山东寿光设施蔬菜土壤修复对策与 实例

我国设施蔬菜发展迅猛，其产值已超过蔬菜总产值的60%；但是，随着设施蔬菜种植年限的延长， 来自农业面源的土壤污染日趋严重。本文通过实地调研，以实例为主线，介绍山东寿光一系列土壤 修复措施及实施效果。

杨淏然1马兆红2司智霞2[[1]](#footnote-2) [[2]](#footnote-3)

（**1** 中国农业大学人文与发展学院，北京**100083；2**中国农业科学院蔬菜花卉研究所，北京**100081）**

随着近年来种植业结构的调整，我国设施蔬 菜产业迅猛发展。据中国蔬菜协会会长薛亮的报告 显示，截至**2015**年，我国设施蔬菜面积已经达到 **388.84**万**hm2（5 832.6**万亩），产值超过蔬菜总产 值的**60%**。与此同时，由于设施蔬菜经济附加值高， 农户舍得投入，长期过量施用化肥与不合理施用有 机肥，导致土壤养分大量淋洗与累积，农业面源污 染加剧，进而导致土壤板结、酸化、次生盐渍化以 及土传病害加重；此外，不合理施用禽畜粪便，也 会造成土壤重金属和抗生素的污染。这些均严重威 胁了我国蔬菜产品的质量安全和蔬菜产业的生态可 持续发展。

山东寿光是我国最大的设施蔬菜生产基地， 据了解现有蔬菜大棚**40**万亩。据山东省寿光市农 业局农业技术推广站高级农艺师张锡玉介绍，寿光 作为大棚蔬菜的发源地，农户长期种植大棚蔬菜， 加之寿光蔬菜产供销早已形成固定的“一村一品” 格局，蔬菜连作障碍普遍存在。蔬菜生产中农户长 期过量施用稻壳鸡粪、习惯施用未经（充分）腐熟 的有机肥、盲目施用微量元素肥料、施用不合格的 化肥。这些问题导致寿光土壤出现绿苔、泛碱化与 板结等现象明显，蔬菜生产过程中饱受线虫和土传 病害的为害。针对此，寿光政府、合作社、农户等 不断推陈出新，从源头改土着手，采取了一系列的 土壤修复措施，如提倡施用生物菌肥，采用秸秆还 田、水肥一体化技术，实行蔬菜生产新方式——基 质栽培等方法，以缓解日趋严重的设施蔬菜土壤障 碍问题，实现寿光地区蔬菜产业可持续发展。因此， 通过调研寿光土壤修复效果，总结分析山东寿光地 区设施蔬菜土壤修复措施与实例，对寿光地区蔬菜 产业的发展具有重要意义；同时对于解决全国其他 地区的设施土壤污染问题或有一定参考意义。

**1**施用生物菌肥，源头改土

生物菌肥是指以特定功能微生物与动植物残体 （如畜禽粪便、秸秆等）为主要来源并经无害化处 理、腐熟的有机物料复合而成的一种兼具微生物肥 料和有机肥效应的活体肥料。生物菌肥可通过大量 有益菌的活动，增加土壤微生物的活性，从而促进 土壤微生物数量的增加，改善土壤肥力。施用生物 菌肥同时还能提高化肥利用率，抑制农作物对硝态 **—1—** 氮、重金属、农药的吸收，净化和修复土壤，降低 农作物病害发生，促进农作物秸秆的腐熟利用，从 而达到保护环境以及提高农作物产品品质和食品安 全的目的。因此，寿光地区将施用生物菌肥作为土 壤修复的首要措施。

**1.1实施“沃土工程”，菜农受益良多**

**2011**年起，寿光开始实施《沃土计划示范工 程》（简称“沃土工程”），利用生物菌肥修复大棚 土壤，激发土壤微生物活性，提高土壤肥力水平， 促进农民增产增收。寿光市政府连续**3**年每年出资 **300**万元，通过新技术（测土配方）和新产品（微 生物肥、水溶肥）等方式引导农民科学施肥，逐渐 改良耕地质量。**2014**年，寿光市政府更是决定将“沃 土工程”全面推广，计划利用**7**年时间，市财政每 年出资**800**万元、推广**3 333.3 hm2（5**万亩）以上， 最终到**2020**年覆盖寿光**5.3**万**hm2（80**万亩）蔬菜 大棚〔净种植面积约**2.7**万**hm2（40**万亩）〕。由于 微生物肥每吨市场售价高达**2500**元左右，让农户 望而却步。于是寿光政府通过公开招标，从**56**家 企业中确定出 **5** 家质优价廉的肥料，招标后每吨肥 料降至**1000**元左右，在此基础上政府每吨肥料再 补贴**300**元。即农户实际每吨只需支付**700** - **1 100** 元，这大大降低了农户使用生物菌肥的成本，提升 了农户对生物菌肥的使用热情。目前通过政府推动 和支持，越来越多的农户受益于“沃土工程”，仅 中标的**5** 家企业在寿光地区的生物菌肥年销售量就 达**2.5**万**t,**约**1 666.7 hm2（ 25 000**亩）的设施土壤 得到了改良。

由寿光市土肥站提供的资料表明，通过“沃土 工程”的实施，寿光设施土壤问题得到一定缓解： 土壤有机质含量显著提高，土壤物理性状得到较好 改观，蔬菜产量增加**10%**以上，每**667 m2** 施肥量 减少 **40%**以上、施药减少 **25%**以上、节水**50%**以 上。到 **2020** 年，寿光力争将设施蔬菜土壤有机质 含量提高到 **1.8%** 以上。

**1.2施用生物菌肥，增产又增收**

寿光地区有不少农户在土壤出现板结等问题后 选择施用稻壳鸡粪。例如，寿光市孙家集街道东侯 村的茄子种植户付法洲，生产中以施用稻壳鸡粪为 主，但是由于所施用的稻壳鸡粪未经过充分腐熟、 且耕作层过浅，导致棚内**3~4**行茄子根系被灼伤， **— 2 —**

植株弱小。在技术人员的建议下，农户选择施用生 物菌肥改良土壤，出现问题的茄子植株恢复了正常 生长。

寿光市洛城街道办的岔河村，主要以种植黄 瓜、丝瓜为主（图**1）**。该村农户李华中的日光温 室已连续**4**年种植黄瓜，为追求产量，农户在占地 **1 600 m2（2.4**亩）的温室内大量用水、用肥，仅作 为基肥的鸡粪就施了 **1**万**kg,**导致土壤严重板结， 甚至连嫁接黄瓜也出现了“弹簧根”（主根弯曲、 无法下扎）。同时由于土壤通透性差、湿度大，部 分土壤表层出现绿苔。而该村另一农户宋学民的温 室，虽已连续种植 **6** 年黄瓜，但是由于施用了 **1** 年 的生物菌肥改良土壤，土壤质地摸起来明显比种植 **4** 年的温室土壤松软。



图**1**棚室调查

不同于一家一户的生产方式，寿光市古城街 道的寿光美微蔬菜合作社采用“合作社+农户” 模式生产蔬菜。这种模式的好处在于在统一的管 理模式下，更易引导农户客观认知生物菌肥、科 学合理施用。同时，由于合作社生产的蔬菜种类 较多，也有利于避免蔬菜生产中的连作问题。据 该合作社经理张建国介绍，目前合作社的棚室已 施用了 **6**年生物菌肥，尝试用过 **4**家不同品牌的产 品。他回忆最初接手该片土地时，土壤团块大、 板结严重，施用 **6**年生物菌肥后，投入减少了，土 壤团粒结构变得松散、最初的大土块不见了，土 壤有机质含量也增加了。 **6**年间，黄瓜的产量更是 以平均每年**10% - 20%**的速度增长。可费用一年 算下来，每**667 m2**仅需**5 000-6 000**元，包括基 肥、生物菌肥（政策补贴范围内的生物菌肥）。黄 瓜产后销往北京的中高端超市，售价可达**10-12** 元・**kg-1**，春节期间甚至达到**20**元・**kg-1**。

据了解，生物菌肥在寿光已有**15**年的使用历 史，经历了从最初推广时因价格过高等原因不被农 户认可，到逐步被认可，再到**2014**年寿光推行“沃 土工程”后被农户广泛接受的过程。据不完全统计， 目前在寿光已有**2/3**的农户在蔬菜生产中选择施用 生物菌肥。但值得注意的是，由于生物菌肥自身问 题，以及农户对生物菌肥的认知不一、施用方式不 正确等因素的存在，推广中仍有大量有待完善的方 面。比如，生物菌肥生产厂家良莠不齐，各厂家生 产的生物菌肥中活性菌的含量相差较大，导致市 场上产品质量参差不齐，给农户的使用造成一定困 扰。有的农户认为生物菌肥较贵，同样花费**6000** 元，买鸡粪可以施上厚厚一层，而生物菌肥能买到 的量较少，农户认为不划算；并且施用生物菌肥后 在短时间内效果不明显，施用初期的蔬菜产量也远 不及施用鸡粪的高。再者，购买后，农户将生物菌 肥随意放置或暴晒，使生物菌肥的活性大打折扣。 另外，在施用过程中，不少农户习惯于将生物菌肥 的用法和化肥划等号，觉得施用量越多越有效果。 因此，虽然山东寿光地区施用生物菌肥已初见成 效，但由于生物菌肥的功效相比化肥、鸡粪来得慢， 农户往往不容易持续使用。因此，除施用生物菌肥 以外，寿光地区还推出秸秆还田新方法、生产过程 水肥一体化等措施，各项措施结合使用，以促进土 壤修复。

**2**秸秆还田，老法新用效果好

秸秆还田，传统做法。秸秆是农业生产中重要 的肥料来源和潜在的碳库能源；还田实际上是秸秆 被微生物分解，释放出二氧化碳的过程。这个过程 既能提高土壤有机碳含量和土壤酶活性，还能够促 使集约化高氮输入的农田生态系统维持正常的碳氮 比例，减少氮素淋洗损失，改善土壤结构板结和连 作障碍等现象。但是，由于秸秆还田操作上比较麻 烦，且占用土地，不像化肥来得简单、见效快，在 很长一段时间被农户弃用。近几年来，山东寿光通 过改良农机具，配合生物菌剂、高温闷棚，使这项 技术得以继续“发扬光大”。

在寿光市纪台镇曹官庄村，由于村里种茄子 的农户较多，往年到了换茬季，农户总会为秸秆无 处安置发愁。**2013**年，该村村支书李延平自制了 一台大型秸秆粉碎机（图**2），**又结合邻村的食用 菌种植行家张学春研制出的多种菌种的复合生物菌 剂，推出了一套秸秆还田办法。具体操作：当茄子 采摘后，先不急于拔掉茄子植株，而是选择阳光充 足的时间进行高温闷棚**1** ~ **2**天，以杀灭茄子秸秆 上大量的害虫，避免虫害扩散到大棚周围。然后用 机器将秸秆粉碎至**3~5 cm**长后均匀撒到棚里，加 稻壳鸡粪进行土壤深翻，深翻后每**667 m2**再加复 合生物菌剂**60 kg**左右（约**500**元），旋耕土壤、灌 水，随后不覆地膜即进行闷棚，以加速秸秆和稻壳 鸡粪的腐熟。夏季外界气温达到**39**七时，棚内温 度可达**80**七，棚内**20 cm**处的土壤温度能达到**60** 七，足以杀灭土壤内的病原菌和虫卵，对灰霉病、 叶霉病、红蜘蛛等主要病虫害有明显的抑制作用。

**20**天左右棚室可进行通风降温，再过**10**天后秸秆 便腐熟完成了。李延平介绍，利用这套秸秆还田办 法，粪肥、农药的使用量可减少一半，原先板结的 茄子土壤变肥沃了，地里还出现了蚯蚓，每 **667 m2** 棚室可减少肥料投入**2 000**元，增收**2**万元左右。



图**2**秸秆粉碎机

以往秸秆还田费工、费事，加之适合操作的农 机设备缺乏，农户很少实施。纪台镇曹官庄村村支 书李延平发明的蔬菜大棚秸秆还田机械及相关配套 技术，解决了大棚秸秆处理难题，使废弃秸秆能安 全有效地进入土壤中，既节省了肥料投入，又恢复 了土壤肥力。除此之外，在寿光秸秆还田工作早已 得到政府支持。目前通过政策扶持，寿光已建成**8** 个大棚垃圾处理项目，探索推广了秸秆固化、秸秆 有机肥、秸秆沼气等蔬菜秸秆综合利用技术，建立 “农户垃圾分类、企业收集运输、多种模式并存、 资源循环利用”的体系，每年可处理蔬菜秸秆**50** 万**to**预计到**2016**年底，寿光农业固废物无害化处 理率将达到**60%**以上。

**3**水肥一体化,节水节肥保土新技术

寿光地区对蔬菜生产过程进行控制，改变传 统大水大肥过量施用的方式，采用水肥一体化新技 术，从而达到节水节肥的效果。

水肥一体化技术是将灌溉与施肥融为一体的精 准灌溉施肥技术，主要原理是借助压力灌溉系统， 按照土壤养分含量和作物种类的需水需肥特点，将 水溶性固体或液体肥料配兑而成的肥液与灌溉水混 合均匀，然后通过可控管道系统为作物根区均匀、 定时、定量地供水、供肥。目前主要有微喷施肥、 滴灌施肥、涌泉施肥和渗灌施肥等方式，以滴灌施 肥应用最多。

我国水资源严重短缺， 与此同时我国又是 世界上的灌溉大国，农业用水量占总用水量的 **73.14%**。不仅如此，我国的化肥过量施用现象也相 当普遍。在大水大肥的栽培管理方式下，不仅造成 了我国水肥资源的严重浪费，也易造成土壤板结、 破坏土壤结构，使蔬菜发病率大幅提高。近**3** 年， 寿光先后投资**1.77**亿元，在全市范围内全面推广 农业节水灌溉技术，利用大田微喷、大棚滴灌等技 术，提高灌溉效率，比原有的土渠大水漫灌节水 **40%**以上。目前寿光高效节水灌溉农田面积占全市 总农田面积的**30%，**年节约农业灌溉用水**2000**万 **m3** 以上。不仅如此，寿光仍没有停止对节水灌溉 技术的尝试。水肥一体化技术是目前寿光鼓励推广 的项目之一。据张锡玉介绍，水肥一体化技术可节 省用水**30%**以上，减少化肥使用量**30%**以上，节 省人工**50%**以上。

在寿光菜博会的探访中了解到， **1**台可供应面 积达**7 500 m2**的水肥一体化设备（图**3）**运作后， 全场仅需配备**1**名设备操作员、**3~5**名工人，可 大幅节省人工。不过该套设备市场价格在**20**万元 左右，目前主要在示范园区和大型基地推广。而 适合普通农户使用的小型水肥一体化设备，目前 在寿光推广的主要有微喷和滴灌两种。其中微喷 设备投资较少，一般每 **667 m2** 投入 **1 000** 元左右， 可连续使用**6~8**年，安装操作简单，对水肥要求 不高。滴灌设备相较于微喷投资稍高，一般每**667 m2** 投入**2 000**元左右，对水肥要求较高，节肥效果 更好。据张锡玉介绍，目前水肥一体化在寿光的稻 田镇、孙集镇、文家镇等地应用较多，应用面积达 **2 666.7 hm2 （4**万亩）左右，占冬暖型日光温室面 积的**1/11；**全市推广面积达到**6 666.7 hm（2 10**万亩） 以上。



图**3**水肥一体化设备

在农村普及水肥一体化设备，除了需在技术 条件成熟的基础上进一步降低农户的使用成本外， 寿光市文家街道农业技术推广站站长魏家鹏提出， 完善该类设备在本土化过程中的衔接问题也至关重 要。比如应将农村用电的现实情况考虑进来：实际 生产中，在农村每年至少有 **2** 次大规模停电维修， 一般从早上**5：00**持续到晚上**22：00，**倘若应用 水肥一体化设备特别是配合椰糠栽培的农户，当 遇到晴天蒸发量大时，在断电、没有配套应急电 源的情况下，很容易造成植株缺水死亡，给农户 生产造成巨大损失。所以解决好设备的本土化问 题，确保农民放心使用，才更有助于水肥一体化的 推广。

**4** 工厂化生产，“椰糠栽培”为蔬菜换 个“家”

此外， 寿光地区还积极探索蔬菜生产新方 式——基质栽培，以实现蔬菜产业的可持续发展。

椰糠栽培是基质栽培的一种，最早用于花卉 种植，较早时作为蔬菜育苗基质，在我国南方地区 使用较为普遍。由于我国设施蔬菜生产问题日益突 出，蔬菜周年多茬次生产，同一种蔬菜连作频繁， 导致设施土壤出现连作障碍，盐渍化、酸化、土壤 板结、根结线虫及土传病害问题严重。同时因受 固定设施的限制，设施蔬菜难以实行轮作换茬等处 理，在此情况下，中国农业大学资源与环境学院陈 清教授指出，在缓解我国设施蔬菜种植与土壤矛盾 上，椰糠栽培不失为一条出路。

椰糠栽培是一种新型的环保蔬菜栽培技术，能 够实现蔬菜的清洁化生产。其中椰糠由椰子外壳的 纤维粉末构成，外观与泥炭极其相似，质地较轻， 组成颗粒大小基本为**0.2~20.0 mm（75%~90%）**。 同一般土壤相比，椰糠基质的通透性和惰性更好， 可以较大程度地避免土壤中的污染成分，具有可自 然降解、重复利用、不污染环境等优点，对水分的 保持度是普通土壤的 **3** 倍，对肥料、水溶肥的利用 率可达**90%,**而普通土壤仅在**60%**左右。此外， 椰糠的回弹性能较好，可经受打包压力。

现阶段，由于椰糠栽培的成本高于土壤栽培 **2~3**倍，令普通农户难以承受，目前在寿光仅初 步应用于示范园区和大型基地（图**4）**。山东寿光 蔬菜产业集团副总经理王福友农艺师通过多年研 发，成功研制出一套低成本的椰糠水肥一体化栽培 技术。通过选择椰糠砖等**5**种替代性基质，改良简 化营养液的配方和使用方法，开发简易化的水肥一 体化设备，将椰糠基质成本由**20**元・**m-1** （栽培槽） 降到**4**元・**m-1**（栽培槽），配套水肥一体化设备成 本仅为**1 500**元，可供应**10 000 m2**的面积使用，产 量是土壤栽培的 **2**倍，有望在蔬菜生产上进一步加 大推广应用。



图**4**椰糠基质栽培

**5** 土壤修复，任重道远

山东寿光为修复设施蔬菜土壤付出了巨大的努 力，通过政府实施“沃土工程”，推广使用生物有 机肥；合作社和农户自主研发秸秆还田老法新用， 水肥一体化新技术，以及椰糠基质栽培进行清洁生 产等措施，现阶段取得一定的成效。但设施蔬菜土 壤障碍是个长期积累的过程，土壤往往是污染容 易、治理难，政府和生产者在土壤修复措施方面还 需不断推陈出新，且持之以恒地实施。对此，陈清 教授为正在进行土壤修复的实践者指出了一些实用 性对策：在缓解农药污染方面，可选择施用秸秆以 刺激微生物的周转，达到有效分解农药的作用。培 肥方面，力求做到“总量控制、土肥水综合调控”， 要将有机肥的施用量计入到总施肥量中，同时控制 好设施蔬菜中氮、磷的投入。设施菜地特别要施用 高碳有机肥、粪肥加秸秆或商品化的堆肥，以调节 土壤碳氮化，改良土壤环境。追肥方面，应实现营 养与功能相结合，在选择满足蔬菜生育期养分需求 的营养型肥料的基础上，选择促根抗逆型功能肥， 如腐植酸肥料、氨基酸肥料等，与普通的氮磷钾肥 交替施用，以达到养根、促根与营养供给相结合的 目的。此外，还要根据作物的栽培障碍因素针对性 地调整施肥策略，如每年 **5** 月可不必施用腐植酸肥 料，越临近冬季越应施用生物肥料。重金属残留方 面，可通过控制粪肥用量和调理土壤酸度进行缓 解。特别应注意一个误区：在设施蔬菜栽培下，土 壤并非养分不足，而是有机碳不足。这一点可通过 秸秆还田的办法解决，利用微生物来“收拾”微生 物。在尾菜处理方面，可通过快速高温闷棚、堆肥， 将尾菜变为肥料，实现蔬菜产业的循环可持续发 展。陈清教授强调，在土壤的可持续栽培问题上， 同时也要考虑基质，努力实现设施蔬菜的清洁化、 工厂化与标准化的生产，在土壤矛盾突出的地方， 可考虑选择日光温室条件下的无土栽培。

另一方面，在现实条件下，我国土壤修复明 显晚于发达国家，技术基础也相对薄弱，资金缺 口巨大，面临很多问题。随着“十三五”规划的 建议，**2016**年我国还将出台《土壤污染防治行动 计划》并全面实施，相信未来我国在土壤环境保护 上将有更加明确的指导方针和保障体系。同时建议 国家在明确和完善顶层设计的同时，建立土壤污染 追溯的动态管理系统，使土壤污染的变化情况与治 理方案的调整及时、有效衔接；充分公开土壤污染 信息以形成社会监督力；努力建立严格的土壤污染 责任追究制度，并设立相应的基金保障。总之，土 壤是我们赖以生存的根基，我们每个人都有责任 保护这片土壤，相信以社会合力终将抑制住土壤 污染。

1. 杨淏然，女，专业方向：媒体传播，E-mail：[yhr0708yhr@163.com](mailto:yhr0708yhr@163.com) [↑](#footnote-ref-2)
2. 通讯作者：司智霞，女，专业方向：农业信息化，E-mail：zgsc@ caas.cn

   收稿日期：2016-05-19

   致谢：感谢山东省寿光市农业局农业技术推广站张锡玉老师、中国农业 大学资源与环境学院陈清教授、耕晨农业科技公司葛树梦经理对本次 调研的帮助！ [↑](#footnote-ref-3)