

Study on the Cucumber Adaptability and Safety Evaluation of Cadmium Pollution

Jianhua Gong¹, Zhiwei Song¹, Helun Xue², Yawen Deng¹

¹Zhuzhou Academy of Agricultural Sciences, Zhuzhou Hunan

²Chengdu Zhengguang Investment Co., Ltd., Chengdu Sichuan

Email: gjh1267@126.com, 67600513@qq.com

Received: May 24th, 2018; accepted: Jun. 12th, 2018; published: Jun. 19th, 2018

Abstract

Cucumber is one of the main vegetables in the world. Zhuzhou area accounts for about 3.2% of the vegetable cultivation area. The response of cucumber to different levels of cadmium pollution and the adaptability of cadmium stress are mostly laboratory studies of artificially adding cadmium at the seedling stage, and there is little research based on the field production environment. Under the cadmium background of 0.78 mg/kg, 1.46 mg/kg, and 2.12 mg/kg soils in this experiment, 9 cucumber varieties including Jinyou 48, Shuyan Bailv and Jinyou 35 were used as materials. Randomized design was used to research the ability of cucumber to different levels of cadmium pollution, the effect of cadmium pollution on the growth and development and cadmium content in different parts. The cadmium safety of cucumber food was also studied. At the same time, with the three main varieties of Jinyou 35, Jinyou 48, and Baiye of green vegetables as materials, comparative design methods were used to study the effect of nanotechnology on the cadmium-reducing effect of cucumber fruits. At the same time, with the three main varieties of Jinyou 35, Jinyou 48, and Baiye of green vegetables as materials, the comparative design method was used to study the effect of nanotechnology on the cadmium reduction of cucumber fruits for the first time. The results showed that: 1) In the high cadmium soil background, the cadmium content of all cucumber fruit samples was lower than the national green food standard of 0.05 mg/kg, and the cucumber was normal in growth and development, indicating that cucumber has strong cadmium-resistance ability, and is a low-cadmium absorption of accumulated vegetable crops; its edible fruit has a high level of cadmium safety. 2) In the soil cadmium background values of 0.78 mg/kg, 1.46 mg/kg, 2.12 mg/kg, the average cadmium content of low-node cucumber fruits was 0.0133 mg/kg, 0.0271 mg/kg, and 0.0320 mg/kg, respectively. The content of cadmium in fruits increased with the increase of soil cadmium background value, and there was a very significant linear regression relationship between them ($P = 0.01$). The critical value of soil cadmium in different cucumber varieties was between 2.6593 - 4.3021 mg/kg, and the order of cadmium adaptability was: Jinyou 48 > Vegetable Research V > Vegetable Research Cuiyu > Jinyou 35 > Liuyang White Cucumber > Vegetable Research No. 10 > Vegetable Research Bailv > Xiangyuan No. 1; production should be based on the degree of contamination of the soil to select different varieties of cadmium adaptability. 3) Cadmium content in different cultivars was significantly different (0.77 mg/kg) ($P = 0.05$), but there was no significant difference among different cultivars at 1.46 mg/kg. At the same time, the soil cadmium background was 0.78 mg/kg. There was a significant negative correlation between the cadmium content in fruits of different cucumber cultivars and the increase of cadmium content in the cadmium background of 1.46 mg/kg soil ($P = 0.05$), indicating that the cadmium stress level increased with the increase of cadmium stress. Cucumber varieties that have a higher ability

to accumulate cadmium have a greater cadmium resistance or cadmium adaptability. 4) Under the condition of soil cadmium background 2.12 mg/kg, the lower cadmium content in the fruits (7 - 8th position) in the middle position of Jinyou 35, Jinyou 48, and Baiyan of vegetable research (Section 3 - 4) cucumber decreased by 62.95%, 44.7% and 41.07% respectively, and the difference was extremely significant ($P = 0.01$). This indicated that the ability of different varieties of cucumber to transfer or migrate cadmium from the rhizomes to the middle and upper parts of cucumbers was significantly different. The level of cadmium in the upper middle fruits was significantly higher than that in the lower part. 5) Nanotechnology (the first generation of cadmium reduction products) had a certain cadmium-reducing effect on cucumbers, but the cadmium reduction effect did not reach a significant level ($P = 0.05$). It can be seen that cucumber crops have strong adaptability to cadmium-contaminated soils. Cucumber fruits still have good safety when the soil cadmium content is 2.12 mg/kg. This study will adjust the structure of vegetable industry in heavy metal-contaminated soils and low cadmium varieties of cucumbers. Breeding and application provide new ideas and practical guidance.

Keywords

Cucumber, Cadmium Pollution, Nanotechnology, Safety Evaluation

黄瓜对镉污染的适应性及安全性评价研究

龚建华¹, 宋志伟¹, 薛合伦², 邓雅文¹

¹株洲市农业科学研究所, 湖南 株洲

²成都正光投资集团有限公司, 四川 成都

Email: gjh1267@126.com, 67600513@qq.com

收稿日期: 2018年5月24日; 录用日期: 2018年6月12日; 发布日期: 2018年6月19日

摘要

黄瓜对不同镉污染水平的响应与镉胁迫的适应性, 以苗期人工添加镉的实验室研究居多, 基于大田生产环境的研究甚少。本试验在0.78 mg/kg、1.46 mg/kg、2.12 mg/kg三种大田土壤镉背景下, 以津优48号、蔬研白绿、津优35号等9个黄瓜品种为材料, 采用随机区组设计, 初步研究了黄瓜在大田生产环境下对不同镉污染水平的响应能力, 以及镉污染对黄瓜生长发育及不同部位果实镉含量的影响, 并对黄瓜食品的镉安全性进行了初步评价。同时, 以津优35号、津优48号、蔬研白绿三个主栽品种为材料, 采用对比设计方法, 研究了纳米技术对黄瓜果实的降镉效果。结果表明: 1) 在高镉土壤背景下, 所有黄瓜果实检测样本的镉含量均低于0.05 mg/kg的国家绿色食品标准, 且黄瓜生长发育正常, 说明黄瓜具有很强的抗镉污染能力, 属低镉吸收积累蔬菜作物, 其食用果实具有很高的镉安全水平。2) 在土壤镉背景值0.78 mg/kg、1.46 mg/kg、2.12 mg/kg时, 低节位黄瓜果实平均镉含量分别为0.0133 mg/kg、0.0271 mg/kg、0.0320 mg/kg, 黄瓜果实镉含量随着土壤镉背景值的提高而增加, 且二者间存在极显著的直线回归关系($P = 0.01$)。不同黄瓜品种适应的土壤镉临界值在2.6593~4.3021 mg/kg之间, 对镉适应能力排序为: 津优48号 > 蔬研五号 > 蔬研翠玉 > 津优35号 > 浏阳白黄瓜 > 蔬研十号 > 蔬研白绿 > 湘园一号, 生产上应根据土壤的污染程度选择不同镉适应能力的品种。3) 在土壤镉背景0.78 mg/kg时不同品种间果实镉含量差异显著($P = 0.05$), 而1.46 mg/kg时不同品种间无显著差异; 同时, 在土壤镉背景0.78 mg/kg时不同黄瓜品种果实镉含量与1.46 mg/kg土壤镉背景下果实镉含量增加值之间存在显著的负相关关系($P = 0.05$), 说明随着镉胁迫水平的提高, 吸收积累镉能力较强的黄瓜品种产生了较大的镉抗拒能力或镉适应能力。4) 在土壤镉背景2.12 mg/kg条件下, 津优35号、津优48号、蔬研白绿的中部

节位(第7~8节位)果实镉含量较低节位(第3~4节位)黄瓜分别降低了62.95%、44.7%和41.07%，差异达极显著水平($P = 0.01$)，说明黄瓜不同品种由根茎向中上部果实转运或迁移镉的能力存在明显差异，黄瓜中上部果实的镉安全水平较下部果实显著提高。5) 纳米技术(第一代降镉产品)对黄瓜具有一定的降镉作用，但降镉效果未达到显著水平($P = 0.05$)。可见，黄瓜作物对镉污染土壤的适应能力较强，黄瓜果实在土壤镉含量 2.12 mg/kg 时仍具有很好的安全性，该研究将为重金属污染土壤的蔬菜产业结构调整、黄瓜低镉品种选育与应用提供新的思路和实践指导。

关键词

黄瓜，镉污染，纳米技术，安全性评价

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

镉是毒性最强的重金属元素之一。土壤中过量的镉会抑制植物的正常生长，在可食部分的残留还会通过食物链影响到人体的健康。联合国环境规划署将其列为12种具有全球性意义的危险化学物质中的第1位危险物质，由此可见镉污染在全球范围内的影响和重视(Gallego, S. M.等, 1996; Chaoui, A.等, 1997; Toppi, L. S.等, 1998; 张丽英等, 2003) [1] [2] [3] [4]。未经污染土壤中镉的含量为一般为 $0.01\sim 2.00 \text{ mg/kg}$ ，中值含量为 0.135 mg/kg (鲁如坤等, 1992) [5]，但土壤在熟化和农事活动过程中，通过大气沉降、农药和化肥等农业投入品的使用、污水灌溉、含重金属废弃物的堆积、以及金属矿山酸性废水污染等途径，镉污染的程度通常会渐渐加重。我国目前受镉污染的面积达 28 万 hm^2 ，年产镉超标农产品超过 150 万 t (张红振等, 2010) [6]。湖南是有色金属之乡，重金属污染面积较大，其中镉污染面积 2.8 万 hm^2 ，占全省总耕地面积的13%。因此，土壤重金属污染治理与结构调整工作任务艰巨。

为确保农产品镉安全，目前研究工作的重点主要集中在低镉积累作物的筛选和低镉品种的选育上，同时，复合改良剂等土壤调理剂，以及铁、硅制剂在降低农产品镉含量中得到广泛研究与应用，但在黄瓜上的研究报道较少。胡丽萍等(2016)研究表明[7]，在人工配置的不同污染程度($2, 4 \text{ mg/kg CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)的镉污染盆栽土壤中，施用复合改良剂($900\sim 1200 \text{ mg/kg}$)可明显提高黄瓜果实安全性和营养品质，在 2 mg/kg 和 4 mg/kg 镉处理土壤种植的黄瓜果实中镉含量分别降低了31.40%和24.35%。但其研究土壤为碱性($\text{pH} = 8.12$)，土壤镉含量为 0.15 mg/kg ，土壤中镉的增加是通过添加 2 mg/kg 和 4 mg/kg 的 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ，其镉形态为有效态，这与实际的大田土壤镉污染环境存在较大差异。万亚男等(2015)研究表明[8]，黄瓜根系吸收镉和锌的总量与吸收铁的总量表现出显著的负相关关系，随着铁供应浓度的升高，镉在根中的分配增加，供铁 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理根中分配系数上升43%，而茎、叶中分别下降59%和44%；与供铁相比，不供铁明显促进黄瓜根、茎、叶对镉的吸收，提高镉在黄瓜地上部的分配及由根向茎转运镉的能力。吴佳文和宫海军(2013)研究表明[9]，镉毒害造成番茄和黄瓜叶片变小、失绿，严重抑制植株的生长，硅处理能够缓解镉对植物造成的毒害症状并改善植物生长。冯建鹏(2009)研究表明[10]，黄瓜随着镉处理浓度的增加，其植株生长受到明显抑制，加硅处理明显缓解了镉对黄瓜植株生长的抑制。鉴于上述采用铁、硅制剂对黄瓜降镉效应的研究主要是采用水培或营养液栽培方式，试验环境能得到较好的控制，而在大田生产过程中，土壤生态环境要更为复杂，因此，研究成果与生产应用尚存在一定的距离。本研究应用

的纳米生态阻镉剂,是将与镉有竞争和拮抗作用的铁、硅等有益元素集成到纳米材料中,用作基肥,以期达到降镉的作用。

关于大田环境下黄瓜对镉污染的适应性和黄瓜食品镉安全性评价的研究,目前尚未见相关报道。本研究在大田镉污染土壤的三种镉背景(0.78 mg/kg、1.46 mg/kg、2.12 mg/kg)条件下,研究黄瓜镉吸收积累特性,以及纳米技术对黄瓜果实的降镉效果,并对黄瓜的镉安全性进行初步评价,以期为大面积安全生产提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

供试品种:津优 48 号、津优 35 号、蔬研翠玉、蔬研白绿、蔬研五号、湘园一号、蔬研四号、蔬研十号、浏阳白黄瓜等 9 个黄瓜品种。

纳米材料:由成都纳诺环保科技有限公司提供,为 2015 年研制的第一代纳米生态阻镉剂。

供试土壤:位于株洲县仙井乡晓岭村和株洲市芦淞区燎原村,选取 0.78 mg/kg、1.46 mg/kg 和 2.12 mg/kg 三种镉背景值土壤,试验面积各试验点均为 350 平方米左右。

2.2. 试验设计

试验在三个不同镉背景土壤条件下同时进行,随机区组设计,三次重复,每个试验点 27 个小区。采用大畦整土,大畦宽 2.7 m(包沟),小畦宽 1 m,采沟宽 0.3 m,排水沟宽 0.4 m。小区长 8 米,每小畦(区)栽两行,每行 16 株,共 32 株。于 2015 年 3 月 17 日播种,3 月 24 日营养钵排苗,4 月 19 日左右定植,采用地膜覆盖栽培。以基肥为主,667 m²施用土杂肥 500 kg、复合肥 80 kg,生产期间追施人粪尿 2 次,喷施磷酸二氢钾 1 次,其它田间管理同大田生产。

在土壤镉背景 2.12 mg/kg 的品比试验中(株洲市芦淞区燎原村),选取津优 48 号、蔬研白绿和津优 35 号三个主栽品种,增加纳米降镉处理试验。试验采用对比法设计,即同一小区一行施纳米生态阻镉剂,另一行不施。纳米材料用量标准为 40 kg/667m²,于定植前穴施。

2.3. 取样与检测

取样节位:不同土壤镉背景下的品种比较试验的取样,采用低节位(第 3~4 节位)黄瓜果实;纳米降镉处理试验的取样,除在低节位(第 3~4 节位)取样外,还取中部节位(第 7~8 节位)黄瓜果实。

取样时间:黄瓜果实达到商品成熟度时取样,第 3~4 节位黄瓜在 5 月 18 日左右,第 7~8 节位黄瓜在 5 月 26 日左右。

取样量:以小区为单位取样,取样量为 5~6 条黄瓜。

检测方法:GB/T 5009 15-2003,检测指标为镉。

2.4. 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 进行数据整理和方差分析,采用 Excel 的 TDIST 函数进行随机区组试验的多重比较(LSD),采用 *T*-test 进行黄瓜不同节位果实镉含量、纳米技术应用效果的显著性检验。

3. 结果与分析

3.1. 黄瓜对镉胁迫的响应及果实镉含量水平分析

试验表明,在土壤镉背景值 0.78 mg/kg、1.46 mg/kg、2.12 mg/kg 条件下,不同黄瓜品种低节位果实

镉含量变幅分别为 0.0071~0.0217 mg/kg、0.0164~0.0383 mg/kg、0.0200~0.0495 mg/kg，9 个参试黄瓜品种低节位果实的镉含量均低于 0.05 mg/kg 的国家标准。由表 1 可知，在土壤镉背景值 0.78 mg/kg、1.46 mg/kg、2.12 mg/kg 时，黄瓜低节位果实平均镉含量分别为 0.0133 mg/kg、0.0271 mg/kg、0.0320 mg/kg，表明黄瓜果实镉含量随着土壤镉背景值的提高而增加。进一步的相关与回归分析表明，土壤镉背景值与黄瓜果实镉含量平均值之间存在极显著的正相关关系($r = 0.9949^{**}$, $P = 0.01$)，但不同品种存在一定的差异，其中：津优 48 号、蔬研五号、浏阳白黄瓜、津优 35 号呈极显著正相关，蔬研翠玉、湘园一号、蔬研十号、蔬研白绿呈显著正相关，蔬研四号未达显著水平。根据直线回归方程，可以估算出黄瓜果实镉安全水平(镉含量 ≤ 0.05 mg/kg)下的土壤镉临界值，而达到显著相关水平的 8 个黄瓜品种的土壤镉临界值在 2.6593~4.3021 mg/kg 之间，黄瓜品种对镉适应能力排序为：津优 48 号 > 蔬研五号 > 蔬研翠玉 > 津优 35 号 > 浏阳白黄瓜 > 蔬研十号 > 蔬研白绿 > 湘园一号。本试验黄瓜果实镉含量最大值为 0.0495 mg/kg，是湘园一号品种在土壤镉背景 2.12 mg/kg 时出现的，如果镉水平继续提高到 2.6593 mg/kg 的土壤镉临界值，其低节位果实的镉含量可能会存在超标风险。因此，生产上应根据土壤的污染程度选择不同镉适应能力的品种，建议适应结构调整的土壤镉含量在 3 mg/kg 左右。

方差分析表明，在土壤镉背景 0.78 mg/kg 时不同品种间黄瓜果实镉含量差异显著($P = 0.05$)，而 1.46 mg/kg 时不同品种间无显著差异(土壤镉含量 2.12 mg/kg 时因 4 个小区缺少检测数据而未作方差分析)。采用 Excel 的 TDIST 函数计算的两尾概率值与显著水平 0.05 和 0.01 比较表明：在土壤镉背景 0.78 mg/kg 条件下，蔬研白绿与浏阳白黄瓜、津优 48 号，以及蔬研五号与浏阳白黄瓜间的果实镉含量差异极显著；蔬研白绿与蔬研四号、津优 35 号、蔬研十号，以及蔬研五号与津优 48 号品种间的差异达显著水平，其它品种间无显著差异(详见表 2)。进一步的相关分析表明，在土壤镉背景 0.78 mg/kg 时不同黄瓜品种果实镉含量与 1.46 mg/kg 土壤镉背景下果实镉含量增加值之间存在显著的负相关关系($r = -0.6803^*$, $P = 0.05$)，说明随着镉胁迫水平的提高，吸镉能力较强的黄瓜品种产生了较大的镉抗拒能力或镉适应能力。

3.2. 黄瓜不同节位果实镉含量差异分析

试验表明，在土壤镉背景 2.12 mg/kg 的条件下，津优 35 号、津优 48 号、蔬研白绿三个品种的第 7~8 节位黄瓜果实镉含量较第 3~4 节位分别降低了 62.95%、44.7%和 41.07%。T 检验表明，第 3~4 节位与第

Table 1. The average and safe level of cadmium content in cucumber fruits under different soil backgrounds (mg/kg)
表 1. 不同土壤背景下黄瓜果实镉含量平均值及安全水平土壤镉临界值分析表(mg/kg)

品种	土壤背景 1 (0.78 mg/kg)	土壤背景 2 (1.46 mg/kg)	土壤背景 3 (2.12 mg/kg)	直线回归方程	相关系数	土壤镉临界 估算
津优 48 号	0.0167	0.0218	0.0295	$y = 0.0096x + 0.0087$	0.9919 ^{**}	4.3021
蔬研翠玉	0.0127	0.0283	0.0318 ¹⁾	$y = 0.0143x + 0.0034$	0.9420 [*]	3.2587
湘园一号	0.0128	0.0342	0.0371	$y = 0.0182x + 0.0016$	0.9184 [*]	2.6593
蔬研四号	0.0149	0.0271	0.0247	$y = 0.0074x + 0.0115$	0.7644	5.2027
蔬研十号	0.0141	0.0298	0.0345	$y = 0.0153x + 0.004$	0.9573 [*]	3.0065
蔬研五号	0.0094	0.0225	0.0267 ¹⁾	$y = 0.013x + 0.0007$	0.9603 ^{**}	3.7923
蔬研白绿	0.0078	0.0296	0.0328	$y = 0.0187x - 0.0038$	0.9217 [*]	2.8770
浏阳白黄瓜	0.0176	0.0281	0.0363	$y = 0.0139x + 0.0071$	0.9980 ^{**}	3.0863
津优 35 号	0.0142	0.0226	0.0342	$y = 0.0149x + 0.002$	0.9949 ^{**}	3.2215
平均	0.0133	0.0271	0.0320	$y = 0.0139x + 0.0039$	0.9949 ^{**}	3.3165

1) 其中两个区组缺检测数据。^{*}表示显著相关($P = 0.05$)；^{**}表示极显著相关($P = 0.01$)。

Table 2. Two-tailed probability value and multiple comparison table (LSD method)
表 2. TDIST 函数两尾概率值与多重比较表(LSD 法)

品种	浏阳白 黄瓜	津优 48 号	蔬研四 号	津优 35 号	蔬研十 号	湘园一 号	蔬研翠 玉	蔬研五 号	蔬研白 绿
果实镉 含量	0.0176	0.0167	0.0149	0.0142	0.0141	0.0128	0.0127	0.0094	0.0078
蔬研白绿	0.0078	0.0021**	0.0045**	0.0182*	0.0300*	0.0323*	0.0835	0.0894	0.5742
蔬研五号	0.0094	0.0070**	0.0148*	0.0563	0.0894	0.0956	0.2216	0.2348	
蔬研翠玉	0.0127	0.0817	0.1540	0.4226	0.5742	0.5992	0.9706		
湘园一号	0.0128	0.0874	0.1639	0.4436	0.5992	0.6247			
蔬研十号	0.0141	0.2048	0.3512	0.7779	0.9706				
津优 35 号	0.0142	0.2173	0.3698	0.8062					
蔬研四号	0.0149	0.3160	0.5103						
津优 48 号	0.0167	0.7224							
浏阳白黄瓜	0.0176								

*表示显著相关(P = 0.05); **表示极显著相关(P = 0.01)。

7~8 节位黄瓜果实镉含量存在极显著差异(P = 0.01), 说明黄瓜中上部果实的镉安全水平较下部果实显著提高(详见表 3)。

3.3. 纳米生态阻镉剂对黄瓜果实的降镉效果

在土壤镉背景 2.12 mg/kg 的条件下, 黄瓜施用纳米生态阻镉剂 40 kg/667m², 较未施纳米生态阻镉剂相比, 津优 35 号、津优 48 号、蔬研白绿的第 7~8 节位果实镉含量分别降低了 15.55%、9.98%、13.61% (表 4)。T 检验表明, 纳米生态阻镉剂对黄瓜第 7~8 节位果实的降镉效果未达明显水平。

3.4. 高镉土壤环境对黄瓜生长发育的影响

湖南 4~6 月为梅雨季节, 本试验期间雨水充足, 日照率 50%左右, 属正常气候条件。土壤镉背景 2.12 mg/kg 属重污染水平, 在株洲近郊及部分区域占有一定的面积。相关研究表明, 镉毒害造成黄瓜叶片变小、失绿, 严重抑制黄瓜植株的生长(冯建鹏, 2009; 吴佳文和宫海军, 2013)。本试验在大田高镉背景土壤环境下进行, 但黄瓜生长发育正常, 从苗期到生长盛期, 从营养生长到生殖生长, 均未表现出明显的镉毒害症状(详见图 1)。

3.5. 黄瓜镉安全性评价

根据国家《土壤环境质量标准》GB 15618-1995, 土壤镉含量为 0.6~1.0 mg/kg 时属重度污染水平。湖南省将镉含量大于 1.0 mg/kg 的土壤列为结构调整农田区域。本试验选用了 0.78 mg/kg、1.46 mg/kg、2.12 mg/kg 三个递度的镉污染农田土壤, 并在自然生产条件下进行试验和取样检测, 方差分析中各重复间的 F 值非常小, 说明土壤中镉分布均匀, 因此, 其试验结果应该能够真实反映和评估黄瓜的抗镉污染能力和黄瓜果实的镉安全水平。试验结果表明, 低节位黄瓜果实的镉含量虽然明显高于中上部, 所有检测样品的最高镉含量为 0.0495 mg/kg, 仍低于 0.05 mg/kg 的中国绿色食品标准; 且黄瓜的生长发育正常。说明黄瓜具有低镉吸收积累特性和很强的抗镉污染能力, 其食用果实具有很高的镉安全水平, 可以作为结构调整中的主要蔬菜作物。

Table 3. The results and analysis of cadmium content in different node of cucumber

表 3. 黄瓜不同节位果实镉含量检测结果及分析表

品种	第 3~4 节位果实镉含量(mg/kg)				第 7~8 节位果实镉含量(mg/kg)				第 7~8 节位较第 3~4 节位黄瓜镉含量±%
	I	II	III	平均	I	II	III	平均	
津优 48 号	0.0339	0.0278	0.0269	0.0295	0.017	0.017	0.015	0.0163	-44.70
蔬研白绿	0.0249	0.031	0.0425	0.0328	0.020	0.021	0.017	0.0193	-41.07
津优 35 号	0.0371	0.0262	0.0393	0.0342	0.016	0.010	0.012	0.0127	-62.95
平均	0.0320	0.0283	0.0362	0.0322	0.0177	0.016	0.0147	0.0161	-49.94

Table 4. Effects of applying nano-eco-impedance cadmium on cucumber noses 7 - 8 (mg/kg)

表 4. 施用纳米生态阻镉剂对黄瓜第 7~8 节位果实镉含量的影响(mg/kg)

品种	施用纳米生态阻镉剂	未施用	施用纳米生态阻镉剂较未施用±%
津优 48 号	0.0147	0.0163	-9.98
蔬研白绿	0.0167	0.0193	-13.61
津优 35 号	0.0107	0.0127	-15.55
平均	0.0140	0.0161	



Figure 1. Growth of cucumber under the cadmium background of 2.12 mg/kg soil (left picture shows seedling and was taken in cloudy day; right picture shows result and was taken in sunny day)

图 1. 在 2.12 mg/kg 土壤镉背景下黄瓜大田生长发育情况(左图为苗期，阴天拍摄；右图为结果期，晴天拍摄)

4. 结果与分析

1) 黄瓜属于低镉吸收积累的蔬菜，对镉污染环境的自适应能力强。本试验在高镉土壤背景下进行，随着镉胁迫水平的提高，吸镉能力较强的黄瓜品种产生了较大的镉抗拒能力或镉适应能力。所有黄瓜检测样本镉含量均低于国家绿色食品标准，且中上部果实的镉安全水平大大高于下部果实，因此，其食用产品的镉安全水平很高。鉴于重工业城市近郊或矿区的重金属污染比较严重，结构调整面积较大，目前主要的调整作物是麻类、棉花、花卉苗木等非食用类经济作物，但因市场需求、种植效益、区域功能、以及种植习惯等原因，可以将黄瓜作为重度镉污染农田区域结构调整的主要作物，以解决近郊重污染区的蔬菜种植镉污染难题。

2) 黄瓜果实镉含量随着土壤镉背景值的增加而提高，说明黄瓜的安全生产对镉污染环境存在一定的适应范围。本研究表明，黄瓜在土壤镉含量 2 mg/kg 左右的镉污染土壤中生产，没有镉污染风险。根据估算的不同品种适应的土壤镉临界值，建议用于黄瓜种植的结构调整土壤镉含量在 3 mg/kg 左右，且生

产上需根据土壤的污染程度选择不同镉适应能力的品种，以确保黄瓜生产的镉安全。

3) 黄瓜不同品种由根茎向中上部果实转运或迁移镉的能力存在显著差异。因此，镉转运能力是低镉品种选育中的重要指标之一。

4) 纳米生态阻镉剂为新兴研发的纳米技术降镉产品，目前已开发出第七代产品，其对水稻及多种蔬菜作物均有明显的降镉作用(龚建华和薛合伦, 2017) [11]。本试验中应用的纳米生态阻镉剂为第一代产品，对黄瓜具有一定的降镉效果，但未达到显著水平，这可能与黄瓜的镉适应能力强、纳米生态阻镉剂的用量偏小、以及第一代产品的降镉能力有限等因素有关。

5) 本试验未发现镉胁迫条件下对黄瓜生长发育产生明显的危害作用，与相关研究结论存在差异(冯建鹏, 2009; 吴佳文和宫海军, 2013)。这可能与相关研究主要是研究黄瓜苗期，且大多采用水培或营养液栽培方式，有效态镉的浓度超高，短期吸收快，且试验环境易于控制等因素有关。

参考文献

- [1] Gallego, S.M., Benav, M.P. and Tomaro, M. (1996) Effect of Heavy Metalion Excess on Sunflower Leaves: Evidence for Involvement of Exidative Stree. *Plant Science*, **121**, 151-159.
- [2] Chaoui, A., Mazhoudi, S., Ghorbal, M. H., *et al.* (1997) Cadmium and Zinc Induction of Lipid Peroxidation and Effects on Antioxidant Enzyme Activities in Bean. *Plant Science*, **127**, 139-147.
- [3] Toppi, L.S., Lambardi, M., Pazzagli, L., Cappugi, G., Durante, M. and Gabbrielli, R. (1998) Response to Cadmium in Carrot *In Vitro* Plants and Cell Suspension Cultures. *Plant Science*, **137**, 119-129.
- [4] 张丽英, 白璐, 李德发, 等. 有毒有害微量元素镉及其对动物的危害[J]. 饲料工业, 2003, 24(8): 28-30.
- [5] 鲁如坤, 熊礼明, 时正元. 关于土壤 - 作物系统中镉的研究[J]. 土壤, 1992, 24(3): 129-132.
- [6] 张红振, 骆永明, 章海波, 等. 2010. 土壤环境质量指导值与标准研究——镉在土壤 - 作物系统中的富集规律与农产品质量安全[J]. 土壤学报, 47(4): 628-638.
- [7] 胡丽萍, 周国兴, 刘光敏, 王一茜, 何洪巨. 复合改良剂对镉污染土壤中黄瓜品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55 (18): 4711-4716.
- [8] 万亚男, 张燕, 余垚, 陈京生, 袁思莉, 李花粉. 铁营养状况对黄瓜幼苗吸收转运镉和锌的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 409-414.
- [9] 吴佳文, 宫海军. 硅对番茄和黄瓜镉的吸收、分配及抗氧化防御系统的影响[C]//中国园艺学会学术年会, 2013.
- [10] 冯建鹏. 硅对黄瓜幼苗镉、锰毒害的缓解效应研究[D]: [博士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [11] 龚建华, 薛合伦. 纳米技术在农业 Cd 治理及增产提质上的应用研究[J]. 农业科学, 2017, 7(3): 256-260.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org