

土壤重金属复合污染的生态效应研究综述

冯丹妮¹, 杨虎德¹, 马彦², 焦位雄³, 姜万礼¹, 陈伟⁴

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 4. 甘肃省农业科学院农业经济与信息研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 近年来, 土壤重金属污染问题日益严重, 已从传统的单一重金属元素污染转变为重金属的复合污染。从土壤重金属复合污染对土壤中重金属元素的迁移转化、土壤微生物群落结构、土壤酶活性以及植物生理的影响等方面阐述了其生态效应, 并对存在的问题和发展前景提出见解。

关键词: 土壤重金属复合污染; 生态效应; 重金属迁移转化; 土壤微生物; 土壤酶活性; 植物生理

中图分类号: X171.5 文献标志码: A 文章编号: 1001-1463(2019)09-0073-05
doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2019.09.016

Ecological Effects of Heavy Metal Contaminated Pollution Research

FENG Danni¹, YANG Hude¹, MA Yan², JIAO Weixiong³, JIANG Wanli¹, CHEN Wei⁴

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Agro-environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 4. Institute of Agricultural Economics and Information, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In recent years, rapid development of industry and agriculture modern technology to the growing problem of heavy metal pollution of soil, from the traditional heavy metal pollution into a single composite heavy metal pollution. This heavy metals from the soil pollution on the migration of heavy metals in soil, soil microorganisms, soil enzyme activity and plant physiological role into the impact of four described their ecological effects, and the problems and prospects for development put forward their own views.

Key words: Heavy metal contaminated soil; Ecological effects; Migration and transformation of heavy metals; Soil microbial; Soil enzyme activity; Physiological of plant

农田土壤重金属污染与农产品质量和农田生态系统健康密切相关。根据 2014 年 4 月环境保护部与国土资源部联合公布的《全国土壤污染状况调查公报》显示, 当前我国农田土壤点位超标率为 16.1%, 其中 As、

Cd、Cr、Hg、Pb、Cu、Zn、Ni 等 8 种重金属元素污染最为严重, 点位超标率分别为 2.7%、7.0%、1.1%、1.6%、1.5%、2.1%、0.9%、4.8%^[1], 农田土壤重金属污染情况不容乐观。随后相继颁布《土壤污染防治行

收稿日期: 2019-07-23

基金项目: 甘肃省科技重点研发计划“甘肃省耕地土壤主要农作物重金属污染特征及农艺修复技术研究”(18YF1FA094); 甘肃省农业科学院中青年基金(2616GAAS57)。

作者简介: 冯丹妮(1989—), 女, 辽宁鞍山人, 研究实习员, 现主要从事农业面源污染监测与防控技术研究工作。Email: fengdanni1989@163.com。

通讯作者: 杨虎德(1967—), 男, 甘肃民勤人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事农业面源污染防控技术研究工作。Email: 596259707@qq.com。

动计划》和《中华人民共和国土壤污染防治法》，充分体现国家对土壤污染防治工作的重视。

土壤重金属污染具有隐蔽性、累积性和不可逆性等特点，在土壤—植物系统中迁移转化，经过食物链的积累和放大作用，进而对生物体产生毒害。近年来，随着工农业生产快速发展，污水灌溉、农药和化肥的大量施用、乡镇企业的崛起以及大尺度生态环境条件的恶化，使农田土壤重金属污染越来越严重^[2]，越来越复杂，从传统的单一重金属污染逐步发展成重金属的复合污染，严重威胁着人类的健康。

1 重金属复合污染对土壤环境的影响

在土壤环境中，不同重金属的迁移转化、反应作用机制会相互影响、相互制约，一般表现为加和效应、拮抗效应和协同效应^[3-4]，使其在土壤中的存在形式、转化方式等与单一重金属元素作用存在很大差异。国内外很多环境科学领域专家做了相关的研究，我国主要针对矿区、冶炼厂周围土壤重金属复合污染和建立模拟试验等进行相关研究。

1.1 影响土壤重金属的迁移转化

土壤环境中重金属的迁移转化受土壤理化性质、重金属元素间的联合作用等因素的影响，在复合污染条件下，其反应过程更加复杂。一般来说，周期系同族元素之间以及理化性质相似的元素之间容易出现拮抗作用，同周期元素化学性质极其相似，可相互竞争结合部位。

王新^[5]等研究 Cd、Pb 同时存在时 Cd、Pb 的迁移转化机制中发现，Cd 的存在使土壤对 Pb 具有很强的吸持能力，更易于固定在土壤中，难以迁移，不易被水稻所吸收；相反，Pb 可夺取 Cd 在土壤中的吸附点，使 Cd 的活性增加，提高土壤中 Cd 的有效性，使其更易被水稻所吸收。土壤中重金属元素的相互作用使其有效性发生变化，从而影响其生物毒性和有效性发挥以及在土壤中的迁

移转化方式。

1.2 影响土壤微生物群落结构及种群数量

土壤重金属复合污染与土壤微生物的联系十分紧密，两者之间的关系目前已经成为国内外环境科学领域的研究热点。研究表明，土壤重金属复合污染能够显著降低土壤微生物生物量和细菌活菌数等，同时明显影响土壤微生物群落结构^[6]。

王秀丽等^[6]以浙江某处铜锌冶炼厂附近的水稻土为对象研究土壤重金属复合污染对土壤微生物的影响，结果显示，重金属复合污染能够明显降低微生物生物量碳、微生物生物量氮、微生物商、微生物生物量氮/全氮比等指标，同时也在一定程度上降低了微生物 C/N 比，降低细菌、真菌、放线菌活菌数；Fritze 等^[7]在研究铜镍矿山土壤时发现，铜、镍复合污染地区土壤微生物生物量显著降低；Frostegard 等^[7]以 PLFA 含量作为测定微生物生物量的指标，结果表明随着外源镉浓度的增加森林和旱地土壤微生物生物量下降。

土壤重金属污染对微生物群落结构的改变作用可以通过 C/N 比的变化体现，随着污染程度升高，土壤微生物向 C/N 比低的优势群落转化。有研究发现，随着有效态铜、锌、铅、镉含量的增加，土壤微生物群落向着真菌相对含量增加的趋势发展，改变了土壤微生物组成结构^[8]。

1.3 抑制土壤酶活性

近年学者先后提出将脲酶、脱氢酶、过氧化氢酶、转化酶、磷酸酶活性等作为重金属污染监测指标，但大多针对单一重金属元素，对重金属复合污染作用的报道较少，且结果随土壤类型和 pH、重金属种类等不同而存在很大差异。有研究表明，单一脱氢酶活性与矿区土壤重金属复合元素含量之间呈极显著相关，而单一脲酶、蛋白酶以及酸性磷酸酶活性与重金属复合元素含量呈显著相关，说明重金属复合污染对土壤酶的影响存

在显著差异,且不同土壤酶对重金属复合污染的敏感程度不同^[9]。

土壤重金属复合污染对土壤酶活性的影响主要是抑制。罗虹等^[2]研究得出,Cu、Cr、Ni的复合污染显著抑制土壤脲酶和脱氢酶活性,同时,转化酶、水解酶等的活性也受到一定的抑制作用。杨志新等^[10]研究显示,Cd、Zn、Pb复合污染对脲酶表现为协同抑制负效应,对过氧化氢酶则表现出一定的拮抗作用,转化酶和碱性磷酸酶活性则主要随着Cd浓度的增加而显著降低。

针对土壤重金属复合污染对土壤微生物和土壤酶活性的研究较多,得到的结果大多一致,许多研究是在综合两者研究结果的基础上对土壤重金属复合污染生态效应加以评价。Wang等^[11]研究了铜冶炼厂附近重金属污染土壤中土壤酶活性和微生物群落结构的变化,表明土壤微生物数量和酶活性受到严重抑制;韩桂琪等^[12]研究云南东川铜矿区土壤酶和微生物特征,得到相同的结论。但由于土壤微生物和土壤酶活性在自然条件下受植被、季节、灌溉、耕作、重金属种类和含量等因素的影响,使研究报道结果差异较大,甚至存在一些相反的结果^[2]。

2 重金属复合污染对植物生长发育和生理特性的影响

土壤重金属复合污染对作物产质产量的影响,一方面通过其在作物体内蓄积直接产生毒性影响作物的株高、穗长、千粒重等;另一方面通过影响作物的生理特性,如叶绿素的含量、根活性、对重金属的吸收转运等使作物的产质产量降低^[13]。

2.1 影响植物生长发育

土壤对重金属的自净过程十分漫长,同时重金属可被植物吸收富集在植物根、茎、叶及籽粒中,影响作物生长发育。

李勇等^[14]采用温室盆栽土壤的方法研究了Pb、Cd复合污染对玉米生长影响,认为重金属Pb、Cd复合浓度愈高,对玉米生

长的抑制作用愈明显。贾贵科等^[15]研究了Pb、Cd单一污染与复合污染对玉米株高、根长的影响,表明重金属复合污染体现元素之间的协同作用对作物生长的抑制作用更强。Cd、Pb污染还可通过对根系的伤害抑制水稻的生长发育,使植物叶片中的叶绿素含量降低,影响正常的光合作用,减少光合产物向种子的输入,导致作物减产。

2.2 影响植物生理特性

周启星等^[16]在模拟试验了Cu、Zn、Cd、Pb等4种重金属元素复合污染对小麦根活性的影响,证明重金属复合污染对小麦根活性有抑制作用,同时重金属复合污染过程中并非只存在一种联合反应机制。如对Cu来说,其抑制作用随Zn浓度的升高而增大,但仍小于两者之和,说明Cu和Zn的联合作用存在加和作用和拮抗作用。对Cd、Zn复合污染的联合作用的研究中也得到相同的结论。

孟庆俊等^[17]在重金属复合污染对小麦幼苗叶绿素含量影响的研究中同样得到重金属复合污染对植物生理有抑制作用的结论。铁柏青等^[18]在研究灯芯草在土壤重金属复合污染条件下体内重金属富集和分布情况中,也认为重金属复合污染会抑制叶绿素的合成,同时证明植物中SOD、CAT、POD 3种酶在土壤重金属复合污染条件下呈现不同的变化趋势,但总体是相互协调共同抵抗外界复合重金属污染对植物造成伤害。

重金属的复合污染对植物吸收富集重金属元素也有一定的影响。“五毒元素”(As、Hg、Pb、Cd、Cr)交互作用对水稻吸Cd所产生的影响更为复杂,水稻籽实Cd含量为未投加Pb、Cu、Zn、As处理的5倍,Cd的活性增强促进了水稻对Cd的吸收和积累,说明其余4种重金属元素对Cd元素吸收有协同作用;水稻根、茎、叶中Pb含量较未投加Cd、Cu、Zn、As处理降低,比Cd-Pb 2种元素交互作用而产生的下降幅度大,说明

4种元素的共存使Pb的活性降低；抑制了水稻对Pb的吸收和积累，对Pb元素吸收有拮抗作用^[5]。

3 今后研究方向

土壤重金属复合污染的研究已取得一定的成果，但仍存在一些问题。一是目前土壤重金属污染研究还局限于试验阶段，并未发展成区域性土壤重金属复合污染的生态效应研究。由于各地区土壤的理化性质等因素不同，重金属复合污染的污染情况、治理标准与方法存在多样性，有待进一步的研究探讨。二是重金属复合污染联合机制的复杂性。学者一般只研究2~3种重金属元素之间的作用机制，而且对重金属元素相互作用的影响因素探究不够深入，不足以全面分析重金属复合污染的生态效应。三是土壤重金属被植物吸收富集于体内，在植物体内的转化、代谢等生物过程中仍然存在联合作用，其迁移转化、毒理、富集分布等是否与单一重金属元素污染存在差异还有待研究。四是将土壤重金属复合污染生态效应研究结果与土壤重金属标准值制定相结合，完善土壤重金属污染治理的相关规定，使其更具现实操作性。五是土壤重金属复合污染对植物生理作用的影响主要集中于对农作物的研究，对超富集植物的研究较少，重金属复合污染的植物修复功能与传统生物修复存在差异，有待进一步探讨。

重金属不同元素间的联合作用机制复杂，导致土壤重金属复合污染产生的效应与单一重金属元素的效应差异很大，成为土壤重金属复合污染治理与修复的难点，今后应着重将土壤重金属复合污染的生态效应基础研究与应用实践相结合，在深入探究机理的同时解决其预防和治理问题，并推广应用。

参考文献：

- [1] 陈卫平, 杨阳, 谢天, 等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. 土壤学报, 2018, 55(2): 261-272.
- [2] 罗虹, 刘鹏, 宋小敏, 等. 重金属镉、铜、镍复合污染对土壤酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2006 20(2): 94-96.
- [3] 郑振华, 周培疆, 吴振斌. 复合污染研究的新进展[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 469-473.
- [4] 郭观林, 周启星. 土壤-植物系统复合污染研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(15): 823-828.
- [5] 王新, 梁仁禄, 周启星. Cd-Pb复合污染在土壤-水稻系统中生态效应的研究[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2): 41-44.
- [6] 王秀丽, 徐建民, 姚槐应, 等. 重金属铜、锌、镉、铅复合污染对土壤环境微生物群落的影响[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 22-27.
- [7] 吴建军, 蒋艳梅, 吴愉萍. 重金属复合污染对水稻土微生物生物量和群落结构的影响[J]. 土壤学报, 2008, 45(6): 1102-1108.
- [8] 张涪平, 曹凑贵, 李苹, 等. 藏中矿区重金属污染土壤的微生物活性变化[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4452-4459.
- [9] 滕应, 黄昌勇, 龙健, 等. 铅锌银尾矿污染区土壤酶活性研究[J]. 中国环境科学, 2002(6): 72-76.
- [10] 杨志新, 刘树庆. 重金属Cd、Zn、Pb复合污染对土壤酶活性的影响[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 60-63.
- [11] WANG Y P, SHI J Y, WANG H. The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter[J]. Environmental Safe, 2007, 67: 75-81.
- [12] 韩桂琪, 王彬, 徐卫红. 重金属Cd、Zn、Cu、Pb复合污染对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 238-242.
- [13] 胡斌, 王丹, 王松山, 等. 铜、硒复合污染对小白菜生长及金属吸收和转运的影响[J]. 环境科学学报, 31(9): 2033-2041.
- [14] 李勇, 黄占斌, 王文萍. 重金属铅镉对玉米生长及土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2241-2245.

甘肃省尾菜资源化利用模式探析

谢计平¹, 郑智韬¹, 王立光²

(1. 甘肃省生态环境科学设计研究院, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 阐述了尾菜的来源、尾菜对生态环境的危害及其资源化利用的意义, 重点对近年来甘肃省尾菜资源化利用现状及利用模式进行了总结, 提出了从提高认识, 加强监管; 加大尾菜处理利用技术的研发推广; 建立健全长效机制等方面进一步做好尾菜资源化利用工作的思路。

关键词: 甘肃省; 尾菜; 资源化利用; 模式

中图分类号: S63-33

文献标志码: A

文章编号: 1001-1463(2019)09-0077-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.09.017

尾菜是指新鲜蔬菜在采收、流通、出售等过程产生的根、茎、叶、果等废弃物以及随着季节性蔬菜价格波动造成无法运输销售的剩菜, 其产生量约占蔬菜产量的30%以上^[1]。受技术经济等条件制约, 这些尾菜大量堆积于农村田间地头、沟渠内、道路旁、农贸市场等地方, 没有得到充分的利用。尾菜腐烂变质后污染环境空气、地表水、地下水, 影响周围居民的身体健康, 也对蔬菜行业可持续发展构成一定威胁。尾菜污染问题引起了各方高度关注。甘肃省政府下发的《关于加强蔬菜废弃物处理利用工作的意见》已开始执行, 其中涵盖政策激励、市场化运行、长效管理等一整套机制, 为“尾菜”问题的解决提供更广阔的空间。榆中县等地开展了田间地头的集中清理, 在蔬菜集散地设立

处理场, 使“尾菜”污染得到了一定的缓解。有的地方谋划建立“尾菜”处理中心, 积极寻求利用生物技术将“尾菜”处理为动物饲料、有机肥料的有效办法, 力求尽快“变废为宝”^[4]。因此, 做好尾菜资源化利用工作、防止生态环境污染, 已成为当前蔬菜产业可持续发展中亟待解决的新问题。

1 尾菜资源化利用现状

近年来, 甘肃省立足区域资源优势, 着力培育“高原夏菜”产业, 蔬菜种植规模逐年扩大, 产量稳步增长。《2018年甘肃省国民经济和社会发展统计公报》显示, 甘肃省全年蔬菜产量1292.6万t, 比上年增产6.6%。按照“减量化、资源化、再利用”的循环经济理念, 甘肃省尾菜处理利用工作从无到有不断推进, 尾菜处理利用率逐年提

收稿日期: 2019-05-06

作者简介: 谢计平 (1984—), 女, 河南滑县人, 工程师, 硕士, 主要从事环境咨询、环境科研等相关工作。联系电话: (0)18919858839。

[15] 贾贵科, 刘天生. 重金属 Pb、Cd 对玉米幼苗生长毒性效应研究[J]. 工业安全与环保, 2011, 37(4): 50-51.

[16] 周启星, 吴燕玉, 熊先哲. 重金属 Cd-Zn 对水稻的复合污染和生态效应[J]. 应用生态学报, 1994, 5(4): 438-441.

[17] 孟庆俊, 袁训珂, 冯启言, 等. 重金属复合

污染对小麦幼苗生长的毒性效应[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1): 122-124.

[18] 铁柏清, 孙健, 钱湛, 等. 重金属复合污染对灯心草的生态毒性效应及重金属积累特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 629-636.

(本文责编: 郑立龙)