成任何健康风险。农药残留数据和接触评估通常表明：食品消费者接触的农药残留水平远远不足以构成潜在健康问题。在人类流行病学研究中，通常将农药代谢物的生物监测结果作为农药接触指标，研究表明农药接触与特定类型疾病之间存在相关性，但是此类研究对疾病和农药接触的研究

有限，且研究结果也不一致。例如，对六种毒死蜱的流行病学研究中，关于接触杀虫剂毒死蜱与儿童智力之间关系的结果进行了讨论。六项研究中，其中两项表明毒死蜱接触与儿童智力下降之间呈正相关关系，但两项目结果都侧重于非食物来源（使用室内杀虫剂和农业农药）接触。另一项室内毒死蜱的研究并未发现与儿童智力有关，其他三项关于毒死蜱食物接触的流行病学研究也未发现儿童智力与毒死蜱食物接触有关。

食品生产中审慎地使用农药可带来一定的社会收益。这些好处包括提高食品的生产率、供应量和负担能力；减少虫害、粮食损失和浪费，有益于

公共健康，例如控制我们食物中潜在的真菌毒素等危险。

由于污染问题，经常会有人建议消费者避免购买指定的、常规种植的水果和蔬菜。研究人员已经证明这种建议缺乏科学依据，可能导致一些消费者减少他们对水果和蔬菜的消费，而少食水果和蔬菜可能对健康造成不良影响。消费者最好选择食用富含水果、蔬菜和全谷物的饮食，有机食品或传统食品均可。

CAST Issue Paper 66 Task Force Members

作者

Dr. Carl Winter (主席), 加利福尼亚大学戴维斯分校食品科学与技术系

Dr. Carol Burns, 伯恩斯流行病学咨询有限责任公司, 密歇根州桑福德

Dr. Steve Savage, 加利福尼亚维斯塔独立顾问

审稿人

Kaci Buhl, 俄勒冈州立大学环境与分子毒理学硕士, 俄勒冈州科瓦利斯

Dr. Honglei Chen, 密歇根州立大学流行病学和生物统计学系, 密歇根州东兰辛

Dr. Franklin Mink, MAI, 肯塔基州科林斯

CAST联络人

Dr. Donald C. Beitz, 爱荷华州立大学爱荷华州艾姆斯分校生物化学, 生物物理与分子生物学系

简介

很多消费者坚信, 其接触农药化学物质的常见形式就是食物残留。这种认知可能会困扰许多消费者, 原因是农药的作用通常是伤害昆虫、植物病害和杂草等生物。食品中的农药残留引申出了一定的问题, 即消费者如果食入了无处不在的农药残留, 会造成什么样的风险。出于安全考虑, 消费者经常会收到以下建议: 其是否应该吃常规食品或有机食品; 应该考虑避免食用哪些常规水果和蔬菜; 避免食用来自哪个地理区域的食物; 在食用前如何通过洗涤、去皮、烹饪或刮洗食物的方式减少农药接触。

这些建议通常缺少科学依据。由于农药和所有化学药品都遵守同样的毒理学原理, 如仅了解食品中残留农药, 不足以证明其有害性。剂量或化学品接触情况决定了其潜在风险。由于对农药残留的担忧, 消费者可能会选择遵循上述争议建议, 完全禁食指定食物, 这违背了来自医护人员关于食用水果、蔬菜、全麦的合理均衡饮食建议。

有人认为美国的农药管理体系是美国食品供应的重要安全保障, 也有认为该体系是出现隐患的源头。例如, 联邦对常见食品中农药残留的测定结果表明, 大多数食品中的农药含量水平低至难以检测到, 违规率较低, 但同样的研究也表明, 如果检测到残留物的频率较高, 证明消费者经常接触

该食品中的农药成分。大家对食品农药许可含量(耐受量)与安全量之间的关系了解甚少, 这常常意味着如农药残留量, 则可能对消费者健康造成危险。这一点非常适合于美国的进口食物, 因为这类食物的违规率通常大大高于美国本土生产的食物。

生物监测研究中, 除了包含农药残留监管计划外, 还经常检测消费者尿液样本中的农药代谢产物。生物监测的结果可以用作消费者农药接触的标记, 这些结果通常与流行病学研究相结合以研究农药接触与疾病之间的潜在联系。最近的一系列流行病学研究表明, 农药接触与以下项目存在联系: 男性生殖不良作用; 婴儿和儿童不良发育和行为。

尽管媒体已大量报道农药接触和疾病之间关系, 我们理应认真对待, 但是我们同样需要合理评估该结果, 以了解流行病学调查的优势和局限性。在此类研究中使用和获得数据的质量至关重要, 应将个体研究结果与其他相关研究结果进行比较, 以查看是否存在类似情况。另外, 农药接触与疾病之间的关联仅代表其相关性或关系, 不能表示农药接触是疾病的成因, 了解这一点也很重要; 还应考虑此种联系的其他解释。

还应认识农药在食品生产中的用途和益处。农药为安全、有效和经济上可行的食品供应提供了一种工具, 特别是可与多种其他生物、遗传、文化

和机械方法一起用于控制害虫。农药可以提高土地和水资源利用效率, 从而最大程度减少能源需求, 并减少温室气体排放。此外, 农药作为一种强大的工具, 还可减少食品浪费及提高食品安全。

本期 CAST 发布的文章重点关注食品中的农药残留, 并就几项复杂但知之甚少的方面进行了叙述, 这些方面对于评估科学论文、食品安全故事以及有关消费者应该(或不应该)食用哪种食物的消费建议至关重要。

食物中的农药残留：监管与风险评估

美国和其他国家食品生产者在农业领域使用农药，可显著提高农作物的产量。农药为控制昆虫（杀虫剂）、杂草（除草剂）、植物病害（杀真菌剂）以及其他农业害虫提供了有用的工具。

农业生产中使用农药容易造成食物中检测到农药残留。农药使用后不一定存在残留。有的农药是在植物形成可食用部分之前施加。另外，从施用农药到收获作物之间的时间足以使农药降解到可检测水平以下。然而，粮食作物普遍存在农药残留，这经常引起消费者的关注。

美国的农药

监管法规

在美国，农药主要是由美国环境保护署（EPA）监管。针对可能会使消费者接触食品农药残留的指定农药，根据 1996 年《食品质量保护法》（FQPA）（Winter 2005）的规定，仅当确定消费者对该农药所有来源的接触均为“合理确定无害”，EPA 才允许使用该指定农药。“合理确定无害”的评估包括：通过一定的农药残留水平和食品消耗形式评估人类实际接触水平；以及将预计接触值与毒理学标准（例如参考剂量或基准剂量）进行比较。此外，FQPA 还要求 EPA 科学家考虑婴儿和儿童对农药接触的特殊潜在的敏感性，考虑食物、饮用水和居住环境中“累计”的农药接触，并从毒理学角度，考虑整个家庭对该农药具有相似生物作用机理的农药的总接触量。

如果在调查了所有这些问题之后，EPA 认定消费者接触某种农药显示“合理确定无害”，那么 EPA 将允许该农药在指定的粮食作物上合法使用，并设定该农药在指定粮食作物上的最大允许残留量或耐受度。另一方面，如果消费者对特定农药的接触水平超过“合理确定无害”水平，则该

农药将无法被注册用于特定食品用途（Winter 2005）。

这种农药许可残留量创建流程既复杂又矛盾（Winter 1992a）。耐受度并非安全指标，而是用于表示农药是否按照良好农业规范施加。当根据法律要求施加农药时，（即适当的农药施用速率、每个生长期的适当施用次数、对适当作物的施用、最终施用与收获之间的规定间隔）耐受度通常设置为略高于最大残留水平。因此，合法施用农药后的预期农药残留水平应降至耐受度水平以下（通常远低于该水平），并且只有在滥用农药的情况下，食品农药残留才会超过耐受度水平。

美国农药

监管监控

美国食品药品监督管理局（FDA）是负责执行农药耐受度的主要联邦机构。2016 年，FDA 实验室在其“食品监管计划”中使用可检测 200 多种农药残留的多残留检测技术（USFDA 2018），对 2,670 份美国国内食品样品和 4,276 份进口食品样品中的农药残留进行了分析。图 1 所示为 2016 年 FDA 计划的发现结果。

FDA 发现，大多数国内和进口食品的样品均不含可检测到的农药残留，且大多数检测到的残留水平均在耐受度水平之内。结果显示国内样品的违

规率为 0.9%，而进口样品的违规率则更高（9.8%），两者差异很大。

违规农药残留形式有两种：1）当残留水平超过规定的特定农药/食品组合许可值（耐受值）时，（2）在食物中检测到农药残留许可值尚未确定的残留-任何水平的残留（即使此种农药被允许合法使用于其他食品）。此类违规行为经常出现的原因：将合法农药施用到另一种已施用不合法农药的作物上，从污染的土壤中吸收，或在运输、包装或分配过程中与不同农产品混合。FDA 在 2016 年确认了 25 项国内食品违反农药残留的违规行为；只有四次（16%）的违规涉及超过许可残留值。在 2016 年发现的 418 种进口食品违规事件中，有 64 种（15%）的残留值超过许可。被 FDA 认定为违法的食品不得进入商业渠道。

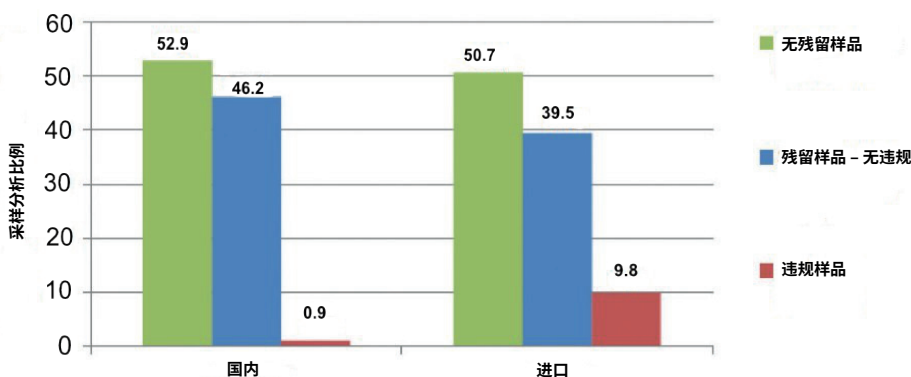


图 1 FDA 于 2016 年检测的食品样品农药残留的百分比。当残留量超过特定农药/食品组合的耐受度并且当食品中检测到耐受度尚未建立的残留时，可能会发生农药残留违规情况。资料来源：FDA 2018

解读农药残留监测结果

2016 年 FDA 残留调查结果表明，农药的施用，特别是在国内生产食品的应用，通常符合法律和既定的农业规范。多数国内和进口食品样品都不含可检测到的农药残留，而检测到的残留通常远远低于允许量的水平。由于允许量被设定为合法施用农药后预期的最大残留量，因此上述结果令人安心。

许多公众关注的焦点是违规率（国内食品为 0.9%，进口食品为 9.8%），以及违规行为对消费者安全的潜在影响。如前述，大多数违规行为的发生原因在并非超过许可值，而是在许可值尚未确定的商品中检测到农药。由于许可值的确定基于良好农业实践，而非安全指标，即使在少量超过许可值的情况下，也很少构成食品安全问题（Winter 1992a）。当 EPA 已确定该农药的所有注册用途对消费者构成“合理确定无害”，才可创建许可值。由于在美国不允许销售显示含违规残留的食品，因此食品中的农药残留监测可为我们提供有价值检查数据，以确定农药残留用途是否依据既定法律要求，并从经济上抑制食品生产商对农药的不当使用，

然而违规的残留不应等同于“不安全”的残留。如预计无负面健康影响，则许可值可能显著提高。例如，美国目前对草莓中的克菌丹（captan）的许可值是百万分之二十，较安全水平低 12.5 倍。Winter and Jara (2015) 预计，杀菌剂克菌丹（captan）在草莓中的残留量水平至少需要达到百万分之二百五十，才能引发任何早期人类健康问题。

评估接触食品中农药对消费者的风险

农药残留的存在并不能表明消费者健康风险。农药与所有化学药品一样，都遵循毒理学第一原理：“剂量决定毒性。”因此，决定是否可能造成危害的是接触量，而非化学物质的存在与否。

消费者农药接触量的计算包括两个

部分：（1）食物中农药残留的水平，以及（2）食用食物量。如果在多种食物中发现了农药，则将每种食物的接触量累加，可估算出饮食中的总接触量（Winter 1992b）。

若要确定预计接触的潜在风险，将其接触水平与初步健康问题的毒理学接触指标进行比较。该指标通常被称为参考剂量（RfD），其代表引发健康问题的最低水平；就健康风险而言，低于 RfD 的接触被认为可以忽略不计。急性（短期，aRfD）接触或慢性（长期，cRfD）接触的 RfD 计算可能有所不同。

由于农药的人类毒理学数据有限，所以多数计算 RfD 的毒理学数据来自实验室动物研究，这些研究评估了许多健康和代谢参数，以试图确定农药在最敏感的动物物种中的最敏感作用（最低剂量的农药产生的作用）。确定该效应后，施与最敏感动物而未引发最敏感毒理作用的最高剂量即被确定为“未观察到不良反应水平”（NOAEL）（Winter and Francis 1997）或相当的剂量基准。在认识到人类可能比最敏感的动物物种对农药更敏感的情况下，在以 NOAEL 为基础开发 RfD 时要谨慎考虑。在实践中，假定人类对农药的敏感性是所测试的最敏感动物物种的 10 倍，所以使用了 10 倍的不确定性因子。又假定某些人的敏感性可能是普通人的 10 倍，所以对某些特定敏感人群又乘以另一个 10 倍的不确定性因子。使用这种方法，将 NOAEL 除以 100（10 来自于动物/人类的区别，10 来自于普通人群/敏感人群的区别）得出 RfD（Winter and Francis 1995）。在某些情况下，例如当确定毒理学信息有限，或婴儿和儿童可能比成人更易接触到农药时，计算 RfD 之前可能要再加入 3 到 10 倍的不确定性因子。

饮食中农药接触评估的农药残留数据通常来自 FDA 的“食品监管监测”计划和“美国农业部农药数据计划”（PDP）等计划。FDA 的监管监控计划未对食物进行随机抽样，因此从该计划收集的数据被认为对食物供应不具有代表性。PDP 每年仅抽样几种食

品，因此其效果也受到限制。

FDA 自 1961 年以来每年进行一次饮食总研究（TDS）。该饮食总研究（TDS）是一项市场篮子研究，即 FDA 检查员每年从四个不同地点的零售店购买食品，并准备 280 种供消费的食品。当这些食品可食用时，对其中的数百种不同农药残留以及营养、金属和其他污染物进行分析。FDA 向公众公布农药残留结果，并提供 280 种食品的消费量估计值。

Winter (2015) 发表了基于 2004-2005 TDS 结果的消费者长期接触于农药残留分析。检测到 77 种农药残留，且对每种农药的接触评估值与慢性 RfD（cRfD）值进行了比较。仅三种农药的接触值超过了 cRfD 的 1%，其中包括两种在农业中不再使用、但其残留物持久存在且在环境中常见的农药。评估有 14 种农药的接触量为 cRfD 的 0.1% 至 1.0%，有 19 种农药的接触量为慢性参考剂量的 0.01% 至 0.1%。2004-2005 年 TDS 中检测到的其余 41 种农药的接触量均低于 cRfD 的 0.01%。由于 cRfD 的 0.01% 接触值比 NOAEL（对最敏感动物没有影响的最高剂量）低 100 万倍，因此根据此数据得出合理结论：长期接触的美国食品中农药含量远低于引发健康问题的水平。

对急性（单日）农药接触的风险评估方法有所不同。由于农药残留水平和日常食物消耗模式都有很大的不同，因此编制一定的概率模型，以检查残留和食物消耗的分布。当农药残留较高的情况极少发生，且含农药的食物消耗量又很大的情况下，每日接触量可能会接近急性农药 RfD（aRfD）水平。EPA 在确定构成急性接触的“合理确定无害”因素时，计算了包括婴儿、儿童和育龄妇女在内的各种人群的单日估计值。如果 99.9% 的食品、饮用水和住宅的农药接触（所有各个分组人群在 1000 天内的最高每日接触）均低于 aRfD 水平，则该接触被认为是有“合理确定无害”，并且该农药及其所有相关用途被认为对消费者是安全的。

解读有关食品中农药的消费者建议

消费者的问题已受到有关食品供应中农药残留的非传统方法和非严格方法的影响。其中包括由华盛顿特区的环保倡导组织每年发布的“针对农药的购物者指南”，此指南包括了代表最有可能含有农药残留的12种商品的“脏十二种”食品清单。本指南的作者敦促消费者避免购买常规（非有机）模式的这些食品以避免因农药接触而对健康产生潜在的影响（环境工作组2018）。

“脏十二”和其他水果和蔬菜的排名是根据美国农业部收集的PDP数据得出的。特定的水果和蔬菜基于六个标准进行排名：（1）可检测到的残留物含量的样品百分比，（2）检测到两种或多种农药的样品的百分比，（3）在单个样品中发现农药的平均数量，（4）所有发现农药的平均含量，（5）在单个样本中发现的农药数量的最大值，以及（6）在商品中发现的农药总数（EWG 2018）。

仔细查看用于对农药“污染”进行排名的标准可以发现对于传统的饮食性农药风险评估，这些指标均无用处。该方法明显缺失的是风险评估的三个关键支柱：残留水平、食品消费估算以及单个农药的既定毒性指标。

Winter和Katz（2011）使用较为传统的方法分析了2010年“肮脏十二种”商品中10种最常检测到的农药的PDP数据并对120种商品/农药组合制定了长期饮食接触的估计值。Winter and Katz表示在所有情况下估计的接触量均远低于慢性RfD水平。在120种商品/农药组合中，仅有一种组合接触值高于慢性RfD 1%以上，而只有7种接触值大于慢性RfD的0.1%。四分之三的接触评估值低于慢性RfD的0.01%。作者得出的结论是：（1）消费者对“脏十二”商品上最常检测到的农药接触微不足道；（2）用有机形式代替“脏十二”商品不会显著降低风险；（3）用于制定“肮脏十二打”清单的方法缺乏科学严谨性或相应的可信度。

食用富含水果、蔬菜和全谷类食品的健康益处已得到充分确立，并且令人关注的是将注意力放在对因农药残留的接触而导致的可怕后果的不适当警告可能会导致消费者减少对水果和蔬菜的消费。最近有一项对低收入购物者的研究，研究中的购物者对有关有机和常规水果和蔬菜给了各种说法（Huang、Edirisinghe和Burton-Freeman 2016）。在对下面的说法进行回应时：“一个称为环保工作组的环保组织已经制定了一份清单，列出了他们认为平均农药含量最高的12种新鲜水果和蔬菜：苹果、甜椒、胡萝卜、芹菜、樱桃、葡萄、羽衣甘蓝、生菜、油桃、桃子、梨和草莓。他们建议最好购买有机种植的水果和蔬菜”。很大数量的低收入消费者表示与他们对其他说法的回答相比，他们购买水果和蔬菜的可能性较小。

对进口水果和蔬菜的消费也有类似的没有根据的担忧，而进口水果和蔬菜是冬季许多美国消费者的主要水果和蔬菜来源。尽管进口食品中农药残留违规率往往比国内食品更高，但很清楚的是违规残留很少标志着有健康后果。Katz and Winter (2009) 在FDA 2003年监管监测计划期间评估了从国内和进口产品中检测到的饮食中农药接触量。尽管进口产品的违规率要高得多，但接触评估表明消费进口产品对特定农药的接触比食用国内产品要低得多。就一种导致三十六项进口违规和一项国内违规的农药情况而言，从进口产品的消费量来看，这种特定农药的总体接触水平仍然低于进口产品消费的水平且远低于国内、国外引发安全问题的水平。

农药流行病学和生物监测

流行病学研究寻找疾病的模式和潜在原因。与实验室研究相反，由于观察到了人类受试者，因此因果关系的概念随着诸如风险因素、联系和关联之类的术语而被软化了。不管使用哪种语言，流行病学调查都在寻找群体之间健康和接触状况的线索。通过仔细观察，流行病学研究确定了许多疾病的危险因素。诸如肥胖、吸烟、高胆固醇、高血压和缺乏运动等因素已被确定会导致心脏病的增加（Fryar、Chen和 Li 2012）。人们还发现诸如先天缺陷这种相对罕见的疾病与一件事（酒精）过多和另一件事（叶酸）过少有关（Streissguth 1978; Viswanathan et al. 2017）。疾病探究者将非病例与中毒性休克综合症病例成功的比较，促使科学家更好地对此疾病做了定义并确定了其传播方式（Schuchat and Broome 1991）。

从历史上来看，流行病学作为一门科学的成功取决于两个关键信息：疾病和接触。为了获得研究信息，研究人员通常只会向研究参与者询问其医疗状况。问题回答的质量会随着疾病的严重程度而有所不同。与诸如疲劳、头痛或喘不上气的模糊症状相比，癌症的诊断令人更难以忘记（或在调查表中被错误描述）。更加强大的流行病学研究致力于确认基础数据的敏感性和特异性。例如，研究心脏病的最佳实践是获得医疗记录以确认诊断、发病日期和治疗。

同样，有关接触的信息的质量差异也很大。根据日常习惯（例如吸烟、喝咖啡或工作）所做的关于接触的自我报告即使对很久以前过去的习惯也往往很准确。但对于是否接触过特定的媒介例如病毒或化学物质，人们有时却很难确定。这一点对于农药尤其如此。农民和施药者可能知道他们使用了什么农药，那么他们内部的农药接触则由许多决定因素决定，例如施药种类、施药方式以及所穿防护服的类型（如果有穿）。

但对于那些不参与农业的人，特别

是那些远离农业生活的人，我们几乎没有甚至完全没有农药接触的信息。如前所述，农药接触可能是来自于水果和蔬菜上的微量残留。美国和加拿大的随机抽样计划从全国各地的男女老少那里收集了尿液和血液以鉴定各种化学物质的含量，包括金属、工业污染物和农药（Health Canada 2010; CDC 2015）。研究人员表明，某些农药和/或其代谢分解产物是可检测到的并且可能在人口中占很大比例。随着时间的推移，检测极限或通过实验室分析鉴定化学物质的限值越来越低。今天的科学家可检测的除草剂 2,4-D 含量比几十年前低了 100 倍（LaKind et al. 2017）。美国疾病控制与预防中心（CDC）明确指出，检测本身并不表示对健康的担忧（CDC 2015）。此外，这种“简况”并不能提供有关何时、如何或在何处发生接触的任何信息。因为大多数观察结果所对应的水平远低于毒理学研究中给予实验动物的剂量水平，因此这些发现通常只能提供确认而不是发出警报。

接触源

流行病学家如何知道一个人比另一个人接触更多？他们怎么知道它是否来自食物残留？

从尿液或血液中进行生物监测既是解决方案也是问题。一种或多种尿液（或血液）样品的优点是可以分析它们中特定农药和其他化学物质的痕迹。这些值告诉我们“什么”和“多少”。但问题是当今使用的大多数农药在田间施用后几天内以及摄入后数小时内就分解为其他成分。这就意味着，当在人体尿液中发现农药代谢物时，已无法判断该个体是接触于母体化合物还是代谢物（Sudakin and Stone 2011）。此外，生物监测信息仅与前一两天相关。除非接触来自经常食用的食品，否则调查人员无法确定上个月（或去年）的接触，而这可能是疾病发作的重要时期。

一些研究农药喷洒器和农民的研究可以推断接触的来源，特别是如果收集是在喷洒后很快发生（Arbuckle et al. 2002; Mandel et al. 2005; Thomas et

al. 2010)。在纽约市进行的一项研究假设参与者是由于室内农药处理而接触的（Whyatt et al. 2005）。其他没有其他信息的研究仅假设接触来源是食物（Fortenberry et al. 2014; Imai et al. 2014; Ji et al. 2011）。在将疾病根据生物监测数据和农药水平联系起来时，这些缺乏有关农药接触源的具体数据令人担忧。

例如，收入是评估可能影响农药接触的人群健康状况的常用因素。表1显示了按收入水平划分的特定人群在农药接触方面可能彼此不同。可以推测，由于新鲜农产品相对昂贵，特别是在城市地区，收入较低的参与者较少食用新鲜水果和蔬菜。如果是这种情况，则可以合理地假设低收入组的尿液中农药代谢物的水平可能会低于高收入组。相反，另一个理由是由于要在家中做害虫处理或在更偏远的农村环境中喷洒的农药会从附近田地漂移过来，低收入参与者可能更经常接触于农药中。对于高收入的参与者会有相反的推断，他们要么吃有机农产品（农药接触量低），要么大量食用传统种植的食物（农药接触量高）。

表2 同样显示人们可能会根据疾病改变自己的行为从而改变接触方式。想象一个有自闭症孩子的家庭。他们的食物选择甚至居所可能会因为疾病诊断而改变。这被称为反向因果关系，这种情况使流行病学研究难以解释。

问题在于推测是一门糟糕的科学并且与基于强有力的数据所驱动的证据而得出结论的科学方法相去甚远。例如，最近一项备受瞩目的法国研究得出的结论是，与那些不吃高有机食品的人相比，吃高有机食品的人患癌症的风险大大降低（Baudry et al. 2018）。报告有机食品食用率较高的女性也更有可能是饮食健康并经常运动。如果他们对有机饮食的报告分数是正确的，那么该研究的另一个局限是其作者并没有进行实际测试，哪怕是对一个小样品进行测试。

食物残留与健康

流行病学文献通常对农药有何看法？这里有两个例子。

例 1 拟除虫菊酯类杀虫剂和精子质量

拟除虫菊酯是一类在家庭环境和农业中广泛使用的杀虫剂。拟除虫菊酯在体内快速分解并且有几种分解物会代谢为尿中可检测到的常见代谢物 3-苯氧基苯甲酸（3-PBA）。由于拟除虫菊酯使用广泛，其接触可能会在来自于农作物的残留。有人提出拟除虫菊酯可能影响人类生殖系统，一些研究者对男性尿液中 3-PBA 的水平和精液质量做了评估（Imai et al. 2014; Ji et al. 2011; Meeker, Barr, and Hauser 2008; Perry et al. 2007; Radwan et al. 2014; Toshima et al. 2012; Xia et al. 2008）。每个评估都基于被称为横截面研究的相同设计。在一次访问中，研究人员从研究参与者那里收集了尿液和精液。因为没有一个是农药施药者，

所以研究人员推测接触是由于食物摄入引起的。分析了 3-PBA 的水平和精子质量。对于 3-PBA 较高的男性，如果其精子质量在统计学上显著较低，该关联被认为是反向关联。

这些研究得出的精子浓度和精子活力的结果汇总列于表 3。这些集体证据清楚地表明尽管有些研究报告显示农药接触与精子浓度成反比，但其他研究则显示没有影响。如果拟除虫菊酯接触与精子质量下降有正向的因果作用，我们希望在大多数研究中都能看到。此外，另一项不同的研究观察到其与精子活力呈反向相关，但未发现与精子浓度呈反向相关。在没有讨论每项研究的优缺点的情况下，所有研究的共同局限在于要同时收集接触（尿液中的 3-PBA）和结果（精子质量）而对暂时性无法做出评估。换句话说无法确定接触是否先于结果，反之亦然，而这是流行病学评估的标志（Hill 1965）。总而言之，该例子表明拟除虫菊酯的接触（使用尿中的

3-PBA 水平进行测量）和精子质量没有影响。这与实验动物的剂量水平是人类的许多倍（USEPA 2011）的实验室动物的实验结果相吻合。

表 1 根据收入推断农药接触。

	低农药值	高农药值
低收入	买不起水果和蔬菜	生活在有虫害、需要处理的房屋中 住在农田附近
高收入	洗水果和蔬菜 购买有机食物	消耗许多水果和蔬菜

表 2. 根据疾病推测的农药接触。

	低农药值	高农药值
没有疾病	不遵循任何特殊的饮食 不吃很多水果蔬菜	不担心吃 有机食物 吃传统生长的产品
有病	洗水果和蔬菜 购买有机食物 保持房间很整洁 搬到城市接近医生	消耗许多水果和蔬菜 搬到农村地区减少污染

表 3 尿液中 3-PBA 与所选精子特征的相关性。

作者，出版年份	国家	精子浓度	精子运动性
Imai, 2014	日本	没有影响	没有影响
Ji, 2011	中国	反向	没有影响
Radwan, 2014	波兰	没有影响	没有影响
Meeker, 2008	美国	没有影响	没有影响
Perry, 2007	中国	反向*	没有报告
Toshima, 2012	日本	没有影响	反向
Xia, 2008	中国	fan'x反向	没有影响

*这是一项有18名男性参与的初步试验，没有经过统计测试

表 4 子宫内毒死蜱水平与儿童的智商的估计相关性。

作者，出版年份	地区	IQ fen's分数	接触来源
Rauh, 2011	纽约（哥伦比亚）	降低	室内处理
Engel, 2011	纽约（西奈山）	没有影响	室内处理
Bouchard, 2011	加利福尼亚州	降低	农业
Donauer, 2016	俄亥俄	没有影响	食物残留
Cartier, 2016	法国	没有影响	食物残留
Jusko, 2019	荷兰	没有影响	食物残留

例 2 有机磷杀虫剂与神经发育

与拟除虫菊酯一样，有机磷酸盐是数十种杀虫剂的一大类。每种都在体内 24 小时内代谢，可以检测为普通的磷酸二烷基酯。一种讨论认为有机磷毒死蜱与成长中儿童的大脑发育有关。与拟除虫菊酯的例子不同，这个例子的证据很混杂。已发表的评论强调了研究之间的不一致和在确认子宫内接触方面的局限性，例如该接触仅基于单个样品和使用并非针对毒死蜱的接触评估（Burns et al. 2013; Li et al. 2012; Mink, Kimmel, and Li 2012; Needham 2005; Prueitt et al. 2011）。

毒死蜱是否会减少或损害大脑发育，特别是在接触于含有毒死蜱食物残留的儿童中？有六项流行病学研究对毒死蜱（或一组杀虫剂）和通过智商测试的智力进行了评估（Bouchard et al. 2011; Cartier et al. 2016; Donauer et al. 2016; Engel et al. 2011; Jusko et al. 2019; Rauh et al. 2011）。纵观所有研究的结果，它们的发现是混合的。六项研究中只有两项报告了智商随着接

触评估值的增加在统计学上显著下降（表 4）。所有研究中的接触都是根据孩子出生时收集的尿液或血液进行的。只有两项研究对正在成长的儿童的接触进行了评估并发现其与发育没有关联（Bouchard, et al. 2011; Cartier et al., 2016）。重要的是要知道这几个研究与购买食品中的微量残留无关。纽约研究参与者接触的来源于被假定来自于在美国和许多其他国家不再合法（Whyatt et al. 2005）的室内蟑螂和蚂蚁处理的杀虫剂，同时据称加州参与者来自农业工人的农业漂流和/或渗入（Berkowitz et al. 2003; Castorina et al. 2010）。与来自摄入食物的残留的一般接触有关的三项研究均发现农药接触与智力受损无关（Cartier et al. 2016; Donauer et al. 2016; Jusko et al. 2019）。

这对消费者意味着什么？

一些消费者仍然担心可检测到的农药接触可能会导致某些疾病。这可以

推断为农药接触来自于食品残留以及其他来源。已报道的疾病类型包括成年男性的生殖作用即精子数量减少和精子活动能力下降（Burns and Pastoor 2018; Koureas et al. 2012）以及婴幼儿的各种发育和行为结果（Burns et al. 2013; Muñoz-Quezada et al. 2013; Reiss et al. 2015）。这些研究的方法、测试和结论各不相同。即使是审稿人，其评估研究的方法也有所不同。有些人将结果归类为更笼统的类别并得出结论，认为其中某些证据表明对所有人都有影响（González-Alzaga et al. 2014）。其他审稿人则采用更加集中的方法来寻找特定农药和特定结果的证据（Burns et al. 2013）。

消费者希望对自己的购买做出明智的选择。科学家则致力于根据科学证据使大众受到教育。如果有关于农药和健康结果有争议新的发现报告，消费者应确定该研究是否就接触量和健康结果做了充分叙述。

- 如果接触是基于居住地，那么作者是否有提供支持他们假设的证据？
- 如果报告是基于尿液样本，作者是否收集了多个样本？
- 收集的信息是否用于减少关于研究参与者如何接触农药的猜测？
- 重要的是接触水平是否基于对农业实践的了解？

这在解读研究结果并根据研究发现做出个人、经济和生活方式的决定时对这些问题加以考虑是很关键的。

农药的好处

尽管当代对农药的关注主要涉及食品中的农药残留及其对消费者的潜在风险，但了解农药在农作物生产中的使用方式和原因以及它们提供的许多好处是很重要的。

农药如何适应可持续的害虫管理

植物为所有其他生物提供食物的基础。在许多情况下，植物与其消费者之间存在互惠互利的关系。但是即使在不受干扰的自然生态系统中任然有一些生物会以各种方式吃掉、破坏或感染植物，这些生物被视为“害虫”。植物通过各种方式保护自己免受“害虫”侵害，从长刺、产生驱虫物质再到产生对害虫有毒的化学物质（Osborn 1996）。

被人类家用的农作物还是会受到诸如昆虫、螨、线虫、真菌、细菌和病毒等害虫的破坏。农作物还必须与被视为生产系统中杂草的其他植物品种竞争水、养分和光照。尽管在自然环境中生长的植物受到一定程度的害虫损害，它们仍能成功生长，但由于对农民的财务风险、总体资源利用效率以及食品安全和质量的影响，农业可接受的害虫损害的门槛较低。简单地忍受害虫的损害不是一个可行的选择，但是当今的害虫管理所涉及的不仅仅是“农药”（Savage 2013）。

自 20 世纪 70 年代以来，农业的趋势一直是朝着更加可持续及综合的系统方法以应对害虫管理的挑战。这通常被称为综合病虫害管理（IPM），它结合了对农作物和害虫生物学的深入了解和实时数据的多种策略，以实施最经济、有效、破坏性最小的干预措施（Tedford and Brown 1999）。总体而言，其目标是“可持续虫害管理”。

这个可持续的综合方案涉及化学和生物作物保护产品、作物本身的遗传抗性、排除或限制有害生物的文化习俗以及鼓励使用有益生物对害虫形成生物抑制。农药产品通常是此综合系统的关键部分，常规生产和有机生产均是如此。即使这样，目标还是以安全、有效和经济可行的方式使用此类

产品。

通常农药对于维持或使另一种策略起作用并继续起作用很重要。例如，如果农作物对主要害虫具有遗传抗性特征，那么仅依赖农作物的这种遗传抗性将增加该害虫对此遗传抗性产生抵抗的可能性从而丧失其益处（Feng et al 2014）。

某些害虫可以通过“信息素混淆”策略来扑灭，在这种“信息素混淆”策略中使用了无毒的信息素化学物质，这样雄虫就不会发现具有明显气味的雌虫从而无法交配。这种方法会非常有效，但前提是总昆虫数量要较少。要使信息素策略获得成功，就需要对相关昆虫的“热点”进行化学处理（Dorn et al 1999）。

有一些生物控制产品可用于农作物，但通常将这些药剂与化学控制剂结合使用或交替使用时效果最好。

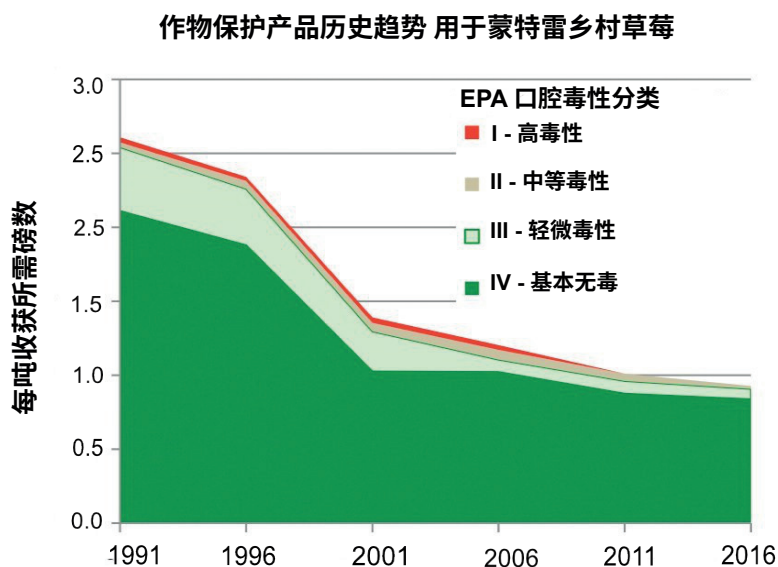
综上所述，现代可持续的害虫管理的目标不是简单地依靠化学控制来管理害虫。农药仍然发挥着重要作用。幸运的是随着时间的流逝，农药对人或环境的毒性本质上要比其前任低（Savage 2014）。

图2和图3显示了用做草莓和苹果的保护剂在数量和口服毒性上的历史趋势。

作物保护对农业社区的好处

受农作物害虫影响最直接的人群是农民和其生计与农业经济息息相关的农业社区的非务农人员。农业是一个具有固有风险的行业，因为它试图管理一个复杂的生物系统，该系统可能会受到天气变化和与植物害虫相关的风险的深远影响。农业通常需要在取得收成作物的任何收入之前投入大量的财务投资（即种子、肥料、燃料、劳动力、土地租金）。如果农作物的数量和/或质量因严重的虫害而受损，农民将无法偿还这些支出（图 4）。尽管农业经营必须时常在恶劣的季节中度过难关，如果无法合理控制病虫害，农业企业将无法生存，而这些失败也会损害其他区域企业的生存能力。

当新的入侵性害虫进入生长区域时，挑战会更加严重。对这种新害虫的控制可能会破坏先前完善的 IPM 系



基于CAIPIP农药使用情况报告数据, 以及USDA NASS通过国家农业专员报告得出的种植面积/产量信息(每隔5年统计的数据)

图 2. 加利福尼亚州蒙特雷县关键的生产区草莓农药使用实例及相对毒性。

华盛顿苹果使用农作物保护产品的历史趋势

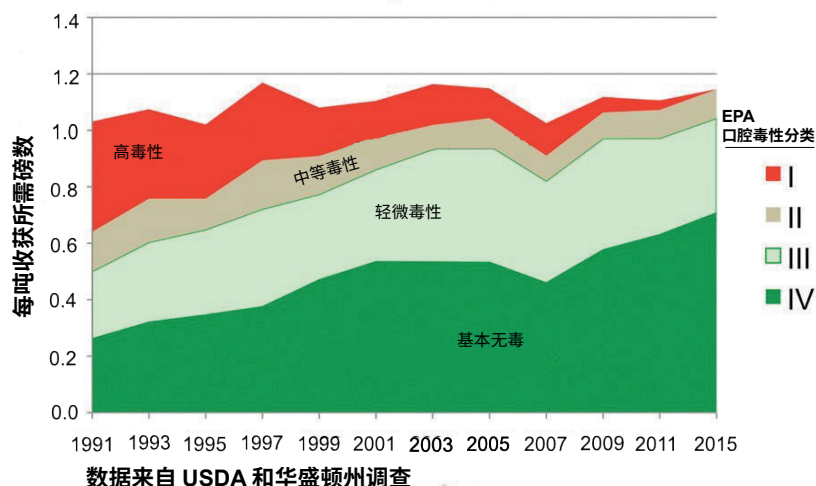


图 3. 华盛顿州关键的生产区域苹果农药 使用实例及相对毒性。

未控制昆虫带来的损失	作物
90–100%	啤酒花, 苹果, 橄榄
70–89%	枣子、梨、樱桃、橘子、西兰花
60–74%	蓝莓、芦笋、油桃、开心果、桃子、白菜、向日葵
50–59%	朝鲜蓟、覆盆子、甜椒、山核桃、花生、薄荷、草莓
40–49%	四季豆、生菜、小红莓、芹菜、鳄梨、榛子、杏仁、甜玉米
30–39%	黄瓜、葡萄、土豆
20–30%	棉花、茄子、甜菜、甘蔗、洋葱
10–20%	豌豆、菠菜、大米
0–10%	高粱、苜蓿、胡萝卜、大豆、玉米

图 4. 来自393个作物/州组合平均数据的估计的 经济损失范围值: 改编自作物生命基金会。

统。这种事件在整个农业历史上都已曾发生，最近也由于世界旅行和气候变化的增加而大幅增加。

例如 2013 年前后，一种新的果蝇出现在北美水果种植区，这种果蝇可以在成熟但没受损的水果上产卵。这

是果蝇在过去无法做的事情。这意味着被蝇蛆侵染的水果更有可能到达消费者手中。这种侵害严重威胁着各种水果和浆果生产商的经济生存能力 (Walsh et al. 2011)。

在这些情况下，对于种植者和支持

研究人员而言寻找新的控制新害虫的策略以防止地区的经济生存能力受到威胁成为当务之急。

农场主并不是农业社区中唯一受到虫害影响的人，同样他们也不是使用农药的唯一受益人。对于需要手工收获的农作物，虫害的破坏会大大降低以每小时可收集的磅数来表示的采摘效率。由于采摘工人通常是按磅数支付的，因此对采摘工人来说，采摘虫害受损的农作物的吸引力要小得多。农民可以在害虫损害的情况下按小时支付费用，但是当损害到达一定程度就有必要不收割作物，因为采摘劳动力的成本可能是果蔬作物种植者最大支出的一笔。图5是根据加州大学戴维斯分校最新的成本收益研究得出的。拿杏仁来说，机械收获占种植总成本的 9.6%。但是对于花椰菜、长叶莴苣和草莓等需人工收获的作物，收获所花费的百分比分别为 53.5%、53.9% 和 66.2%。

诸如除草剂之类的现代病虫害防治方法还可以通过消除或大大减少对有潜在伤害和困难工作（例如手除草或用短柄头除草）的需求而使工人受益 (Gianessi 2008)。



图 5. 加利福尼亚四种重要农作物的成本结构显示每年有多少投资因最大限度地减少害虫驱动的产量损失而受到保护。

环境方面的好处

可持续的虫害管理系统对于任何作物系统的总体可持续性都至关重要，因为如果由于虫害造成的可用产量大大降低，那么土地和水资源的利用效率就会大大降低。这些可持续性的关键绩效指标以单位产出来表示的（即养殖场的蒲式耳/英亩，使用水的吨/加仑）。在过去的几十年中，为了满足不断增长的需求，粮食和纤维生产已经增加，但是大部分的收益是通过增加产量而不是通过增加耕地来实现的。害虫防治一直是该成功故事的重要组成部分。在理想情况下，下半个世纪粮食需求的进一步增长将通过单产提高和土地利用变化最小化来实现，但这只有在虫害损害最小化的情况下才有可能实现（Tilman et al. 2011）。

由于水很可能是气候变化时代的一个主要挑战（Wallace 2000），因此允许害虫的过度损害而破坏现有供应品的有效使用是不负责任的。

同样限制虫害损害对于最大程度地减少农业的其他关键“足迹”（例如能源和温室气体排放）也至关重要。这些足迹再次以单位输出表示。因此害虫对产率的影响有效地增加了这些以每蒲式耳、吨、英担或其他单产的

度量来表示的足迹。

近年来人们越来越认识到“土壤健康”对持续的农业生产力以及健康土壤所提供的各种生态系统服务（即水的捕获和保留、碳固存、营养缓冲、地表水质量保护）的作用。关键的害虫管理工具（例如减少耕种和覆盖作物）常常被广泛认为最有利于使土壤健康的耕作方式得到最有效地实现。除草剂可使农民控制杂草同时将耕作中固有的机械干扰对土壤的降解作用降至最低（USDA 2017）。虽然这些“非耕”土壤往往凉爽和湿润，但处理种子的杀真菌剂和杀虫剂使农民仍然能够成功地在这些土壤中种植农作物（Hopkins 2017）。

覆盖作物是在作物每年的主要生长季节之间种植的单一或混合物种，覆盖作物可减少土壤侵蚀、提高土壤质量和营养价值并帮助改善空气和水质。它们有时会被放牧但不会被收获用于商业销售。这种做法有资格获得政府的养护金，从可持续性的角度来看，这种做法是非常可取的。但是至关重要的是，这些农作物必须在下一个生长季节之前被“终止”以免它们成为杂草和/或导致使农作物种子发芽的凉爽和/或潮湿的环境。除草剂是实现及时有效终止覆盖作物的有效方

法，因为耕作不利于土壤健康，而“冬季杀害”仅对部分地区的部分覆盖作物有效（Legleiter et al. 2012）。

广泛的社会利益

粮食安全和多样化、可负担化、健康的食品供应是现代发达国家在当今时代享有的主要社会利益。在整个人类历史上拥有如此丰富的食品供应并不是理所当然的。发达国家中仍有边缘化的人口，而发展中国家中也有很多人没有粮食安全。只有将害虫的危害降到最低才有可能将粮食安全扩展到全人类（Oerke and Dehne 2004）。

农民在多种不同环境中种植多种农作物的能力增强了食品多样化所带来的生活乐趣和健康状况。如果没有办法应对因作物类型和地理位置而异的虫害挑战，那么上面讲的情况是不可能的。

当昆虫破坏某些农作物时，产生的被称为霉菌毒素的危险化学物质的真菌可能会对农作物做进一步危害。使用文化方法、遗传抗性以及化学和生物农药的综合系统可以减轻害虫对食品和饲料安全的严重威胁。很少有高收入国家的消费者知道他们受到霉菌毒素接触的保护，特别是食用坚果、花生和谷物等农作物时。在无法完全利用害虫管理“工具箱”的中低收入国家，霉菌毒素是导致疾病和死亡的重要原因（Appell, Kendra, and Trucksess 2010）。有机农户可以使用一些使霉菌毒素最小化的工具，例如对缺乏制造霉菌毒素能力的相同真菌物种进行生物防治。如果将这些菌株的大量孢子引入田间或果园，它们可以与危险菌株竞争从而使这些昆虫无法在伤害部位定居。诸如可表达土壤细菌苏云金芽孢杆菌的高特异性蛋白毒素基因的玉米等生物科技农作物可防止破坏昆虫从而大大降低了黄曲霉毒素或伏马毒素污染的可能性。

食品系统的好处

近年来，公众对食品浪费问题的认识日益提高。害虫管理是减少几种类型食品浪费的重要组成部分。当害虫损害田间作物时，这会导致一定程度

的食物浪费，致使农产品无法收割或不受欢迎以至于在收获期间被避免收获（Creamer and Johnson 2017）。粮食作物田间食品浪费的另一个例子是当昆虫或真菌的破坏使秸秆变弱从而使植物“倒伏”或倒下时，其谷物被收割设备错过（Nielsen and Colville 2014）。在精心挑选的“田间包装”农作物（如草莓或葡萄）中，腐烂的水果简单地被留在植物上或由采摘者掉到地上。

许多水果和蔬菜农作物从田间被装进大箱中然后送到“包装厂”进行清洗、分类、包装和冷藏等各种步骤。通常在产品的尺寸、形状和颜色方面都有详细的要求以满足行业标准或其他客户的要求。即使昆虫和/或疾病造成的损害相对较小，也可能使该产品处于“扑杀状态”（Baugher, Hogmire Jr., and Lightner 1990）。根据问题的严重性，这些产品可能会进入副产品流（例如，榨汁、修剪、动物饲料），但更严重的是有害虫损害的产品无法使用而造成浪费。

对于象苹果和土豆需要长期储存的农作物，在田间需要很高的虫害控制标准以维持其储存寿命。这在单个项目级别以及防止主要的实例浪费都是如此，即整个容器因真菌感染从一个项目传播到另一个项目而被破坏，因此旧的说法是：“一个坏苹果会破坏整个一群”（农业、食品和农村事务部，2016年）。

受害虫保护的产品不仅可以全年获取新鲜产品，还减少了满足诸如冷冻薯条等加工市场所需的资本投资。使用存储土豆的土豆加工厂可以用较小的设备全年处理农作物。

田间水果的“潜在”但看不到的感染会导致随后的腐烂从而在从运输、仓储、零售展示到消费者住所的分配链的任何阶段造成浪费。在某些情况下可以通过使用化学和/或生物杀真菌剂进行“收获后”杀真菌剂处理来避免这种浪费，该化学和/或生物杀真菌剂的毒性足够低，因此可以在接近食用时使用（Adaskaveg and Forster 2009）。

在国际香蕉业中有一个引人注目

的例子表明害虫控制如何减少食品浪费并增加消费者的食品供应。有一种叫做黑色叶斑病的香蕉病只感染叶子而不感染水果。但是如果叶子感染过多，那么从受感染树上收获的香蕉将无法度过通过节能方式将水果海运的必要时间。从被感染的树木收获的香蕉将是腐烂的糊状而不是一箱新鲜可食用的香蕉。由于在生长过程中采用了有效的杀菌剂程序，香蕉才可以作为消费最广泛的水果之一来被享用（Castelan et al. 2013）。

许多消费者喜欢购买可新鲜的和当地的食品，那有些农作物就有质量优势。根据地区和作物的不同，某些地区可能会遇到更具挑战性的害虫问题。降雨多的地区往往有更多的真菌害虫问题。温暖的气候往往会带来更多的昆虫挑战。由于这些挑战，农药为某些当地的农业产业的成功提供了巨大的好处。

总结

尽管让消费者担心其食品中存在农药残留是合理的，但尚无直接的科学或医学证据表明美国食品供应中的农药残留对消费者构成健康威胁。该结论是基于风险评估研究的发现而得，这些研究发现确定了估计的消费者农药接触水平与需要担心的毒理学水平之间的巨大差异。流行病学研究表明农药残留有潜在的不利影响，但是这些研究的结果在测量疾病和农药接触的能力上受到限制并且其发现也不一致。

在允许将农药施用于国内生产或从国外进口的农作物之前，必须进行EPA注册以供使用并且所有农药的使用必须符合基于预期的消费者接触量以及这种接触与毒理学上显著水平关系的“无害合理确定性”标准。“合理确定无害”标准即考虑了总体（即食物、水、住宅）和累积（即将毒理学上相似的农药相结合）接触，也考虑了婴儿、儿童和孕妇等人群的潜在敏感性。

如果预计农药在农业上的使用可能导致粮食作物上存在残留物，则EPA会

确定一个许可值，该许可值代表特定作物上允许的特定农药的最大含量。虽然许可值水平使许多消费者感到困惑，但此值并不是基于安全性而是代表了在遵循所有法律要求进行农药施用的情况下预期的最大残留量。所检测到的农药残留水平超过了许可值表明产品被滥用但很少表明存在消费者健康隐患。与健康有关的农药残留水平通常远高于许可值，在美国食品供应链中通常不会被检测到。

农药监测研究常规表明食品中的大多数残留物（如果根本没有检测到的话）都远远低于许可值，而且很少有样品显示残留水平超过许可值。大多数违规农药残留发生于在这些食品中检测到的农药残留虽然被批准用于其他粮食作物但其农药残留的耐受度（许可值）尚未确定。与超过许可值的残留一样，这种违规行为很少对健康造成影响。

由于杀虫剂的许可值不是安全标准，因此主要关注于执行残留许可值的杀虫剂监测计划的参考结果在评估消费者因接触于食品中的农药残留物而产生的风险时几乎没有什么用。其他研究例如FDA的“总饮食研究”提供了食品在食用前即刻存在的农药残留水平的证据并且通过考虑残留水平和食品消耗率来估算消费者对需计算的食品中农药残留的接触。使用这种方法的研究通常表明这种接触水平通常比实验室动物一生中的每一天都接触于农药并且没有影响的农药水平低百万倍以上。这些水平意在保护公共卫生而不是根据食品安全监管机构使用的几个不确定性因素等级来预测人类疾病。

消费者常被建议寻找有机食品和/或避免购买特定的有污染问题的常规水果和蔬菜。研究表明这种建议缺乏科学依据并且可能导致某些消费者减少食用水果和蔬菜，这种做法与不良的健康影响密切相关。

近期的一些流行病学研究结果表明农药接触与疾病之间存在关联，例如男性精子异常和儿童神经发育。但重要的是要意识到这样的关联代表相关性并且这种影响也可能是由其他因素

引起的或者很可能是由于偶然因素造成的。例如一项研究表明与不经常消费有机产品的人相比，经常消费有机产品的人患特定疾病的风险更低。但是经常食用有机食品的人收入更高、受教育程度更高、运动更频繁；这些因素和其他因素也许是导致该人群疾病发病率降低的原因而不是因为农药残留降低的缘故。

在流行病学研究中研究饮食和健康的作用极为困难，更不用说研究与食物相关的微量农药的作用了。想一想试着记住上周吃了什么以及吃了多少！不幸的是饮食中流行病学数据以及由此产生的农药残留接触数据的质量通常很差。饮食中农药残留的接触量通常是基于生物监测研究来估算的，该研究着眼于尿液中农药代谢物的存在，但这些无法确定什么时候、怎样或在什么地方发生的农药接触。其他研究集中在农业工人上并推断职业性农药接触与疾病之间的联系，为证明消费者接触于食物残留可能会有类似的联系提供了证据。

如果农药残留接触与疾病之间出现很强的相关性，则各种相关流行病学的结果很可能会得出相似的发现，但没有证据表明确实如此。例如在对有机磷酸盐农药接触与儿童智力之间关系的研究中，对一般食物残留农药接触的研究没有发现一致的联系。唯一的正向联系来自有关室内农药使用接触的研究。考虑到这些流行病学研究以及对所检查的有机磷酸酯农药进行经典毒理学风险评估得出的相互矛盾的证据，总的权重证据表明食品残留接触于有机磷酸酯与儿童神经发育缺陷之间的联系远未建立。

最后，明白农药为农业部门和消费者带来的好处是很重要的。从公共卫生的角度来看，农药为帮助控制会产生严重危害健康的真菌毒素的真菌提供了一种工具。

农民必须能继续维持可持续的制度包括明智使用农药的虫害管理制度也是很关键的。如果种植者不阻止害虫可能造成的破坏，我们的粮食供应将更加昂贵、种类较少、潜在危险以及质量下降。食品浪费是一个复杂的问

题，病虫害管理对其管理至关重要。

也许最重要的是如果没有有效的虫害控制，我们社会中仍在从事粮食种植这种高风险业务的那一小部分人群将无法继续。农场工人和农村企业也将受到伤害，受到害虫挑战地区的“当地种植者”也将受到伤害。

作物保护化学品和生物制剂是限制害虫损害的重要组成部分。EPA和其他机构对这些产品进行了严格的审查以确保人类和环境安全。监管监督涵盖了有机农业和常规农业中使用的工具。只要法规继续以科学为基础，农民将继续拥有所需的工具为我们所有人提供赖以生存的粮食和作物。

引用的文献

- Adaskaveg, J. E. and H. Forster. 2009. 美国食用园艺作物收获后杀菌剂注册的新发展和使用策略。107-117 页。In D. Prusky and M. L. Gullino (eds.). *Postharvest Pathology*. Springer International Publishing, New York, New York, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8930-5_8 (21 February 2018)
- Appell, M., D. Kendra, 和 M. Trucksess. 2010. 农业中真菌毒素的防治。Oxford University Press, Oxford, England, UK, 336 pp., <https://global.oup.com/academic/product/mycotoxin-prevention-and-control-in-agriculture-9780841269903?cc=us&lang=en&> (21 February 2018)
- Arbuckle, T. E., R. Burnett, D. Cole, K. Teschke, M. Dosemeci, C. Bancej, and J. Zhang. 2002. 农场施药者中除草剂接触的预测指标。 *Int Arch Occ Env Hea* 75 (6): 406-414, doi:10.1007/s00420-002-0323-7.
- Baudry, J., K. E. Assmann, M. Touvier, B. Allès, L. Seconda, P. Latino-Martel, K. Ezzedine, P. Galan, S. Hercberg, D. Lairon, 和 E. Kesse-Guyot. 2018. 有机食品食用频率与癌症风险的关系：来自 nutritet-santé 前瞻性队列研究的结果。 *JAMA Intern Med* 178 (12): 1597-1606, doi: 10.1001/jamainternmed.2018.4357.
- Baugh, T. A., H. W. Hogmire Jr., and G. W. Lightner. 1990. 决定苹果包装损失及其对获利的影响。 *Appl Agr Res* 5 (4): 343-349, <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9107167> (21 February 2018)
- Berkowitz, G. S., J. Obel, E. Deych, R. Lapinski, J. Godbold, Z. Liu, P. J. Landrigan, and M. S. Wolff. 2003. 多种族的城市队列中的孕妇在怀孕期间接触室内杀虫剂。 *Environ Health Persp* 111 (1): 79-84.
- Bolda, M. P., L. Tourte, J. Murdock, 和 D. A. Sumner. 2016. 生产和收获草莓的样本成本。加州大学农业与自然资源学院、合作推广与农业问题中心和加州大学戴维斯分校农业与资源经济学系, https://coststudy-files.ucdavis.edu/uploads/cs_public/e7/6d/e76decb8-f0f5-4b60-bcb8-76b88d57e272/strawberrycentralcoast-2016-final2-5-1-2017.pdf (2018 年 2 月 20 日)
- Bouchard, M. F., J. Chevrier, K. G. Harley, K. Kogut, M. Vedar, N. Calderon, C. Trujillo, C. Johnson, A. Bradman, D. B. Barr, 和 B. Eskenazi. 2011. 产前接触于有机磷农药与 7 岁儿童的智商。 *Environ Health Persp* 119 (8): 1189-1195, doi:10.1289/ehp.1003185.
- Burns, C. J. and T. P. Pastoor. 2018. 拟除虫菊酯的流行病学：以质量为基础的审核。 *Crit Rev Toxicol* 48 (4): 297-311, doi:10.1080/10408444.2017.1423463.
- Burns, C. J., L. J. McIntosh, P. J. Mink, A. M. Jurek, and A. A. Li. 2013. 农药接触和神经发育结果：流行病学和动物研究综述。 *J Toxicol Env Heal B* 16 (3-4): 127-283, doi:10.1080/10937404.2013.783383.
- Cartier, C., C. Warembourg, G. Le Maner-Idrissi, A. Lacroix, F. Rouget, C. Monfort, G. Limon, G. Durand, D. Saint-Amour, S. Cordier, and C. Chevrier. 2016. 产前和儿童尿液样本中的有机磷杀虫剂代谢物和 6 岁以下儿童的智力得分：来自母婴 PELAGIE 队列的结果（法国）。 *Environ Health Persp* 124 (5): 674-680, doi:10.1289/ehp.1409472.
- Castelan, F. P., C. Abadie, O. Hubert, Y. Chilin-Charles, L. de Lapeyre de Bellaire, and M. Chillet. 2013. 香蕉叶斑病的严重程度与以果树性状和果绿色为特征的香蕉质量之间的关系。 *Crop Prot* 50:61-65, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219413000665> (2018 年 2 月 21 日)
- Castorina, R., A. Bradman, L. Fenster, D. B. Barr, R. Bravo, M. G. Vedar, M. E. Harnly, T. E. McKone, E. A. Eisen, and B. Eskenazi. 2010. CHAMACOS 队列和 NHANES 孕妇中当前使用的农药和其他有毒尿液代谢产物水平的比较。 *Environ Health Persp* 118 (6): 856-863, doi:10.1289/ehp.0901568.
- 疾病控制与预防中心 (CDC). 2015. 关于人类接触于环境化学品的第四次报告，更新表。美国卫生与公共服务部，佐治亚州亚特兰大。
- Creamer, N., and L. K. Johnson. 2017. 介绍食物浪费讨论中农场一级的损失。The Blog, *HuffPost*, https://www.huffingtonpost.com/nancy-creamer/introducing-farm-level-lo_b_13941104.html (2018 年 2 月 21 日)
- CropLife Foundation. 2009. 有关杀虫剂在美国作物生产中的价值执行摘要<https://croplife-foundation.org/wp-content/uploads/2016/11/insecticide-benefits-execsum.pdf>. (2019 年 6 月 12 日。)
- 作物生命基金会。2016. 杀虫剂。数据附录。附录 A-1：作物和州对杀虫剂的使用、成本和影响的估算, https://croplifefoundation.org/wp-content/uploads/2016/11/insecticides_data_appendix.pdf (2018 年 2 月 21 日)
- Donauer, S., M. Altaye, Y. Xu, H. Sucharew, P. Succop, A. M. Calafat, J. C. Khoury, B. Lanphear, and K. Yolton. 2016. 一项旨在评估低水平妊娠期接触于有机磷农药与儿童早期认知之间关系的观察性研究。 *Am J Epidemiol* 184 (5): 410-418, doi:10.1093/aje/kwv447.
- Dorn, S., P. Schumacher, C. Abivardi, and R. Meyhöfer. 1999. 果园中全球性和区域性的害虫及其拮抗剂：空间动力学。 *Agr Ecosyst Environ* 73 (2): 111-118, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880999000201> (2018 年 2 月 20 日)
- Engel, S. M., J. Wetmur, J. Chen, C. Zhu, D. B. Barr, R. L. Canfield, and M. S. Wolff. 2011. 产前接触于有机磷酸盐、对氧磷 1 与儿童时期的认知发育。 *Environ Health Persp* 119 (8): 1182-1188, doi:10.1289/ehp.1003183.
- 环境工作组 (EWG)。 (2018). 环境工作组 (EWG) 的《2018 年购物者农产品中的农药指南》。华盛顿特区环境工作组, <https://www.ewg.org/foodnews/> (2018 年 12 月 10 日)
- Feng, C., J. C. Correll, K. E. Kammeijer, and S. T. Koike. 2014. 鉴定菠菜霜霉病原体藜孢拟菠菜的新种族和不同菌株。 *Plant Dis* 98 (1): 145-152, <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-04-13-0435-RE> (2018 年 2 月 20 日)
- 田间到市场。2016. 国家指标报告, <https://fieldtomarket.org/national-indicators-report-2016/> (2018 年 2 月 20 日)
- Fortenberry, G. Z., J. D. Meeker, B. N. Sánchez, D. B. Barr, P. Panuwet, D. Bellinger, L. Schnaas, M. Solano-González, A. S. Ettinger, M. Hernandez-Avila, H. Hu, and M. M. Tellez-Rojo. 2014. 墨西哥城孕妇尿中 3,5,6-三氯-2-吡啶醇 (TCPY)：分布、时间变化以及儿童注意力和多动症的关系。 *Int J Hyg Envir Heal* 217 (2-3): 405-412, doi:10.1016/j.ijheh.2013.07.018.
- Fryar, C. D., T. Chen, and X. Li. 2012. 心血管疾病危险因素失控的患病率：美国，1999-2010 年。NCHS 数据简报，第 103 号。国家卫生统计中心，疾病控制与预防中心，美国卫生与公众服务部，海茨维尔，马里兰。
- Gianessi, L. P. 2008. 除草剂在美国作物保护中的价值。作物保护研究所，作物种植基金会，华盛顿特区, http://www.cwss.org/uploaded/media_pdf/4512-24_2008.pdf (2018 年 2 月 20 日)
- González-Alzaga, B., M. Lacasaña, C. Aguilar-Garduño, M. Rodríguez-Barranco, F. Ballester, M. Rebagliato, and A. F. Hernández. 2014. 产前和产后有机磷农药接触对神经发育影响的系统评价。 *Toxicol Lett* 230 (2): 104-121, doi:10.1016/j.toxlet.2013.11.019.
- Hammond, B. G., K. W. Campbell, C. D. Pilcher, T. A. DeGooyer, A. E. Robinson, B. L. McMillen, S. M. Spangler, S. G. Riordan, L. G. Rice, and J. L. Richard. 2004. 美国在 2000-2002 年间种植的 Bt 玉米籽粒中低水平的伏马毒素的霉菌毒素。 *J Agric Food Chem* 52(5): 1390-1397.
- 加拿大卫生部。2010. 加拿大环境化学人类生物监测报告。加拿大卫生措施调查, <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/report-human-biomonitoring-environmental-chemicals-canada-health-canada-2010.html> (2019 年 3 月 13 日。)
- Hell, K., C. Mutegi, and P. Fandohan. 2010. 撒哈拉以南非洲玉米中的黄曲霉毒素控制和预防策略。第 534-541 页。在第十届国际存储产品保护工作会议论文, 6 月 27 日至 7 月 2 日, 葡萄牙埃斯托里尔。
- Hill, A. B. 1965. 环境和疾病：关联还是因果关系？ *Proc R Soc Med* 58:295-300
- Hopkins, M. 2017. 种子处理问答：爱荷华州立大学的 Alison Robertson 的见解。CropLife, <http://www.croplife.com/crop-inputs/seed-biotech/seed-treatment-qa-insight-from-iowa-states-alison-robertson/> (2018 年 2 月 20 日)
- Huang, Y., I. Edirisinghe, and B. M. Burton-Freeman. 2016. 低收入购物者以及水果和蔬菜：他们怎么看？ *Nutr Today* 51 (5): 242-250.
- Imai, K., J. Yoshinaga, M. Yoshikane, H. Shiraishi, M. N. Mieno, M. Yoshiike, S. Nozawa, and T. Iwamoto. 2014. 拟除虫菊酯类杀虫剂的接触和日本年轻人的精液质量。 *Reprod Toxicol* 43:38-44, doi:10.1016/j.reprotox.2013.10.010.
- Ji, G., Y. Xia, A. Gu, X. Shi, Y. Long, L. Song, S. Wang, and X. Wang. 2011. 非职业环境接触于拟除虫菊酯对中国男性精液质量和精子 DNA 完整性的影响。 *Reprod Toxicol* 31 (2): 171-176, doi:10.1016/j.reprotox.2010.10.005.
- Jusko, T. A., M. A. van den Dries, A. Pronk, P. A. Shaw, M. Guxens, S. Spaan, V. W. Jaddoe, H. Tiemeier, and M. P. Longnecker. 2019. 妊娠时尿液中的有机磷农药代谢物浓度与 6 岁孩子非语言的智商。 *Environ Health Perspect* 127 (1): 17007.
- Katz, J. M. and C. K. Winter. 2009. 国内和进口水果和蔬菜消费中农药接触的比较。 *Food Chem Toxicol* 47:335-338.
- Koureas, M., A. Tsakalof, A. Tsatsakis, and C. Hadjichristodoulou. 2012. 用来确定有机磷和拟除虫菊酯类杀虫剂的接触与人类健康结果之间关系的生物监测研究的系统评价。 *Toxicol Lett* 210 (2): 155-168, doi:10.1016/j.toxlet.2011.10.007.
- LaKind, J. S., C. J. Burns, D. Q. Naiman, C.

- O' Mahony, G. Vilone, A. J. Burns, and J. S. Naiman. 2017. 用于估计人类接触于2,4-二氯苯氧基乙酸 (2,4-D) 的数据的关键和系统评估-质量和通用性。 *J Toxicol Env Heal B* 17 (8): 423-446, doi:10.1080/10937404.2017.1396704.
- Legleiter, T., B. Johnson, T. Jordan, and K. Gibson. 2012. 终止覆盖作物-使用除草剂成功终止覆盖作物。出版物 WS-50-W, 普渡大学杂草科学, 普渡大学延伸, 普渡大学, 印第安纳州拉斐特。6 pp., <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ws/ws-50-w.pdf> (2018年2月21日)
- Li, A. A., K. A. Lowe, L. J. McIntosh, and P. J. Mink. 2012. 用于风险评估的流行病学和动物数据的评估: 毒死蜱发育神经行为结果。 *J Toxicol Env Heal B* 15 (2): 109-184, doi:10.1080/10937404.2012.645142.
- Mandel, J. S., B. H. Alexander, B. A. Baker, J. Acquavella, P. Chapman, and R. Honeycutt. 2005. 在农场家庭接触研究中为农场家庭所作的生物监测。 *Scand J Work Env Heal* 31:98-104.
- Meeker, J. D., D. B. Barr, and R. Hauser. 2008. 拟除虫菊酯类杀虫剂尿代谢物与精液质量和精子DNA损伤的关系。 *Hum Reprod* 23 (8): 1932-1940, doi:10.1093/humrep/den242.
- 农业、粮食和农村事务部。2016. Orchard network. Ontario, <http://www.omafr.gov.on.ca/english/crops/hort/news/orchnews/2016/on-0816a5.htm> (2018年2月21日)
- Mink, P. J., C. A. Kimmel, and A. A. Li. 2012. 毒死蜱对胎儿生长结果的潜在影响: 对风险评估的意义。 *J Toxicol Env Heal B* 15 (4): 281-316, doi:10.1080/10937404.2012.672150.
- Muñoz-Quezada, M. T., B. A. Lucero, D. B. Barr, K. Steenland, K. Levy, P. B. Ryan, V. Iglesias, S. Alvarado, C. Concha, E. Rojas, and C. Vega. 2013. 与儿童接触于有机磷农药有关的神经发育影响: 系统回顾。 *Neurotoxicology* 39:158-168, doi:10.1016/j.neuro.2013.09.003.
- Needham, L. L. 2005. 在出生结果的流行病学研究中通过生物监测评估有机磷农药的接触。 *Environ Health Persp* 113 (4): 494-498, doi:10.1289/ehp.7490.
- Nielsen, B. and D. Colville. 2014. 玉米秸秆宿主: 预防性管理指南。AY262. *Agron Guide*. 印第安纳州西拉法叶普渡大学合作扩展服务, <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/AY/AY-262.html> (2018年2月21日)
- Oerke, E.-C. and H.-W. Dehne. 2004. 保障生产-主要作物的损失和作物保护的作用。 *Crop Prot* 23 (4): 275-285, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219403002540> (2018年2月21日)
- Osborn, A. E. 1996. 预先形成的抗菌化合物和植物抵抗真菌侵袭的能力。 *Plant Cell* 8 (10): 1821-1831, doi:10.1105/tpc.8.10.1821, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC161317/> (2018年2月20日)
- Perera, F. P., S. M. Illman, P. L. Kinney, R. M. Whyatt, E. A. Kelvin, P. Shepard, D. Evans, M. Fullilove, J. Ford, R. L. Miller, I. H. Meyer, and V. A. Rauh. 2002. 预防幼儿与环境有关的疾病的挑战: 纽约市基于社区的研究。 *Environ Health Persp* 110 (2): 197-204.
- Perry, M. J., S. A. Venners, D. B. Barr, and X. Xu. 2007. 拟除虫菊酯和有机磷杀虫剂的环境接触和精子浓度。 *Reprod Toxicol* 23 (1): 113-118, doi:10.1016/j.reprotox.2006.08.005.
- Prueitt, R. L., J. E. Goodman, L. A. Bailey, and L. R. Rhomberg. 2011. 有关毒死蜱对神经发育影响的基于假设的证据权重评估。 *Crit Rev Toxicol* 41 (10): 822-903, doi:10.3109/1040844.2011.616877.
- Radwan, M., J. Jurewicz, B. Wielgomas, W. Sobala, M. Piskunowicz, P. Radwan, and W. Hanke. 2014. 环境接触于拟除虫菊酯后精液质量和生殖激素水平。 *J Occup Environ Med* 56 (11): 1113-1119, doi:10.1097/JOM.0000000000000297.
- Rauh, V., S. Arunajadai, M. Horton, F. Perera, L. Hoepner, D. B. Barr, and R. Whyatt. 2011. 7年神经发育评分与产前接触于一种常见的农业杀虫剂-毒死蜱。 *Environ Health Persp* 119 (8): 1196-1201, doi:10.1289/ehp.1003160.
- Reiss, R., E. T. Chang, R. J. Richardson, and M. Goodman. 2015. 非职业人群有机磷杀虫剂低接触的流行病学研究综述。 *Crit Rev Toxicol* 45 (7): 531-641, doi:10.3109/1040844.2015.1043976.
- Savage, S. 2013. 农民控制害虫除农药外的五种方式。 *Applied Mythology* blog, <http://appliedmythology.blogspot.com/2013/12/five-ways-farmers-control-pests-other.html> (2018年2月20日)
- Savage, S. 2014. 农药变化量的一个例子。 *Applied Mythology* blog, <http://applied-mythology.blogspot.com/2014/01/an-example-of-how-much-pesticides-have.html> (2018年2月20日)
- Schuchat, A. and C. V. Broome. 1991. 中毒性休克综合征和卫生棉条。 *Epidemiol Rev* 13:99-112.
- Streissguth, A. P. 1978. 胎儿酒精综合症: 流行病学的观点。 *Am J Epidemiol* 107 (6): 467-478.
- Sudakin, D. L. and D. L. Stone. 2011. 年磷酸二烷基酯作为有机磷酸酯的生物标志物: 当前流行病学和临床毒理学之间的鸿沟。 *Clin Toxicol (Phila)* 49(9):771-781.
- Tedford, E. and R. A. Brown. 2000. 将新的杀菌剂技术整合入IPM。In G. G. Kennedy and T. B. Sutton (eds.). *病虫害综合治理的新兴技术: 概念、研究与实施*. 美国植物病理学学会, 圣保罗, 明尼苏达州。526页
- Thomas, K. W., M. Dosemeci, J. A. Hoppin, L. S. Sheldon, C. W. Croghan, S. M. Gordon, M. L. Jones, S. J. Reynolds, J. H. Raymer, G. G. Akland, C. F. Lynch, C. E. Knott, D. P. Sandler, A. E. Blair, and M. C. Alavanja. 2010. 农业健康研究中2,4-D和毒死蜱农药施用者的尿液生物标志物、皮肤和空气测量结果。 *J Expo Sci Env Epid* 20 (2): 119-134, doi:10.1038/jes.2009.6.
- Tilman, D., C. Balzer, J. Hill, and B. L. Befort. 2011. 全球粮食需求与农业的可持续集约化。 *美利坚合众国国家科学院院刊* 108 (50): 20260-20264, doi:10.1073/pnas.1116437108, <http://www.pnas.org/content/108/50/20260.short> (2018年2月20日)
- Toshima, H., Y. Suzuki, K. Imai, J. Yoshinaga, H. Shiraishi, Y. Mizumoto, S. Hatakeyama, C. Onohara, and S. Tokuoka. 2012. 日本不育夫妇男性伴侣尿液中的内分泌干扰化学物质: 接触与精液质量的初步研究。 *Int J Hyg Envir Heal* 215 (5): 502-506, doi:10.1016/j.ijheh.2011.09.005.
- 加州大学戴维斯分校。2019. 当前的成本和收益研究。 <https://coststudies.ucdavis.edu/en/current/> (2019年6月12日)。
- 美国环境保护署 (USEPA)。2011. Permethrin. <https://iaspub.epa.gov/apex/pesticides/f?p=CHEMICALSEARCH:31:::NO:1,3,31,7,12,2>
- 5:P3_XCHEMICAL_ID:3260. (2019年6月14日通过)
- 美国农业部 (USDA)。2017. 节省金钱、时间和土壤: 免耕农业的经济学, <https://www.usda.gov/media/blog/2017/11/30/saving-money-time-and-soil-economics-no-till-farming> (2018年2月20日)
- 美国食品和药物管理局 (USFDA)。2018. 农药残留监测计划2016财年农药报告。美国食品药品监督管理局 <https://www.fda.gov/downloads/Food/FoodborneIllnessContaminants/Pesticides/UCM618373.pdf> (2018年12月10日)
- Viswanathan, M., K. A. Treiman, J. Kish-Doto, J. C. Middleton, E. L. Coker-Schwimmer, and W. K. Nicholson. 2017. 叶酸补充剂预防神经管缺陷: 美国预防服务工作组最新证据报告和系统审查。 *JAMA* 317 (2): 190-203, doi:10.1001/jama.2016.19193.
- Wallace, J. S. 2000年. 提高农业用水效率以满足未来的粮食生产。 *Agr Ecosyst Environ* 82 (1-3):105-119, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880900002206> (2018年2月20日)
- Walsh, D. B., M. P. Bolda, R. E. Goodhue, A. J. Dreves, J. Lee, D. J. Bruck, V. M. Walton, S. D. O' Neal, and F. G. Zalom. 2011. 日本斑翅果蝇: 成熟软果的侵害性害虫扩大了其地理范围和破坏潜力。 *J IPM* 2 (1): G1-G7, <https://doi.org/10.1603/IPM10010> (2018年2月20日)
- Whyatt, R. M., D. Camann, F. P. Perera, V. A. Rauh, D. Tang, P. L. Kinney, R. Garfinkel, H. Andrews, L. Hoepner, and D. B. Barr. 2005. 评估怀孕期间住宅杀虫剂接触及其对胎儿生长的影响方面的生物标志物。 *Toxicol Appl Pharm* 206 (2): 246-254, doi:10.1016/j.taap.2004.11.027.
- Winter, C. K. 1992a. 农药耐受性及其与安全标准的相关性。 *Regul Toxicol Pharm* 15:137-150.
- Winter, C. K. 1992b. 饮食中农药风险评估。 *Rev Environ Contam T* 127:23-67.
- Winter, C. K. 2005. 水果和蔬菜中的农药残留。135-155页 In W. Jongen (ed.). *改善新鲜水果和蔬菜的安全性*. Woodhead Publishing and CRC Press 出版社, 英国伦敦
- Winter, C. K. 2015. 美国长期接触于农药残留的饮食。 *Int J Food Contam*, doi:10.1186/s40550-1500018y.
- Winter, C. K. and F. J. Francis. 1997. 化学食品风险的评估、管理与传达。 *Food Technol* 51 (5): 85-92.
- Winter, C. K. and E. A. Jara. 2015. 农药食品安全标准与允许量和最大残留限量相辅相成。 *J Integr Agr* 14 (11): 2358-2364.
- Winter, C. K. and J. M. Katz. 2011. 从据称含有最高污染水平的商品中接触的食物农药残留。 *J Toxicol*, doi:10.1155/2011/589674.
- Xia, Y., Y. Han, B. Wu, S. Wang, A. Gu, N. Lu, J. Bo, L. Song, N. Jin, and X. Wang. 2008. 拟除虫菊酯类农药的尿代谢产物与人类精液质量的关系。 *Fertil Steril* 89 (6): 1743-1750, doi:10.1016/j.fertnstert.2007.05.049.

CAST成员社团、公司和非盈利组织

农业和应用经济协会 ■ 美国禽病理学家协会 ■ 美国牛医师协会 ■ 美国律师协会，环境、能源和资源分会 ■ 美国乳制品科学协会 ■ 美国农场局联合会 ■ 美国肉类科学协会 ■ 美国气象学会农业和森林气象委员会 ■ 美国种子贸易协会 ■ 美国营养科学理事会 ■ 美国农业和生物工程师协会 ■ 美国农业学会 ■ 美国动物科学学会 ■ 美国植物生物学家协会 ■ 美国兽医协会 ■ 水生植物管理学会 ■ 巴斯夫公司 ■ 拜耳作物科学 ■ 加州理工大学 ■ 科尔特瓦 农业科学 ■ 美国作物科学学会 ■ 美国植保协会 ■ 美国昆虫学会 ■ 美国乳制品创新中心 ■ 全国牧民牛肉协会 ■ 全国玉米种植者协会/爱荷华州玉米促进委员会 ■ 国家牛奶生产商联邦 ■ 国家猪肉委员会 ■ 北卡罗莱纳州生物技术中心 ■ 中北部杂草科学学会 ■ 东北部杂草科学学会 ■ 家禽科学协会 ■ 农村社会学会 ■ 体外生物学学会 ■ 美国土壤科学学会 ■ 先正达作物保护 ■ 肥料研究所 ■ 塔斯基吉大学 ■ 泰森食品 ■ 美国大豆委员会 ■ 内华达州大学-里诺 ■ 美国禽类和蛋类协会 ■ 美国杂草科学协会 ■ 西方杂草科学学会

农业科学技术理事会(CAST)的使命: CAST通过其专家网络，向决策者、媒体、私营部门和公众汇集、解释和传播可信、平衡、科学的信息。CAST的愿景是在这个世界里，有关农业和自然资源的决策是基于通过理性、科学和共识的建立而发展起来的、可信的信息。CAST是一个非营利组织，由科学学会以及许多个人、学生、公司、非营利组织和准社团成员组成。CAST的董事会由科学学会、商业公司、非营利组织或贸易组织的代表以及董事会组成。CAST 成立于 1972 年，来自 1970 年美国国家科学院、国家研究理事会的会议结果。ISSN 1070-0021

此发布文章的额外副本可从 CAST 获得, <http://www.cast-science.org>.

引文： 农业科学技术理事会（CAST）。2019. 解读食品中的农药残留。发布文章 66 CAST, 爱荷华州埃姆斯。



The Science Source for Food,
Agricultural, and Environmental Issues

4420 West Lincoln Way
Ames, Iowa 50014-3447, USA
(515) 292-2125
电子邮箱: cast@cast-science.org
网址: www.cast-science.org