

# 重金属 Cd 对蔬菜根际土壤微生物群落的影响

梁 伊, 施 宠, 李 萍, 李 阳, 王 文 全

(新疆农业大学 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘 要:**以盆栽小白菜、萝卜和辣椒为试材,对其根际土壤采用磷脂脂肪酸(PLFA)含量分析、土壤理化性质分析方法,分为清水与清水+镉(Cd)2种处理,研究了不同处理对蔬菜根际土壤微生物群落的影响。结果表明:1)清水+Cd处理的蔬菜根际土壤微生物的含量均无显著差异,但萝卜根际土壤的微生物含量与小白菜和辣椒相比较低。2)主成分分析表明,用清水+Cd灌溉处理蔬菜,对萝卜根际土壤微生物群落结构影响最大。3)不同灌溉方式处理下的蔬菜根际土壤微生物类群中 PLFA 的含量均表现为革兰氏阳性菌( $G^+$ )>革兰氏阴性菌( $G^-$ )>放线菌>真菌;与清水对照相比,用含 Cd 的溶液灌溉蔬菜,其 PLFA 值均无显著差异。4)用不同灌溉方式浇灌蔬菜,在蔬菜收获期对土壤理化性质进行分析表明,清水+Cd 处理对小白菜吸收土壤中的全氮及萝卜和辣椒吸收土壤中的硝酸盐氮的影响较大。

**关键词:**土壤;Cd;磷脂脂肪酸(PLFA);根际土壤微生物

**中图分类号:**S 154.34 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)20-0129-07

近年来,重金属镉(Cd)作为最常见的环境污染物之一,其对农产品安全的影响和在土壤中的积累已成为社会共同关注环境可持续发展的重大问题<sup>[1]</sup>。重金属生物有效性一般是指能被该土地上生存的生物(通常为植物)所吸收的部分重金属<sup>[2]</sup>。植物吸收土壤中的重金属可分为4个阶段:重金属离子进入土壤溶液;重金属离子或可溶性金属络合物向根表迁移;金属或可溶性金属络合物被根系吸收;金属离子或金属络合物从根系向地上部分转运。其中,前2个过程受到土壤理化性质及生物(微生物和植物等)因素的影响,随后2个阶段主要与植物种类和重金属特性有关<sup>[3]</sup>。

土壤微生物是维持土壤生物活性的重要组

分,它参与土壤中的能量流动、营养循环和有机物转化,土壤微生物对养分和干扰反应敏感,其群落结构和多样性可以较早期地反映出土壤环境质量的变化过程,并且越来越受到科学家的重视<sup>[4]</sup>。目前,磷脂脂肪酸(PLFA)分析被广泛应用于土壤微生物多样性研究<sup>[5]</sup>。PLFA 检测方法是基于脂肪酸可作为生物标记物而发展起来的分析技术,通过分析微生物细胞膜上磷脂脂肪酸的组分来鉴定微生物的种属,分析微生物多样性。PLFA 是活体微生物细胞膜的重要组分,不同类群的微生物可通过不同的生化途径合成不同的 PLFA,其周转速率极快且随细胞的死亡而迅速降解,它对环境因素敏感,因而可以通过分析磷脂脂肪酸的种类及组成比例来评价微生物的多样性<sup>[6-7]</sup>。

蔬菜生长过程对土壤结构、微生物区系及代谢活性具有很强的调节能力,且不同蔬菜差异很大<sup>[8]</sup>。近年来,关于重金属 Cd 对不同蔬菜品质以及土壤理化性质的影响研究较多,但结合 PLFA 技术,研究重金属 Cd 对不同蔬菜土壤微生物群落结构及多样性的影响则较少。该研究采用盆栽种植小白菜、萝卜和辣椒,以土壤-蔬菜-Cd-微生

**第一作者简介:**梁伊(1990-),女,硕士研究生,研究方向为环境监测与评价。E-mail:515073284@qq.com.

**责任作者:**王文全(1968-),女,硕士,教授,硕士生导师,现主要从事环境污染控制与修复方面等研究工作。E-mail:wwq6804@163.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(21267022)。

**收稿日期:**2017-05-16

物相互作用、相互影响的体系为研究对象,探讨Cd处理后土壤中较敏感的生物学指标,以期对蔬菜-土壤-微生物这一农业生态系统的综合评价提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试萝卜品种为“501水萝卜”,小白菜品种为“四季嫩爽小白菜”,辣椒品种为“茄门甜椒”。

盆栽试验用土购于乌鲁木齐市沙依巴克区明珠花卉市场,土壤类型为黑钙土。其基本理化性质见表1。

灌溉对照用水取自新疆农业大学实验网室的自来水。对照水 pH 6.88,悬浮物  $21.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,CODcr  $51.84 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水溶态钾  $1.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。总氮  $5.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,总磷  $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,总盐  $54.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水中氨氮  $0.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,硝态氮  $0.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 1

土样本底基本理化性质

Table 1

Basic physical and chemical properties of soil samples

品种	处理	土样	pH	硝酸盐氮	有机质	碱解氮	速效磷	全氮	全磷
Varieties	Treatment	Soil samples		Nitrate nitrogen	Organic	Available nitrogen	Available p	Total N	Total P
				$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(mg \cdot kg^{-1})$	$/(mg \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot kg^{-1})$
小白菜 Cabbage	清水(CK)	本土	7.37	0.27	128.05	55.65	16.86	1.61	0.64
		样土	7.04	0.02	116.90	42.54	12.99	1.79	0.14
	清水+Cd	本土	7.40	0.32	193.10	65.22	18.69	2.31	0.47
		样土	6.97	0.02	83.45	39.08	12.38	4.27	0.04
萝卜 Radish	清水(CK)	本土	7.38	0.22	174.51	43.42	17.37	3.10	0.69
		样土	6.96	0.08	102.03	44.92	15.03	2.26	0.22
	清水+Cd	本土	7.38	0.27	232.12	46.78	17.78	2.98	0.70
		样土	6.99	0.03	83.45	44.57	13.40	2.15	0.11
辣椒 Pepper	清水(CK)	本土	7.44	0.33	226.55	42.47	16.76	3.95	0.23
		样土	7.33	0.06	74.15	58.10	11.77	1.37	2.41
	清水+Cd	本土	7.05	0.40	198.67	59.27	17.06	3.65	0.22
		样土	7.31	0.08	62.07	58.45	11.56	1.28	2.14

### 1.2 试验方法

盆栽试验设置在新疆农业大学网室蔬菜大棚,试验全程防雨水。花盆内径 32 cm,高 24 cm;每盆装土 8 kg。2015 年 6 月 8 日播种萝卜和小白菜,辣椒于 5 月 6 日育苗,6 月 8 日移苗。播种后用清水即自来水浇灌,苗出齐后进行间苗,小白菜每盆留苗 4 株;萝卜每盆留苗 3 株;辣椒每盆留苗 2 株。2015 年 7 月 28 日起用处理溶液进行浇灌,以灌溉清水为对照,每 3 d 灌溉 1 次,每次每盆均匀灌水 1 kg。试验设置 2 种处理:清水组、清水+Cd 组(设置  $\text{Cd}^{2+} = 0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,用  $\text{CdCl}_2$  配置)。每个处理重复 3 次。小白菜和萝卜处理 9 次后于 8 月 25 日收获,辣椒处理 19 次后于 10 月 5 日收获。

收获时,将萝卜、小白菜、辣椒整株小心取出;以整盆土作为根际土壤。将每盆土倒出,混匀,清除土壤中的残余根系,过 2 mm 筛后,分成 2 份,

一份-20℃冷藏,用于 PLFA 分析;另一份自然晾干,用研钵研细后,用于土壤理化性质的分析。

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 根际土壤微生物磷脂脂肪酸(PLFAs)含量测定

磷脂脂肪酸(PLFA)测定主要参照周勇等<sup>[9]</sup>的方法。土样采用于-20℃保存的土样,常温下放置解冻 30 min,称取土壤鲜样 2 g,放入离心管中,用氯仿-甲醇-磷酸缓冲液以 1:2:0.8 体积比震荡提取脂类,通过活性硅胶柱分离得到磷脂脂肪酸,样品用 200  $\mu\text{L}$  正己烷溶解,以 19:0 甲酯作为内标物,采用 MIDI 软件系统在气相色谱仪(Agilent 6890N)上进行分析,测定磷脂脂肪酸各组分的含量。磷脂脂肪酸含量计算公式为:  $\text{PLFA in soil} (\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ soil}) = R \times RF \times 5 \mu\text{L} \times 200 \mu\text{L} / (R \times RF)_{\text{内标}} \times 312.54 \times 8$ 。式中,  $R$  和  $RF$  分别是标准物质的峰值面积和响应系数。

312.54 为内标物的分子量,8 为土壤上样量。

采用 BOSSIO 等<sup>[10]</sup>的方法进行脂肪酸的系统命名。以总碳原子数、双键数和双键距离分子末端位置命名。磷脂脂肪酸分子式格式一般为 (10 Me/cy) X:Y $\omega$ Z(c/t),其中 X 代表碳原子的数目,Y 代表分子中双键的数目,Z 指第一个双键

距磷脂脂肪酸分子甲基( $\omega$ )的位置。10 Me 表示在距离分子末端第 10 个碳原子上的一個甲基,后缀‘c’或‘t’指分子的顺反结构。cy 代表分子中具有环丙基结构<sup>[11]</sup>。不同微生物相对应的磷脂脂肪酸标记见表 2。

表 2 表征土壤微生物的 PLFA  
Table 2 PLFA of characterization of soil microbial

名称 Name	定义 Definition	文献 Literature
革兰氏阳性菌 G <sup>+</sup> Gram-positive bacteria	i13:0,i14:0,i15:0,i15:1 $\omega$ 9c,i16:0,a16:0,i17:0,i18:0,a13:0,a15:0,a19:0	[11]
革兰氏阴性菌 G <sup>-</sup> Gram-negative bacteria	12:02OH,14:1 $\omega$ 5c,15:1 $\omega$ 6c,16:1 $\omega$ 7c,17:1 $\omega$ 8c,18:1 $\omega$ 5c,18:1 $\omega$ 7c,18:1 $\omega$ 9c,20:1 $\omega$ 9c,i17:0 3OH	[12]
真菌 Fungi	18:1 $\omega$ 9,18:2 $\omega$ 6,9c,18:3 w6c(6,9,12)	[14]
放线菌 Actinomycetes	10me16:0,10me17:0,10me18:0	[15]

1.3.2 土壤理化性质的测定

土壤全氮含量采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮法测定;土壤含水率采用烘干法测定;土壤 pH 采用电位法测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-氧化外加热法测定;速效氮含量采用碱解扩散法测定,速效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰分光光度法测定;土壤硝酸盐氮含量采用酚二磺酸比色法测定;土壤 Cd 含量采用石墨炉-原子吸收分光光度法测定<sup>[12]</sup>。

1.4 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件共同完成,将各种脂肪酸的含量进行对数转换化后进行主成分分析(PCA),采用 Origin 7.5 软件完成作图。

2 结果与分析

2.1 灌溉水中的 Cd 对蔬菜根际土壤微生物生物量及各微生物类群含量的影响

由表 3 可知,不同蔬菜不同灌溉处理根际土壤微生物类群 PLFA 含量都表现为 G<sup>+</sup>>G<sup>-</sup>>放线菌>真菌。与清水对照相比,3 种蔬菜的清水+Cd 处理与清水对照相比 PLFA 值均无显著差异(P>0.05)。

对于不同蔬菜之间,清水对照处理中,小白菜 PLFA 总量比辣椒高出 6.7%,比萝卜高出 18.3%。清水+Cd 处理中,小白菜 PLFA 总量比辣椒高出 1.6%,比萝卜高出 33.5%。总 PLFA 值、革兰氏阳性菌 G<sup>+</sup>、真菌含量均表现为小白菜>辣椒>萝卜。

表 3 土壤中特征磷脂脂肪酸含量

Table 3		Content of characteristic phospholipid fatty acids in soil					nmol · g <sup>-1</sup>
品种 Varieties	处理 Treatment	总磷脂脂肪酸 Total PLFA	革兰氏阳性菌 G <sup>+</sup>	革兰氏阴性菌 G <sup>-</sup>	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	真菌/放线菌 Fungi/Bacteria
小白菜	清水+Cd	33.38±0.89b	6.47±0.11b	4.24±0.16ab	0.19±0.06c	3.45±0.17ab	0.018±0.000a
Cabbage	清水(CK)	34.53±0.70b	6.41±0.30b	4.19±0.31ab	0.19±0.02c	3.24±0.27a	0.017±0.001a
萝卜	清水+Cd	25.00±3.54a	4.69±0.70a	3.64±0.53a	0.12±0.02a	2.97±0.45a	0.014±0.001ba
Radish	清水(CK)	29.20±6.35ab	5.47±1.26ab	4.45±0.96ab	0.15±0.31ab	3.62±0.86ab	0.015±0.001b
辣椒	清水+Cd	32.84±2.69b	6.11±0.93b	5.11±0.31b	0.16±0.06bc	4.29±0.24b	0.015±0.000b
Pepper	清水(CK)	32.39±4.30b	6.06±0.42b	4.89±0.39b	0.16±0.01bc	4.18±0.29b	0.014±0.001b

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences (P<0.05). The same below.

## 2.2 灌溉水中的 Cd 对蔬菜根际土壤微生物群落结构的影响

土壤微生物磷脂脂肪酸组成均含有各种饱和的、不饱和的、分支的及环状的脂肪酸单体,其质量分数见图 1。在该试验中共检测到 63 种单体成分。检测到的脂肪酸单体中清水+Cd 灌溉和清水灌溉差异不显著。小白菜清水+Cd 含 54 种,小白菜清水含 50 种,萝卜清水+Cd 含 52 种,萝卜清水含 51 种,辣椒清水+Cd 含 49 种,辣椒清水含 50 种单体,含量大于 1 的脂肪酸单体依次为:i15:0、a15:0、16:0 N alcohol、16:1 w7c、16:1 w5c、16:0、10me16:0、i17:1 w5c、cy17:0、18:1

w9c、18:1 w7c、cy19:0,用含 Cd 的溶液灌溉小白菜、萝卜,单体含量小于清水对照但无显著差异,而含 Cd 的溶液灌溉辣椒,以上单体含量大于清水对照。

不饱和脂肪酸 i15:0、a15:0,单烯类脂肪酸 17:1 anteiso w9c 以及羟基脂肪酸 16:0 2OH、16:1 2OH、i16:0 3OH 受 Cd 影响较大,用含 Cd 的溶液灌溉萝卜,以上单体含量均小于清水对照,这一结果在土壤特征磷脂脂肪酸的含量分析中也有体现。值得一提的是单烯类脂肪酸 i17:1 w5c 只出现在小白菜土壤中,萝卜和辣椒土壤中均未出现。

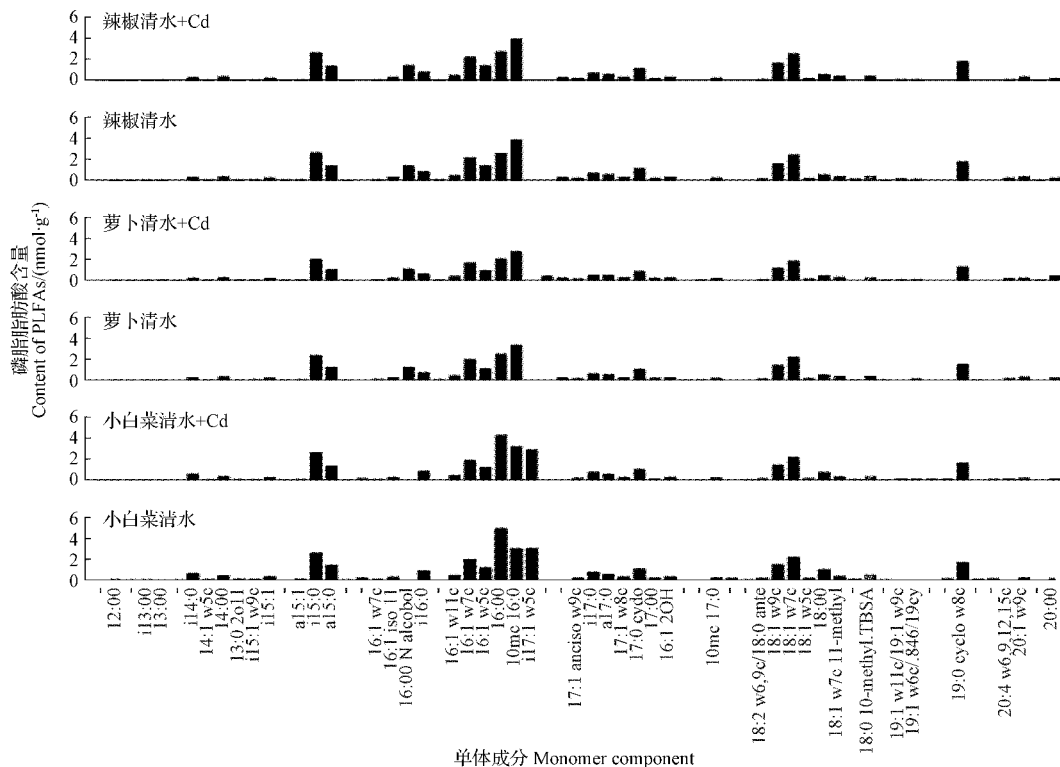


图 1 3 种蔬菜根际土壤微生物磷脂脂肪酸组成

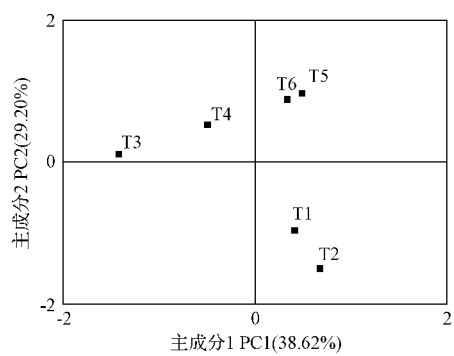
Fig. 1 Three-vegetables rhizosphere soil microbial phospholipid fatty acid composition

对不同灌溉处理,不同种蔬菜根际土壤 PL-FA 主成分分析见图 2。对土壤中磷脂脂肪酸进行主成分分析,前 2 个主成分(PC1、PC2)解释了微生物群落结构总变异的 67.82%,第一主成分贡献值为 38.62%,第二主成分贡献值为 29.20%。X 轴和 Y 轴将不同的蔬菜区分出来,证明不同蔬菜之间微生物群落结构差异大,且用含 Cd 溶液灌溉处理对蔬菜根际土壤微生物群落

结构有一定影响,影响程度表现为萝卜>小白菜>辣椒。

## 2.3 含重金属 Cd 的处理对不同蔬菜土壤理化性质的影响

从表 4 可得出,在蔬菜收获时期同种蔬菜不同灌溉处理下的土壤理化性质各项指标的差异性。其中,不同灌溉处理下小白菜的全氮含量有显著差异( $P<0.05$ );不同灌溉处理下萝卜和辣



注: T1. 小白菜清水+Cd; T2. 小白菜清水(CK); T3. 萝卜清水+Cd; T4. 萝卜清水(CK); T5. 辣椒清水+Cd; T6. 辣椒清水(CK)。  
Note: T1, Cabbage water + Cd; T2, Cabbage water (CK); T3, Radish water + Cd; T4, Radish water (CK); T5, Pepper water + Cd; T6, Pepper water(CK).

图 2 不同灌溉处理不同蔬菜土壤 PLFA 主成分分析  
Fig. 2 Principal component analysis of PLFA in different vegetable soils with different irrigation treatments

表 4 蔬菜收获期土壤理化性质  
Table 4 Soil physical and chemical properties at vegetation harvest time

品种	处理	有机质	pH	碱解氮	硝酸盐氮	全氮	全磷	速效磷
Varieties	Treatment	Organic /(g · kg <sup>-1</sup> )		Available nitrogen /(mg · kg <sup>-1</sup> )	Nitrate nitrogen /(g · kg <sup>-1</sup> )	Total N/%	Total P/%	Available P /(mg · kg <sup>-1</sup> )
小白菜	清水+Cd	83.45±12.88a	7.01±0.09a	39.08±5.66a	0.02±0.004ab	4.27±0.14b	0.36±0.02a	0.12±0.01ab
Cabbage	清水(CK)	116.90±88.57a	7.04±0.03a	42.54±7.98a	0.02±0.002a	1.79±0.39d	0.46±0.14a	0.13±0.02ab
萝卜	清水+Cd	83.45±8.52a	6.99±0.06a	44.57±5.58a	0.03±0.002b	2.15±0.15c	0.43±0.03a	0.13±0.02ab
Radish	清水(CK)	102.03±5.58a	7.06±0.19a	44.92±3.74a	0.08±0.003d	2.26±0.16c	0.54±0.04a	0.15±0.02b
辣椒	清水+Cd	62.07±1.61a	7.36±0.09b	58.45±3.21b	0.08±0.007d	1.28±0.04a	2.46±0.46b	0.12±0.01a
Pepper	清水(CK)	74.15±58.74a	7.33±0.05b	58.10±1.53b	0.06±0.03c	1.37±0.07a	2.73±0.54b	0.12±0.01a

作用,土壤细菌、真菌和放线菌是土壤三大类微生物,可以反映土壤微生物总量,在土壤有机质和无机质的转化中起着巨大作用<sup>[14-15]</sup>。许炼烽等<sup>[16]</sup>研究显示,土壤微生物总量随着 Cd 溶液浓度的升高而下降,有较好的规律性。该研究发现,用含 Cd 的溶液灌溉,萝卜根际土壤微生物 PLFA 总量和单体数量均有不同程度的下降,而对小白菜和辣椒影响不大,主成分分析结果也显示,含重金属 Cd 的溶液灌溉,对萝卜根际土壤微生物群落结构影响最大,其次是小白菜和辣椒。该研究中 Cd 能抑制萝卜根际土壤微生物的活性,对小白菜和辣椒根际土壤微生物类群影响较小。

同种灌溉方式下的萝卜与小白菜和辣椒相

椒的硝酸盐氮含量有显著差异( $P<0.05$ )。其它土壤理化指标均无显著差异( $P>0.05$ )。证明用含 Cd 的溶液灌溉蔬菜,对萝卜和辣椒根际土壤中硝酸盐氮的含量以及小白菜根际土壤中全氮的含量影响较大。

不同蔬菜之间收获时土壤碱解氮含量依次为辣椒>萝卜>小白菜,这与小白菜在收获期对碱解氮含量的吸收较大有关<sup>[13]</sup>。在全氮含量方面,小白菜与萝卜、辣椒的含量均差异显著( $P<0.05$ );表现为小白菜>萝卜>辣椒,在全磷含量方面,辣椒的含量均高于小白菜和萝卜;硝酸盐氮含量,辣椒和萝卜的含量相当且均大于小白菜。

### 3 结论与讨论

土壤微生物具有降解、转化环境污染物的能力,是土壤肥力和土壤营养元素转化的原动力,对重金属及其化合物的污染敏感,具有较好的指示

比,土壤中微生物种群含量均偏低,说明萝卜根部可能分泌某种刺激性物质有抑制微生物生长的功能<sup>[17]</sup>。陆文龙<sup>[18]</sup>研究证明,外源 Cd 的添加对土壤生物活性有阻抑作用,但在某些条件下 Cd 对不同土壤生物活性不但具有抑制作用,还具有促进作用。该研究发现用含 Cd 的溶液灌溉,对白菜和萝卜土壤微生物总量有抑制作用,但并没有使微生物致死,如 a15:0、16:1 w7c、16:1 w5c、16:0、17:1 w8c、18:00、cy19:0、20:1 w9c。对辣椒根际土壤微生物部分单体含量有不同程度的促进作用,微生物单体总含量略大于清水对照,单体的种类差异不大。不同灌溉方式处理下的蔬菜根际土壤微生物类群中 PLFA 的含量均表现为

$G^+ > G^- > \text{放线菌} > \text{真菌}$ 。与清水对照相比,用含Cd的溶液灌溉3种蔬菜,PLFA的值均无显著差异。

该研究发现,Cd能够促进小白菜对土壤中有有机质含量的吸收、抑制了小白菜对土壤中全氮含量的吸收。在硝态氮含量中,Cd对萝卜和辣椒有显著影响,分别表现为促进萝卜、抑制辣椒。碱解氮含量中,辣椒>萝卜>小白菜,但不同处理之间无显著差异( $P > 0.05$ ),说明小白菜在生长过程中所需碱解氮的量大于萝卜和辣椒。清水+ Cd处理对小白菜吸收土壤中的全氮、萝卜和辣椒吸收土壤中的硝酸盐氮的影响较大。在全磷含量方面,辣椒的含量均高于小白菜和萝卜的含量,证明辣椒生长对土壤中磷的所需量远远低于小白菜和萝卜。这可能是因为Cd影响某些土壤微生物群落结构,进而影响了某些植株对养分的吸收。

#### 参考文献

- [1] 韦璐阳,蓝唯,林鹰,等. 土壤重金属Cd在木薯中累积特征及产地环境安全临界值[J]. 南方农业学报, 2012, 43(3): 345-348.
- [2] REES F, GERMAIN C, STERCKEMAN T, et al. Plant growth and metal uptake by a non-hyperaccumulating species (*Lolium perenne*) and a Cd-Zn hyperaccumulator (*Nocca caerulea*) in contaminated soils amended with biochar[J]. Plant and Soil, 2015, 395(1): 57-73.
- [3] 高利娟,李吉进,孙钦平,等. 土壤重金属Cd毒害的评价方法[J]. 现代农业科技, 2011(22): 287-288.
- [4] 祁建军,姚槐应,李先恩. 磷脂脂肪酸法分析地黄土壤根际微生物多样性[J]. 土壤, 2008, 40(3): 448-454.
- [5] 刘波,胡桂萍,郑雪芳,等. 利用磷脂脂肪酸(PLFAs)生物标记法分析水稻根际土壤微生物多样性[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(3): 278-288.
- [6] 周丽霞,丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J]. 生物多样性, 2007, 15(2): 162-171.
- [7] BAGHAPOUR M A, NASSERI S, DJAHED B. Evaluation of Shiraz waste water treatment plant effluent quality for agricultural irrigation by Canadian Water Quality Index (CWQI)[J]. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2013, 10(1): 27.
- [8] RENELLA G, MENCH M, vander LELIE D, et al. Hydrolyase activity, microbial biomass and community structure in long-term Cd-contaminated soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36: 443-451.
- [9] 周勇,郑璐雨,朱敏杰. 内生真菌感染对禾草宿主生境土壤特性和微生物群落的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38(1): 54-61.
- [10] BOSSIO D A, SCOW K M. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns[J]. Microbial Ecology, 1998, 35(3-4): 265-278.
- [11] 毕明丽,宇万太,姜子绍,等. 利用PLFA方法研究不同土地利用方式对潮棕壤微生物群落结构的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1834-1842.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [13] 曾艳. 洞庭湖区菜园土壤肥力特征及蔬菜对养分的吸收规律[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- [14] WASEEM A, ARSHAD J, IQBAL F, et al. Pollution status of Pakistan: A retrospective review on heavy metal contamination of water, soil, and vegetables[J]. Biomed Research International, 2014(2): 813206-813206.
- [15] 褚海燕,李振. 高稀土元素镧对红壤微生物区系的影响[J]. 环境科学, 2000(6): 28-31.
- [16] 许炼烽,郝兴仁,刘腾辉,等. 重金属Cd和Pb对土壤生物活性影响的初步研究[J]. 热带亚热带土壤科学, 1995(4): 216-220.
- [17] 申屠佳丽,何振立,杨肖娥,等. 青菜-萝卜轮作条下镉对土壤微生物活性和磷脂脂肪酸特性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(5): 569-577.
- [18] 陆文龙. 重金属镉对土壤微生物活性影响的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.

## Effects of Heavy Metal Cd on Soil Microbial Community in Vegetable Rhizosphere Soil

LIANG Yi, SHI Chong, LI Ping, LI Yang, WANG Wenquan

(College of Grassland and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumchi, Xinjiang 830052)

**Abstract:** The phospholipid fatty acid content method and physical and chemical properties method, together with two kinds of treatment, clean water and clean water+ Cd, were employed to analyze the rhizosphere soil of the test potted cabbage, radish and pepper, the effects of different treatments on soil microbial community were studied. The results showed that there was no significant difference in the

doi:10.11937/bfyy.20170170

## 壳聚糖复合涂膜对中田大山楂的保鲜效果

何忠伟, 何彩梅, 吴桂容, 陈春岚, 秦瑞祥, 潘中田

(贺州学院 食品与生物工程学院, 广西 贺州 542899)

**摘要:**以中田大山楂为试材,采用9组不同配方的壳聚糖复合涂膜处理,将试材置于4℃、相对湿度为80%~90%的条件下贮藏,分别在2014年12月、2015年1月和3月测定山楂腐烂率、可溶性固形物含量、维生素C含量、原花色素含量、可滴定酸含量、游离氨基酸含量及多酚氧化酶活性,研究了不同配方壳聚糖复合涂膜对中田大山楂的保鲜效果。结果表明:在4℃贮藏条件下,壳聚糖复合涂膜处理可减少中田大山楂的腐烂率,延缓可溶性固形物、维生素C、原花色素、可滴定酸、游离氨基酸含量的下降,降低多酚氧化酶活性。其中,2%壳聚糖+1.5%CaCl<sub>2</sub>+1.0%甘油配方处理的保鲜效果最好。因此,壳聚糖复合涂膜处理有利于中田大山楂的保鲜。

**关键词:**壳聚糖;复合涂膜;中田大山楂;保鲜

**中图分类号:**S 661.509<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)20-0135-05

我国山楂(*Crataegus pinnatifida* Bge.)资源丰富,有南山楂和北山楂之分。其中,南山楂人

**第一作者简介:**何忠伟(1972-),男,硕士,讲师,现主要从事生物工程专业的教学与科研等工作。E-mail:hezi4635@126.com.

**责任作者:**潘中田(1964-),男,硕士,教授,现主要从事果树栽培的教学与科研等工作。

**基金项目:**2013年贺州市科学研究与技术开发资助项目(贺科转1304009);广西壮族自治区中青年教师基础能力提升资助项目(KY2016LX377)。

**收稿日期:**2017-04-26

工种植的面积较少,产量低,果小,石细胞多,单宁酸多,涩味重,果硬,因此不能直接食用。中田大山楂,是广西贺州学院潘中田教授用20年时间从南方野生山楂中选育出的可以直接鲜食的非常罕见的山楂新品种<sup>[1]</sup>。因其果实、叶片中含有的黄酮类化合物具有降压、降血脂、软化血管,增加冠状动脉流量、助消化等药理作用<sup>[2]</sup>,其开发利用已成为目前研究热点。

涂膜保鲜是根据仿生理论,通过浸渍、包裹以及涂布等方法将具有成膜性的物质覆盖在果蔬表面,风干后形成一种无色透明的保护膜,特别适用

content of three kinds of vegetables rhizosphere microbial on soil by water+Cd, but the content of radish rhizosphere microbial on soil less than cabbage and pepper. PCA showed that the treatment of three kinds of vegetables with water+Cd irrigation had the greatest effect on the microbial community structure of radish rhizosphere soil. The contents of PLFA in the rhizosphere microbial community on soil under different irrigation treatments were  $G^+ > G^- > \text{actinomycetes} > \text{fungi}$ . Compared with water treatment, there was no significant difference in the value of PLFA in three vegetables treated with water+Cd. Irrigation of vegetables with different irrigation methods, analysis of soil physical and chemical properties during the harvest of vegetables showed that have a greater impact of water+Cd treatment on the cabbage absorbs total nitrogen in the soil, radish and pepper absorb nitrate nitrogen in soil.

**Keywords:** soil; Cd; PLFA; rhizosphere soil microbes