

曾 锦, 祈雁楠, 徐 陶, 等. 我国规模化果园有机废弃物资源化利用研究现状[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(4): 1-8.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.04.001

# 我国规模化果园有机废弃物资源化利用研究现状

曾 锦, 祈雁楠, 徐 陶, 雷晓晖, 袁全春, 姚凤腾, 吕晓兰

(江苏省农业科学院农业设施与装备研究所/农业农村部园艺作物农业装备重点实验室, 江苏南京 210014)

**摘要:** 水果产业是现代农业的重要组成部分, 是我国乡村振兴的重要支柱产业。在水果的生长过程中, 果园内会产生大量具有“双重性”的有机废弃物, 传统的果园有机废弃物处理方式已经不适应现代果园的绿色发展。从综合生态利用角度, 以修剪枝条的资源化处理为主线, 综述了现阶段我国果园有机废弃物资源化利用的发展情况和存在问题, 指出规模化果园有机废弃物资源化生态利用方式主要有直接粉碎还田技术、生物覆盖技术、好氧堆肥技术、食用菌栽培技术和生物炭制备技术等。今后需要加强最佳利用途径的确定、“眼前账”和“长远账”的计算、专用处理设备的研发、成套技术解决方案的建立、政策引导力度的加大等方面工作, 以利于规模化果园有机废弃物资源化生态利用的产业化, 真正实现果园有机废弃物资源的生态循环利用, 全面提高果园的价值和功能。

**关键词:** 果园; 有机废弃物; 资源化利用; 绿色发展; 生态利用

**中图分类号:** X712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)04-0001-07

水果产业是现代农业的重要组成部分, 是我国乡村振兴的重要支柱产业。据统计, 2020 年我国果园种植面积约 1 264.60 万  $\text{hm}^2$ , 水果产量达 28 692.4 万 t, 是世界上最大的水果生产国和消费国<sup>[1]</sup>。其中, 我国橘、苹果和梨产量位居水果产量前 3 位。林果树木每年都需修剪枝条和更新果树, 因此在果园的日常管理过程中, 尤其是规模化果园会产生大量具有“双重性”的有机废弃物(生物质资源/环境污染源)。而我国传统的果园有机废弃物处理方式主要包括运出、堆放、填埋和焚烧等<sup>[2-3]</sup>, 既耗工费时、处理成本高<sup>[4]</sup>, 又利用率低下, 同时还可能污染果园周边的环境、产生安全隐患等<sup>[5]</sup>。为作好果园病虫害防治控制工作, 我国在冬季清园时, 一般将所有的落叶、落果和大量修剪的树枝全部清理出果园, 待来年大量的果子产出, 造成果园土壤的有机质含量不断降低, 土壤就会越来越贫瘠, 养分严重失衡, 各种问题滋生, 形成恶性循环。在生态文明建设的大背景下, 随着时代的发展(化肥农药减施<sup>[6]</sup>)、农业科技的进步、“双碳”战略的实

施<sup>[7]</sup>, 国家也大力提倡发展生态循环农业<sup>[8]</sup>, 可以看出果园绿色发展是大势所趋, 而传统的果园有机废弃物处理方式已经不适应现代果园的绿色发展。因此, 笔者结合果园生产管理关键环节, 从综合生态利用角度, 总结现阶段我国果园有机废弃物资源化利用的发展情况和存在问题, 以期为更好地落实果园有机废弃物资源化生态利用提供参考。

## 1 果园有机废弃物的来源及特点

果园有机废弃物主要包括修剪的枝条、杂草、落叶和坏果(落果、次等果、疏果)等<sup>[9]</sup>, 其中枝条占比最大且最难处理。但果树枝条中含有木质素、纤维素、糖类、蛋白质和脂肪等丰富的有机质<sup>[10]</sup>, 以及植物生长所需的各种无机养分<sup>[4]</sup>, 如果仅将果树修剪的枝条作为废弃物简单处理, 不从有机废弃物资源化利用的角度考虑, 将会是对资源的一种极大浪费。因枝条的自身特点, 为了果树枝条最大限度地实现资源化利用, 第一环节往往需要解决的就是枝条粉碎问题, 它是果树枝条后处理综合利用的关键。而研发出的枝条粉碎技术及其装备使得果树枝条能源化处理、果园节本增效、资源有效利用成为现实。

目前我国规模化果园在除草环节已基本实现机械化, 再配合旋耕机将清除的杂草旋耕进入土壤, 可以补充土壤的有机养分。而国外果园也采用高压蒸汽除草除虫技术、火焰除草技术等进行除

收稿日期: 2022-05-07

基金项目: 国家梨产业技术体系建设专项(编号: CARS-28-20)。

作者简介: 曾 锦(1993—), 男, 江苏南京人, 硕士, 研究实习员, 主要从事农业生物环境与能源工程研究。E-mail: j-zeng@jaas.ac.cn。

通信简介: 姚凤腾, 硕士, 副研究员, 主要从事果园管理技术与装备研究。E-mail: 394866267@qq.com。

草,相比于传统的人工除草方式,产生的废弃物杂草基本上被直接消除或间接利用。规模化果园中的落叶如果不及时清理,可能会孳生病菌、产生虫害,相关研究表明落叶中含有丰富的营养元素<sup>[11]</sup>,合理利用果树废弃落叶来还园,一方面可以改良土壤、增强土壤肥力,另一方面还可以消灭在树叶中越冬的病菌和害虫。果园中不可避免地会出现坏果,而坏果本身含有丰富的有机质,如果采用传统的深埋处理或堆积沤肥方式,既浪费资源,又影响环境<sup>[12]</sup>。

## 2 果园有机废弃物资源化生态利用技术与装备

因果园管理模式不同,且存在的有机废弃物种类差异性较大,本文将从综合生态利用角度,以修剪枝条的资源化处理为主线,其间穿插果园其他有机废弃物的处理介绍,为建立果园有机废弃物全面资源化利用提供技术与装备方面的参考。

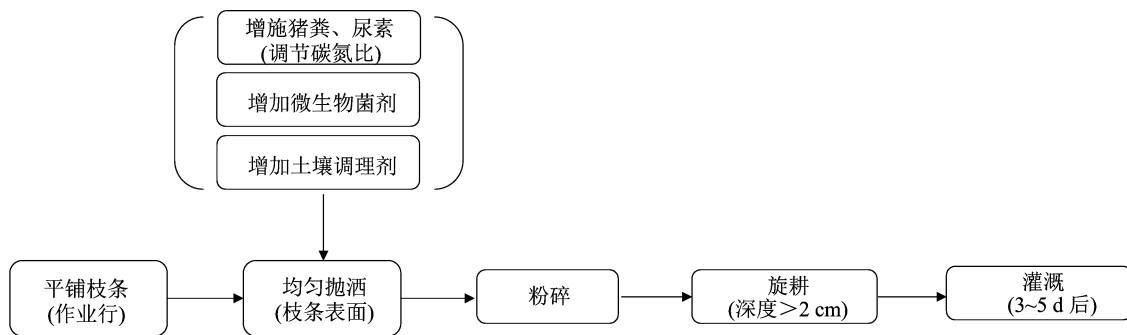


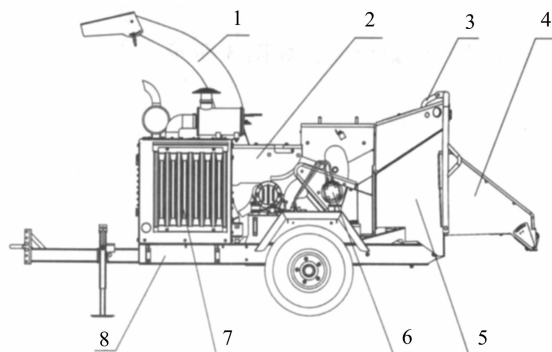
图1 果树枝条直接粉碎还田工艺流程<sup>[14]</sup>

规模化果园修剪的枝条量大且比较分散,这就对枝条粉碎机的移动性能和处理效率提出了要求,赵俊等研发了一种移动式树枝粉碎机(平均生产率为 3.31 t/h)(图 2)<sup>[15]</sup>,杨彩娟设计了一种适合在果园现场作业的枝条处理机(图 3)<sup>[16]</sup>。目前,我国已成功研发出几款比较成熟的大功率枝条粉碎机,包括北京市农业机械试验鉴定推广站国产化开发的 FSJ-8.0 型树枝粉碎机<sup>[17]</sup>、农业农村部南京农业机械化研究所研制的 NZF<sub>100</sub>A1/A2 型枝条粉碎机(1.2 t/h)<sup>[18]</sup>、北京顺诚明星农牧机械厂生产的 SC-6.5 型小型汽油树枝粉碎机<sup>[19]</sup>以及中农博远生产的 3ZF 系列果园枝条粉碎机<sup>[20]</sup>等,它们的最大切削直径在 70~100 mm 之间,适用于规模化果园的推广和应用。

虽然国内外对枝条粉碎技术及其设备的研究已有几十年的历史,枝条粉碎技术比较成熟,市场

### 2.1 直接粉碎还田技术

果树枝条直接粉碎还田,即利用枝条粉碎机粉碎修剪的果树枝条(粉碎颗粒平均粒度应  $\leq 30$  mm),将粉碎后的枝条深埋入果园土壤进行自然分解腐烂,经腐熟后可增加土壤有机质含量,以实现“以树养树”的目的<sup>[3]</sup>。果园中的落叶和杂草也可随修剪的枝条一起进行直接粉碎还田使用。目前该技术虽然应用较少,但其具有简易、环保和高效等优势,经济效益、社会效益、生态效益俱佳<sup>[13]</sup>。在传统的枝条直接粉碎还田基础上,李祥等探索了集枝条收集、搬运、粉碎、堆肥、施肥于一体的直接粉碎还田技术<sup>[14]</sup>,其工艺流程如图 1 所示,使用的枝条粉碎机械为中农博远生产的 2ZFJ-150 枝条粉碎还田机,该机型对在果园行间铺放的枝条具有良好的粉碎性能。该工艺使枝条腐解率显著提高,建议集中 2~3 行果树枝条于作业行进行直接粉碎还田处理,每隔 2~3 年还田 1 次<sup>[14]</sup>。



1—抛送装置; 2—高速切削滚筒; 3—电气及电控系统; 4—喂入台; 5—喂入口; 6—液压强制喂入辊; 7—动力部分; 8—移动底盘

图2 移动式树枝粉碎机整机结构<sup>[15]</sup>

上的枝条粉碎机械类型也较多,但专注于果树枝条粉碎的设备仍然较少,在果园上的应用也相对较少。由于国外进口的枝条粉碎机大多售价高、维修费用高以及更换零部件不便捷,大大超出我国林果

业生产的购买力,导致其在国内大面积推广和应用比较困难<sup>[21]</sup>。而国内现有的果园枝条粉碎机类型、特点和性能等方面差异性也较大,主要体现在所需动力、粉碎直径、木屑切片厚度、木屑细度及均匀度等方面,同时普遍存在噪音大、枝叶粉碎尺寸单一、生产效率偏低等问题<sup>[18]</sup>,可见现有设备性能仍需进一步完善。同时为了提高现代果园种植服务的能力,提高果园管理技术含量,以推进循环农业的可持续性发展,江苏省农业科学院吕晓兰等从农机农艺相结合角度,起草了适用于果树枝条修剪后粉碎处理作业的江苏省地方标准《果树枝条粉碎技术规程》,较全面地对果树枝条粉碎技术及粉碎机械的应用进行了规范。

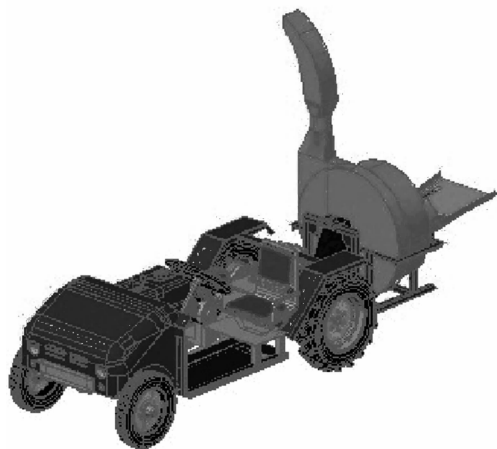


图3 枝条处理机与动力底盘挂接三维图<sup>[16]</sup>

## 2.2 生物覆盖技术

发达国家在果园管理上广泛推行生物覆盖技术,而我国在果园实施生物覆盖技术仍然相对较少。将果园废弃的枝条收集处理,覆盖在树盘、树行间,以期达到抑制病虫害、改良土壤结构、提高果实品质的效果<sup>[2,22]</sup>。进行生物覆盖作业时,要根据果园的实际情况,选择合适的覆盖厚度(10~20 cm),覆盖厚度不可太厚(可能影响果树根系生长)或者太薄(削弱保水、控制杂草及虫害的作用)<sup>[6]</sup>。同时在树干的周围要留出一定的距离(约10 cm),避免树干与覆盖物直接接触,一方面防止园内田鼠等野生动物藏匿于覆盖物中啃食树干,另一方面防止分解覆盖物的某些微生物直接侵染树干,影响树体的正常生长<sup>[2]</sup>。张秋月等建议枝条废弃物应经粉碎、初步发酵后,再在果园进行覆盖处理,否则可能导致果树发生病害<sup>[2]</sup>,而粉碎后的枝条铺到地里可以起到防尘的作用<sup>[17]</sup>。如果果园采

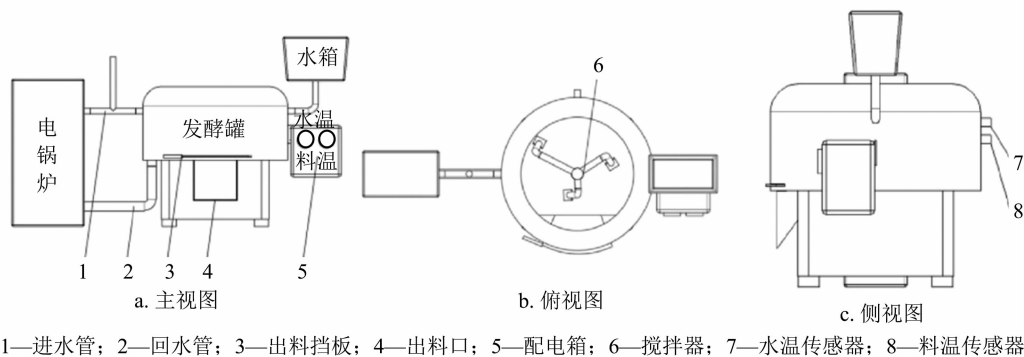
用机械除草技术,被割除的杂草也可成为覆盖物。

目前国内大部分果园仍使用人工劳动力进行生物覆盖作业<sup>[23]</sup>,劳动力成本高、作业效率低、覆盖效果差等问题依旧严峻。虽然针对果园研制的秸秆覆盖机已有不少研究<sup>[24-26]</sup>,但针对果园枝条覆盖机的研究仍然鲜有报道,2款机型因使用原料差异性较大,因此在机型设计上要遵循求同存异的原则,可以借鉴市场上较成熟的果园秸秆覆盖机,加快果园枝条覆盖机的设计、试验和商品化。

## 2.3 好氧堆肥技术

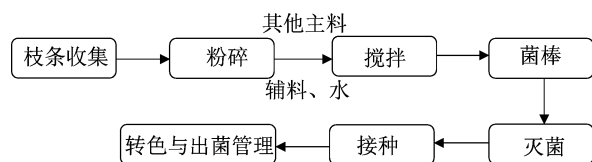
果树枝条中含有大量难降解的木质素、纤维素等有机质,通过堆肥的方式直接进行生物分解相对困难。因此一般先将其做粉碎处理(粉碎颗粒平均粒度应 $\leq 15$  mm),再通过添加含有高效降解纤维素和木质素菌种的复合微生物菌剂进行堆腐<sup>[27]</sup>,并定期进行翻堆,以加快堆肥的腐熟程度,缩短发酵周期<sup>[3]</sup>。利用堆体中微生物群落的发酵作用,将废弃物中有机质降解为稳定的腐殖质状态,使其所含养分能够被释放、吸收<sup>[28]</sup>,最终形成有机肥料还园使用,可直接覆盖于果园地面或在树冠外缘地表开沟施肥<sup>[29]</sup>。相关研究表明,施用堆肥技术产生的有机肥可以有效改善土壤的状况,包括土壤的理化性质、土壤养分以及土壤微生物活性<sup>[30-36]</sup>。范学山等发现,长期施用枝条堆肥可以改善土壤性质,促进果树根系生长<sup>[37]</sup>。堆肥发酵受温度和含水率影响较大,温度一般控制在 $55 \sim 70$  °C<sup>[2,29]</sup>,含水率一般在50%~60%之间<sup>[27,38]</sup>,经过高温好氧堆肥能够杀死其中大部分有害病菌、虫卵等。利用粉碎的枝条和菌种丰富的腐土按1:4的比例进行混合堆腐<sup>[29]</sup>,测算出枝条生产有机肥的效率为40%。果园中废弃的杂草、落叶和坏果等有机物也可进行堆肥处理。

堆肥发酵工艺主要包括静态通气式、条垛式、卧式、槽式和塔式等<sup>[39]</sup>,但因其占地面积大、堆置周期长和经济投入大等劣势,往往限制了堆肥在果园有机废弃物处理中的应用,尤其针对特定应用场景的便捷化堆肥成套设备还比较欠缺,因此有必要研制适用于果园现场操作的小容量反应器堆肥系统<sup>[40]</sup>。近年来,随着堆肥技术的广泛推广,果园堆肥处理设备趋于向小型化、移动化、专用化和多样化发展<sup>[39-40]</sup>,机械化程度虽然有所提高,但其实际应用效果仍有待加强。沈晓贺等研制了一种全自动化控制的果树枝条粉碎发酵堆肥机,缩短了堆肥发酵周期,提高了堆肥生产效率<sup>[41]</sup>,设备详见图4。

图4 果树枝条粉碎发酵堆肥机<sup>[41]</sup>

## 2.4 食用菌栽培技术

目前国内外利用果树枝条作为栽培基质栽培食用菌已有多年较成熟的研究。一般将果树枝条粉碎后作为食用菌生产基质的主要原料(粉碎颗粒平均粒度应 $\leq 5$  mm),通过生产制作菌棒的形式,栽培食用菌,其工艺流程如图5所示。食用菌生长过程中只吸收培养基质的部分养分,因此废弃菌棒、菌渣中含有大量的N、P、K等营养元素,可继续生产有机肥,再施回于果园,也可通过制作无土栽培基质、生物修复、挖掘活性物质以及制作饲料等其他途径加以资源化利用<sup>[42]</sup>。相关研究表明,利用果树枝条为主料栽培的食用菌相较于以传统栽培料栽培的食用菌,在其品质和产量上均有显著提高<sup>[43-45]</sup>,该技术安全可行<sup>[46]</sup>。同时与常规杂木屑基质栽培食用菌相比,利用果树枝条粉碎木屑栽培食用菌的生产成本也相对较低。据估算,利用果树枝条粉碎木屑每生产1万袋食用菌可节省1万kg的杂木屑,相当于减少采伐 $6.7\text{ m}^3$ 的阔叶林量,木屑成本降低了6000多元,具有较好的经济效益和生态效益<sup>[47]</sup>。

图5 果树枝条栽培食用菌工艺流程<sup>[43]</sup>

我国传统食用菌栽培多以农村家庭手工作坊式操作为主,如今机械化栽培食用菌已实现产业化,相关技术和设备均相对成熟。刘欣等梳理了食用菌的机械化生产工艺,以及工艺各环节的配套生产设备<sup>[48]</sup>;连云港市国鑫食用菌成套设备有限公司和连云港市农机试验推广站通过借鉴国外先进的生产技术和设备,自主研发了食用菌工厂化生产系

列成套设备<sup>[49]</sup>;王明友等重点关注了我国食用菌基质粉碎装备的研发现状、应用前景和优化方案等<sup>[50]</sup>。

## 2.5 生物炭制备技术

近年来,生物炭因其在改善土壤环境功能、促进作物增长、固碳减排、环境污染治理和多功能生物质炭基新材料研发等方面发挥着重要作用<sup>[51-55]</sup>,在农业、能源与环境等领域具有巨大的应用前景,成为当今的研究热点。利用林木制备的生物炭具有孔隙度、比表面积等物理性质较优的特性<sup>[56]</sup>,因此可以利用修剪的果树枝条在缺氧或少氧的环境中通过高温热裂解和炭化作用获得生物炭,然后既可以将它单独还园施用于土壤,也可以配合肥料还园施用于土壤<sup>[57-58]</sup>。李喜凤等研究表明,生物炭与有机肥对低肥力土壤果树生长均有促进作用,使果树开花量和单株产量提高,两者混施的效果要优于单施处理<sup>[59]</sup>。刘慧冉等研究发现,生物炭的理化性质主要由裂解温度决定,制备梨树枝条生物炭时,将裂解温度控制在 $500\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,生物炭所含元素含量差异性较小,微孔和大孔数量基本达到最高水平,吸附性能达到最佳<sup>[60]</sup>。果园中的其他有机废弃物也可被利用制备生物炭。

生物炭的制备工艺主要包括快速热裂解法、慢速热裂解法、水热炭化法、微波热解法和气化法<sup>[61]</sup>,现阶段市场上实现产业化生产的生物炭基本采用慢速热裂解的原理,主要利用的炭化设备包括分批式生产的土窑(污染严重、生产力低)<sup>[62]</sup>和干馏炉(设备成本高)<sup>[63]</sup>,连续式生产的内加热式炭化设备(技术要求高)<sup>[64]</sup>和外加热源式炭化设备(能耗高)<sup>[65]</sup>。一般需要将果树枝条先进行粉碎(粉碎颗粒平均粒度应 $\leq 10$  mm),压缩制粒,然后再进行炭化,而制粒及炭化机具昂贵,整套环节投入非一般果农所能接受,主要适宜大批量工厂化生产经营。

庄晓伟等参照日本较先进的改良土窑,开发了年产 400 t 的机制棒自燃内热式炭化窑(图 6)并进行了炭化工业试验,发现该窑炭化得率在 33.5% ~ 35.7% 之间,固定碳含量在 91.19% ~ 93.11% 之间,生产周期仅需 4 ~ 6 d,各项指标明显高于土窑制炭水平,同时不需要较多专业知识即可操作,具有很好的推广应用前景<sup>[66]</sup>。

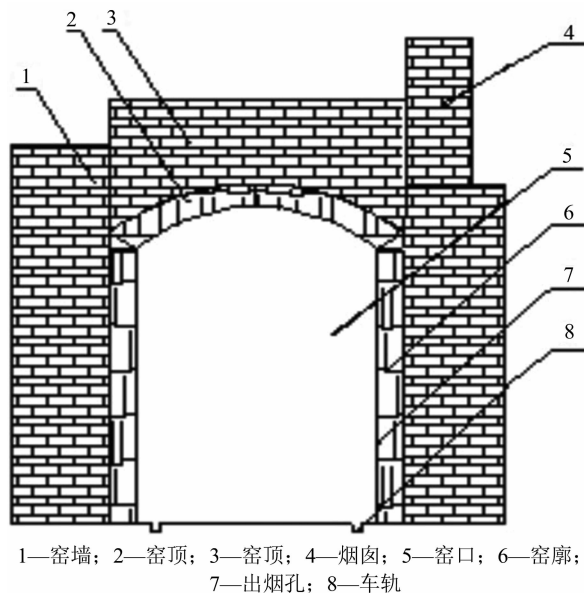


图6 自燃内热式炭化窑结构示意图<sup>[66]</sup>

## 2.6 其他利用技术

**环境昆虫转换技术:**将果园有机废弃物资源化利用与环境昆虫产业化生产相结合,利用环境昆虫的腐食性,用其取食果园有机废弃物转化为虫体蛋白和虫粪砂,其中虫体蛋白可制作成虫粉饲料应用于养殖业,虫粪砂可作为虫粪生物肥进行还田<sup>[67]</sup>。王倩以苹果园废弃物为原料,利用白星花金龟幼虫转化树枝、落叶以及黄粉虫幼虫转换落果,获得的虫粪砂进行还田,证明了虫粪砂能够促进作物生长<sup>[68]</sup>。但目前利用环境昆虫转化果园有机废弃物获得的虫粪砂对果树进行肥效试验的研究仍然较少,今后可加强此方面的研究,进一步强化虫粪砂作为有机肥在果园的使用力度。

**厌氧消化技术:**按照 3 : 1 : 1 的比例在密封的容器内装入坏果、红糖和水,经厌氧发酵后,产生的棕色液体即环保酵素<sup>[12]</sup>,是一种很好的有机肥料,可代替化肥还园使用(叶面喷湿),达到化肥农药减施的效果。此外,果园中的杂草、落叶、坏果以及利用果树枝条栽培食用菌产生的废弃菌棒、菌渣等有机废弃物经处理后,均可作为沼气池发酵原料,经

沼气发酵后产生的沼液、沼渣也均可还园使用,从而实现生产的良性循环<sup>[5]</sup>。

## 3 果园有机废弃物资源化生态利用存在的问题与建议

目前国内外对果园有机废弃物的资源化利用研究已取得较大进展,已形成较多成熟的技术并应用到生产实践中,然而要实现规模化果园有机废弃物资源化生态利用技术的产业化发展,最大限度实现资源的有效利用,大幅度降低人工劳动力成本,全面提高果园的价值和功能,仍有一部分问题有待思考和解决。

### 3.1 最佳利用途径的确定

资源化处理技术种类较多,每种技术各有优劣,其利用效率、经济投入成本和产业化发展程度等均有较大差异,因此需要经过详细的对比分析,充分结合规模化果园园区的实际情况、典型特征等考虑果园有机废弃物资源化最佳利用途径,这个最佳利用途径可能是一种技术,也有可能是多种技术的组合。果园有机废弃物的资源化生态利用要始终坚持并朝着资源的循环利用、就地处理和操作便捷等方向发展<sup>[40]</sup>,有必要做到统筹考虑、规划先行,从根本上解决资源浪费、环境污染等问题,加快实现果园废弃资源与生态环境的可持续性发展。

### 3.2 “眼前账”和“长远账”的计算

规模化果园有机废弃物的处理成本(设备投入、运营管理等)往往投入较高,尤其在建设初期可能需要大量的资金,但其因为利用收益率相对较低,在起始阶段获得社会投资的概率也较小,因此一大部分果园往往只盯着果园有机废弃物资源化生态利用有着较长的投资回收期、较低的投资回报率等“眼前账”,而忽视了从多角度考虑果园产业健康发展的“长远账”。要对果园资源化处理技术所产生的经济效益、社会效益和生态效益分技术类别进行定量分析,尤其要积极探索其生态优势转化机制,建立较完善的生态补偿机制,后期还可以针对青少年群体组织开展自然教育活动,逐渐吸引更多的规模化果园积极推行有机废弃物资源化生态利用,逐步形成资源化利用、环境治理和生态教育的良性循环。

### 3.3 加强专用处理设备研发力度

目前有机废弃物资源化处理所涉及的设备发展迅速,但针对规模化果园设计研发的专用处理设

备仍然存在较缺乏、种类少、技术落后等特点,“无机可用”“有机难用”的现象仍然存在,大大限制了果园有机废弃物资源化生态利用的发展。首先要从农机农艺相结合的角度出发,针对不同应用场景的枝条后处理要求,开展枝条粉碎机切削、粉碎性能、噪声控制等方面的研究,开发一系列专用枝条粉碎机,为枝条粉碎后的多途径利用提供基础,为枝条资源化处理及循环利用提供工程技术平台。除以上提及的相关处理设备外,果园有机废弃物处理环节的前端也值得关注,要进一步加强果园有机废弃物收集、运输及储存等相关技术、设备的研发。因此建议设立果园有机废弃物综合利用专项资金,通过增加科技投入推动科学研究,特别要加快果园有机废弃物资源化生态利用等实用技术、设备方面的创新研究,从而为建立果园有机废弃物资源化生态利用加工示范区奠定良好的基础。

### 3.4 建立成套技术解决方案

资源化处理技术相对成熟,但在果园主要使用的一种技术或者组合技术仍然缺乏较完善的成套技术解决方案。建议通过实地调研分析,为每个园区提供详细的多套成套技术解决方案,包括可供选择的技术、相应的成套设备、形成的产业技术规程等,为规模化果园提供有机废弃物资源化生态利用“一条龙服务”。

### 3.5 加大政策引导力度

我国对果园有机废弃物资源化生态利用还不够重视,相关的政策、措施还不够完善甚至欠缺,进而导致长期以来对果园有机废弃物的综合利用率较低且发展缓慢<sup>[5]</sup>。政府应该制定相关的政策法规鼓励果园有机废弃物资源化生态利用,并根据当地实际情况从宏观政策层面上推荐还园(田)技术和模式<sup>[4]</sup>,进一步落实发展循环农业和生态农业要求,对积极实行果园有机废弃物资源化生态利用的企业或农民可给予一定的政策或资金支持。

## 4 结论

水果产业是现代农业的重要组成部分,是我国乡村振兴的重要支柱产业。在水果的生长过程中,果园内会产生大量具有“双重性”的有机废弃物。从综合生态利用角度,针对规模化果园有机废弃物“变废为宝”的方式主要包括:直接粉碎还田技术、生物覆盖技术、好氧堆肥技术、食用菌栽培技术、生物炭制备技术以及其他利用技术(环境昆虫转化技

术和厌氧消化技术)。

今后需要继续加强最佳利用途径的确定、“眼前账”和“长远账”的计算、专用处理设备的研发、成套技术解决方案的建立、政策引导力度的加大等方面工作,以利于规模化果园有机废弃物资源化生态利用的产业化,真正实现果园有机废弃物资源的生态循环利用,推动果园循环经济的发展,全面提高果园的价值和功能。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [2] 张秋月, 周桐羽, 何佳丽, 等. 北方中大型果园枝条类废弃物综合生态利用研究: 以东北地区果园枝条类废弃物利用为例[J]. 沈阳农业大学学报(社会科学版), 2019, 21(6): 641-645.
- [3] 刘丽丽, 李建辉, 郑雪良, 等. 果树枝条资源化利用研究进展[J]. 浙江柑橘, 2016, 33(4): 5-8.
- [4] 陈 扬, 王丽霞, 杨 毅, 等. 山东省果树修剪枝条资源评估及肥料化利用潜力分析[J]. 中国果树, 2020(4): 92-95.
- [5] 杜 娟, 韩美玲, 安 琪, 等. 生态环境治理下果树残枝的资源化利用[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(18): 59-61, 82.
- [6] 朱嘉雯, 马蔚红, 井 涛, 等. 生物覆盖对果园土壤质量与热带果树生长发育影响的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(3): 25-39.
- [7] 王学婷, 张俊飏. 双碳战略目标下农业绿色低碳发展的基本路径与制度构建[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 516-526.
- [8] 骆世明. 生态农业确认体系的构建[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(1): 1-6.
- [9] Duan Y M, Mehariya S, Kumar A, et al. Apple orchard waste recycling and valorization of valuable product: a review [J]. Bioengineered, 2021, 12(1): 476-495.
- [10] 张乃文. 枝条修剪对梨园养分平衡的影响及枝条再利用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 1.
- [11] 董浩源. 果树落叶归田的技巧[J]. 农家科技, 2011(12): 18.
- [12] 刘振清, 栗园园, 陈 松. 酵素: 为农业生产添笔“绿”[J]. 农村·农业·农民(A版), 2018(10): 18-20.
- [13] 苟新卯, 高 丹. 果树枝条粉碎还田大有可为[J]. 西北园艺(果树), 2019(2): 13-15.
- [14] 李 祥, 柯希恒, 孙喜军, 等. 苹果枝条不同还田模式对果园土壤性状及苹果质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 238-242.
- [15] 赵 俊, 景全荣, 董世平, 等. 移动式树枝粉碎机设计与试验[J]. 农业工程, 2012, 2(11): 35-37.
- [16] 杨彩娟. 果园修剪枝条处理工艺及机械研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013: 16-17.
- [17] 郑泽颖. FSJ-8.0 树枝粉碎机的研制[J]. 农机科技推广, 2012(3): 56, 62.
- [18] 常有宏, 吕晓兰, 蒯 经, 等. 我国果园机械化现状与发展思路

- [J]. 中国农机化学报,2013,34(6):21-26.
- [19]周良埔. 树枝粉碎机[J]. 农机具之友,2006(5):48.
- [20]陈树. 果树枝条粉碎机[J]. 农业知识,2018(16):61.
- [21]杨叶,赵润良. 果树枝条粉碎机械的研究现状与发展[J]. 农业装备与车辆工程,2015,53(12):53-55.
- [22]Jordán A,Zavala L M,Gil J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain [J]. CATENA,2010,81(1):77-85.
- [23]宋永超. 矮砧苹果园秸秆机械化覆盖技术试验研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016:2-6.
- [24]徐少杰,朱新华,王东阳. 果园秸秆覆盖机设计与试验[J]. 中国农业大学学报,2019,24(7):122-130.
- [25]朱新华,赵伟,伏胜康,等. 自解捆式果园秸秆覆盖机设计与试验[J]. 农业机械学报,2021,52(10):223-232.
- [26]王东阳. 矮化苹果园秸秆基质覆盖机改进与试验研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017:42-44.
- [27]杨明昊,张艺灿,王孝娣,等. 果树枝条生物高效分解技术研究进展[J]. 中国果树,2022(3):10-14.
- [28]焦敏娜,任秀娜,何熠烽,等. 畜禽粪污清洁堆肥:机遇与挑战[J]. 农业环境科学学报,2021,40(11):2361-2371,2589.
- [29]刘洪杰,刘俊峰,李建平. 果园修剪树枝综合利用技术[J]. 农机化研究,2011,33(2):218-221.
- [30]Hoitink H A J,Boehm M J. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon [J]. Annual Review of Phytopathology,1999,37:427-446.
- [31]Marinari S,Masciandaro G,Ceccanti B,et al. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties[J]. Bioresource Technology,2000,72:9-17.
- [32]Sullivan D M,Bary A I,Nartea T J,et al. Nitrogen availability seven years after a high-rate food waste compost application [J]. Compost Science & Utilization,2003,11(3):265-275.
- [33]Chung R S,Wang F N. Effect of different composts on growth and nitrogen composition of Chinese mustard in an acid red soil [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis,2000,31(9/10):1209-1224.
- [34]Albiach R,Canet R,Pomares F,et al. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil [J]. Bioresource Technology,2001,76(2):125-129.
- [35]Cox D,Bezdicsek D,Fauci M. Effects of compost, coal ash, and straw amendments on restoring the quality of eroded Palouse soil [J]. Biology and Fertility of Soils,2001,33(5):365-372.
- [36]Martens D A, Frankenberger Jr W T. Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated [J]. Agronomy Journal,1992,84(4):707-717.
- [37]范学山,康亚龙,姜海波,等. 连续施用枝条堆肥对梨树根系生长及分布的影响[J]. 果树学报,2017,34(10):1274-1285.
- [38]Iqbal M K,Shafiq T,Ahmed K. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost [J]. Bioresource Technology,2010,101(6):1913-1919.
- [39]曹哲统,冷治涛,杨远文,等. 好氧堆肥技术在畜禽粪污资源化利用中的研究进展[J]. 中国乳业,2021(11):65-72.
- [40]赵春,毕玉波. 生态园区有机废弃物的循环利用研究[J]. 安徽农业科学,2014,42(29):10274-10276.
- [41]沈晓贺,刘佳,马文强,等. 枝条粉碎发酵堆肥机的设计与试验[J]. 新疆农机化,2020(4):12-14.
- [42]郭远,宋爽,高琪,等. 食用菌菌渣资源化利用进展[J]. 食用菌学报,2022,29(2):103-114.
- [43]薛变丽,段超,李波,等. 苹果枝木屑春栽香菇试验[J]. 山西农业科学,2015,43(3):290-292.
- [44]金鑫,黄文丽,李小林,等. 不同果树枝条栽培灵芝基质配方研究[J]. 中国农学通报,2015,31(36):156-160.
- [45]郭蔚,龚黛,杜双田,等. 葡萄枝条栽培杏鲍菇的营养成分研究[J]. 北方园艺,2013(19):144-148.
- [46]程雪绒,樊玉萍,雷怀玉,等. 果树枝条屑栽培的三种食用菌农药残留及总磷含量分析[J]. 食用菌,2021,43(1):70-71,78.
- [47]廖舟怡. 变废为宝:利用废弃果树枝条替代食用菌栽培基料[J]. 浙江林业,2009(6):32.
- [48]刘欣,于颖,张旭,等. 食用菌机械化生产技术及配套设备研究[J]. 农业科技与装备,2013(11):62-63.
- [49]朱鑫彦,崔小冬,李宗岭,等. 食用菌工厂化生产成套设备[J]. 农业装备技术,2011,37(5):37-38.
- [50]王明友,宋卫东,王教领,等. 食用菌栽培基质粉碎设备的研发现状与展望[J]. 食用菌,2014,22(6):352-354.
- [51]孔丝纺,姚兴成,张江勇,等. 生物质炭的特性及其应用的研究进展[J]. 生态环境学报,2015,24(4):716-723.
- [52]陈温福,张伟明,孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学,2013,46(16):3324-3333.
- [53]Niazi N K,Bibi I,Shahid M,et al. Arsenic removal by *Perilla* leaf biochar in aqueous solutions and groundwater: an integrated spectroscopic and microscopic examination [J]. Environmental Pollution,2018,232:31-41.
- [54]Ravindran B,Nguyen D D,Chaudhary D K,et al. Influence of biochar on physico-chemical and microbial community during swine manure composting process [J]. Journal of Environmental Management,2019,232:592-599.
- [55]Han L F,Sun K,Yang Y,et al. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon [J]. Geoderma,2020,364:114184.
- [56]Mukome F N D,Zhang X M,Silva L C R,et al. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(9):2196-2204.
- [57]陈德秀,王连春,普应斌,等. 有机肥和生物炭施用对猕猴桃果实品质的影响[J]. 北方园艺,2022(2):18-26.
- [58]Duan Y M,Yang J F,Song Y F,et al. Clean technology for biochar and organic waste recycling, and utilization in apple orchard [J]. Chemosphere,2021,274:129914.
- [59]李喜凤,杨小妮,罗艳君,等. 生物炭及有机肥对苹果园土壤有机碳组分及果树生长的影响[J]. 西北农业学报,2017,26(4):617-624.
- [60]刘慧冉,谢昶琰,康亚龙,等. 不同裂解温度对梨树枝条生物炭

徐重新,张江兆,胡晓丹,等. 农药联合复配在农作物病虫害防治上的研究进展[J]. 江苏农业科学,2023,51(4):8-15.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.04.002

# 农药联合复配在农作物病虫害防治上的研究进展

徐重新<sup>1,2</sup>, 张江兆<sup>1,3</sup>, 胡晓丹<sup>1</sup>, 林曼曼<sup>1</sup>, 陈蔚<sup>1</sup>, 张霄<sup>1</sup>, 刘媛<sup>1,2</sup>, 刘贤金<sup>1,2</sup>

(1. 江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所/省部共建国家重点实验室培育基地—江苏省食品质量安全重点实验室,江苏南京 210014;

2. 江苏大学食品与生物工程学院,江苏镇江 212013; 3. 南京农业大学植物保护学院,江苏南京 210095)

**摘要:**病虫害严重威胁了农作物生长发育及农产品质量安全。农药是病虫害防治的关键,但长期滥用不仅加速了病虫害的抗药性,也给生态环境造成极大污染,合理用药是农业可持续发展的必然要求。农药联合复配是提升现有农药对靶标病虫害防治效率的最直接方式,同时通过复配可以减少药用量,也能提高农产品质量安全水平、延缓病虫害抗药性以及减少环境污染。农药联合复配是农药合理优化利用研究的热点。本文按化学-化学农药复配、生物-生物农药复配和生物-化学农药复配3种常规形式进行汇总归类,系统梳理近年国内外有关这3种形式的农药联合复配在常见农作物病虫害防治上的研究状况及典型应用实例;并就复配形式及其应用前景进行展望,特别对农药联合复配未来如何迈向更高效、更安全、更绿色的发展道路以及在探索过程中潜在的技术瓶颈等问题进行探讨、提出应对策略,同时也对农药复配在应用过程中所暴露的可能叠加危害生态环境和非靶标生物等问题表达关注;旨在为推进农药创新利用提供最新参考资料和潜在启发思路。

**关键词:**化学农药;生物农药;农药联合复配;农作物病虫害;农产品质量安全

**中图分类号:**S481+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)04-0008-08

农作物生产过程受到多种因素制约,而病虫害是公认的威胁农作物生产及农产品质量安全的最主要的风险因素。据世界粮农组织调查报告可知,由于农作物病虫害的发生,全球粮食每年减产10%~16%,其中我国每年因此造成的粮食损失就高达

4 000 万 t<sup>[1]</sup>。对病虫害有效防治是确保农作物稳产乃至提质增产的头等大事,国际社会高度重视,我国已于2020年3月正式颁布《农作物病虫害防治条例》,明确将农作物病虫害防治提升到事关国家粮食安全和社会稳定的战略高度。

农药是应对农作物病虫害的最主要手段,对助推农作物持续稳产乃至提质增产起到了极为关键的作用。然而长期对农药的依赖以及不规范使用甚至是滥用,在世界范围内均已导致病虫害抗药性加剧发生<sup>[2]</sup>,同时农药残留也给人类健康以及生态环境造成了极为不利的影 响<sup>[3]</sup>。对农药的合理使用是农作物病虫害持续有效防治研究的重点,特别是探寻农药联合复配更是对现有农药创新利用和

收稿日期:2022-03-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:31972292、31701724、31630061)。

作者简介:徐重新(1987—),男,湖南新田人,博士,助理研究员,研究方向为农产品质量安全防控技术。E-mail:hhxyxcx@163.com。

通信作者:刘媛,博士,研究员,研究方向为农产品安全防控技术, E-mail:liuyuan@jaas.ac.cn;刘贤金,博士,研究员,研究方向为农产品安全防控技术, E-mail:jaasliu@jaas.ac.cn。

理化性质的影响[J]. 南京农业大学学报,2019,42(5):895-902.

[61] 彭昌盛,魏茜茜,赵婷婷,等. 太阳能热解技术制备生物炭的研究进展[J]. 现代化工,2022,42(2):61-67.

[62] Lin Y J, Hwang G S. Charcoal from biomass residues of a Cryptomeria plantation and analysis of its carbon fixation benefit in Taiwan[J]. Biomass and Bioenergy,2009,33(9):1289-1294.

[63] Sparrevik M, Adam C, Martinsen V, et al. Emissions of gases and particles from charcoal/biochar production in rural areas using medium-sized traditional and improved "retort" kilns[J]. Biomass and Bioenergy,2015,72:65-73.

[64] 丛宏斌,赵立欣,姚宗路,等. 内加热连续式生物质炭化设备的研制[J]. 太阳能学报,2014,35(8):1529-1535.

[65] 蒋恩臣,苏旭林,王明峰,等. 生物质连续热解反应装置的变螺旋螺旋输送机设计[J]. 农业机械学报,2013,44(2):121-124.

[66] 庄晓伟,吴丽芳,陈顺伟,等. 机制棒自燃内热式炭化窑及其炭化工业试验[J]. 浙江林业科技,2010,30(4):56-61.

[67] 刘玉升,张大鹏. 基于白星花金龟幼虫转化玉米秸秆的微循环农牧场模式研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(31):85-87.

[68] 王倩. 利用白星花金龟和黄粉虫联合转化苹果园废弃物的技术研究[D]. 泰安:山东农业大学,2019:31-33.