

# 污泥混合基质栽培生菜重金属含量的影响因素研究

廖宗文 王卫红 江东荣 欧伟雄

(华南农业大学土化系, 广州 510642)

**摘要** 通过基质盆栽生菜试验研究污泥用量, 基质容量和采收期对生菜重金属 Zn、Ni 含量的影响。结果表明, 污泥用量与生菜重金属含量的关系因基质容量大小而变化。在小基质容量条件下, 污泥用量高者重金属含量低而产量高。生菜重金属含量随采收期不同而变化。本文讨论了上述结果的原因及其在生产、科研中的重要性。

**关键词** 污泥, Zn, Ni, 基质栽培, 生菜。

农用资源化是处理日益增多的排水污泥的有效途径<sup>[1]</sup>。污泥含的丰富有机质、氮磷钾及微量元素等作物养分, 是一种很好的肥源。但其中重金属含量也很高, 如何防止重金属在作物中过多积累, 是污泥农用的关键。

为防止农用污泥重金属在作物中过量积累, 很重要一条措施是控制污泥的重金属含量和施用量, 我国已制订污泥使用标准。pH 对重金属活性的影响是一个重要因素, 温度、氧化还原电位、土壤粘粒及有机质含量、外界离子等对重金属活性也有不同程度影响, 不同作物不同品种间吸收累积重金属的情况差异也很大<sup>[2]</sup>。Zn、Ni 是污泥中 2 种常见的超标重金属。本试验用含污泥基质盆栽生菜, 着重探讨生菜生长期、基质容量对重金属 Zn、Ni 含量的影响, 为防止蔬菜中重金属含量超标提供依据。

## 1 材料与方法

供试蔬菜是本地玻璃生菜 (*Lactuca sativa* L.)。所用基质配方为: ①污泥 10%, 滤泥 5%, 砂 20%, 蔗渣 65%; ②污泥 20%, 滤泥、砂比例不变, 蔗渣 55%。预备试验中已知 5%—20% 污泥处理, 均能比不加污泥增产。现设 20%、10% 2 个污泥百分比处理, 着重研究其对 Zn、Ni 2 种重金属含量影响。污泥取自广州大坦砂污水厂, 晒干打碎后使用, 其有机质含量为 31.4%, N 2.9%, K<sub>2</sub>O 1.8%, 有效 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 627mg/kg, Zn 5219mg/

kg, Ni 734mg/kg。2 种重金属分别为规定的控制标准值 GB284 的 10 倍和 7 倍。

为比较基质容量的影响, 设大盆和小盆处理, 基质容积分别为 2.1L 和 0.7L。大盆每盆施康肥 6g (其 3 要素比例为 10:2.5:6.0, 广州良田复肥厂生产的有机无机复肥), 小盆施肥 2g, 均作基肥一次混匀施完。

于 1991 年 10 月 19 日播种, 10 月 23 日陆续发芽出苗。小盆试验于 11 月 24 日一次全部收获, 生长期 32d。在大盆试验中, 设不同生长期处理, 分次收获, 以比较生长期对重金属含量影响。11 月 12 日对大盆各处理间苗, 生长期 20d。10% 污泥处理于 11 月 18 日、11 月 24 日、11 月 30 日分 3 次收获, 生长期分别为 26d、32d、38d; 20% 污泥处理于 11 月 24 日、11 月 30 日、12 月 6 日分 3 次收获, 生长期分别为 32d、38d、44d。这 4 次收获 (包括间苗) 的生菜均称重并分析重金属含量。

上述各处理, 包括不同污泥百分率、不同基质容量、不同收获期处理, 均重复 3 次, 每盆 2 棵菜。

生菜收获后烘干粉碎, 以 HNO<sub>3</sub>、HClO<sub>4</sub> 消煮, 污泥样本以王水、HClO<sub>4</sub>-HF 消煮, 消化液以原子吸收光谱分析 Zn, Ni<sup>[3]</sup>。

2 结果与讨论

果,及小盆试验 1 次收获的产量及重金属分析结果见表 1。

大盆试验 4 次收获的产量和重金属分析结果 2.1 污泥用量和基质容量对生菜产量的影响

表 1 各处理生菜产量及重金属含量

| 基质含量<br>(L/盆) | 污泥含量<br>(%) | 生长期<br>(d) | 鲜重<br>(g/盆) | Zn<br>(mg/kg,干物) | 相对值<br>(%) | Ni<br>(mg/kg,干物) | 相对值<br>(%) |
|---------------|-------------|------------|-------------|------------------|------------|------------------|------------|
| 2.1           | 10          | 20         | 3.6         | 107.5            | 100        | 3.75             | 100        |
|               |             | 26         | 18.0        | 94.4             | 87.8       | 0.45             | 12.0       |
|               |             | 32         | 48.4        | 120.5            | 112.1      | 0.85             | 27.7       |
|               |             | 38         | 83.6        | 77.5             | 72.1       | 0.16             | 4.3        |
|               | 20          | 20         | 1.6         | 142.3            | 100        | 3.75             | 100        |
|               |             | 32         | 27.0        | 301.5            | 211.9      | 1.85             | 49.3       |
|               |             | 38         | 41.4        | 90.8             | 63.8       | 0.19             | 5.0        |
|               |             | 44         | 80.4        | 70.0             | 49.2       | 0.18             | 4.8        |
| 0.7           | 10          | 32         | 14.9        | 279.5            | 173.4      | 1.75             | 205.9      |
|               | 20          | 32         | 32.9        | 161.2            | 100        | 0.85             | 100        |

在研究蔬菜重金属含量的影响因素时,往往需同时考虑其对产量的影响。由表 1 可知,大盆试验中,10%污泥处理产量最高。试验期间还观察到,该处理萌芽后一直生长较快,而 20%污泥处理前期明显落后于 10%处理,只是在萌芽 20d 后长势才有较大好转,但仍与 10%处理有较大差距,这与该处理的重金属含量过高有关。然而,在小盆试验中,情况却相反,20%处理的产量高于 10%处理。

污泥用量对产量的影响通常受到普遍注意,而本试验表明,基质容量也会影响产量,而且值得注意的是,基质容量还可左右污泥用量与产量的关系。换言之,某一污泥用量的增产或减产效果,会因基质容量不同而发生截然相反的变化。

2.2 影响生菜重金属含量的因素

表 1 还表明,生菜重金属含量不仅受污泥用量影响,而且受生长期长短和基质容量大小的影响。

2.2.1 生长期对重金属含量的影响

表 1 大盆试验列出了不同生长期生菜重金属含量,从中可看出,生长期长短对生菜重金属含量高低有影响,这种影响因重金属不同而异。10%污泥处理的 Zn,随生长期延长,Zn 含量

呈“高-低-最高-最低”的变化,变幅不大,与 G. L. Mullins 等人盆栽玉米中污泥处理植株地上部分吸收 Zn 情况类似<sup>[4]</sup>;Ni 随生长期延长,呈“最高-低-高-最低”的变化。两者区别在于最高含量,Zn 出现在中后期(32d),而 Ni 出现在早期(20d),且后期(38d)含量均明显较低,仅为最高值的 4.3%(图 1)。20%污泥处理有 4 个不同生长期的重金属分析数据显示,Zn 的最高含量也出现在第 32d,以后继续下降,38d 后变幅不大。

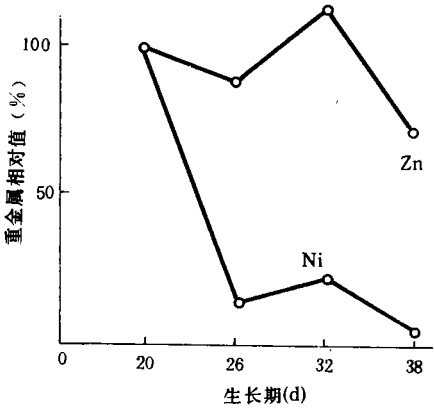


图 1 10%污泥处理生菜不同生长期重金属含量变化 Ni 含量呈下降趋势,38d 后降幅则趋于平稳为最高值的 4.8%(图 2)。这分别与 10%处理的 Zn、

Ni 含量的变化相似。Ni 含量在整个生长期均未超过正常水平<sup>[3]</sup>。值得注意的是,Zn 含量在某一生长期有一高峰(32d),污泥百分比高者峰值越高,随后明显下降,并趋于平稳,降至早期(20d) Zn 含量的 60%—70%左右(38d),若延至 44d 收获,可进一步下降至 49%。由此可知,适时采收可减少重金属在蔬菜中含量。在本试验条件下,38d 后收获,Zn、Ni 含量均较低。

上述变化的原因,可能与作物生长量增加对吸收的重金属产生稀释作用有关。这对矛盾因素在作物生长过程中的消长、变化,造成的相对强弱,使重金属含量随之变化。

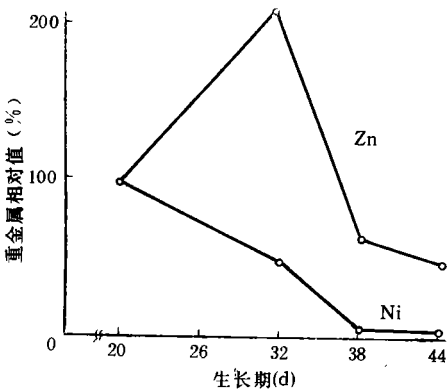


图 2 20%污泥处理生菜不同生长期重金属含量变化

2.2.2 基质容量对重金属的影响

由表 1 还可以看出,基质容量对生菜重金属有不可忽视的影响。

在 10%污泥处理条件下,小盆的生菜 Zn、Ni 含量均高于大盆生菜,高达 2 倍之多。然而,在 20%污泥处理条件下,情况截然相反,大盆生菜 Zn、Ni 含量又明显高于小盆生菜,也高达 2 倍左右。上面是在污泥百分比固定情况下比较基质容量大小对重金属含量的影响。此外,在小基质容量情况下,污泥百分比大小对重金属含量的影响也颇为特别。与大基质容量情况下的规律相反,小盆条件下 10%污泥处理生菜的 Zn、Ni 含量高于 20%污泥处理,分别高 73%和 106%。而通常情况下,污泥百分比高者作物的重金属含量也高,表 1 大盆试验的结果也是如此,但小盆条件下,则出现相反的结果。上述结果表明,基质容量

对蔬菜重金属含量影响不容忽视。

基质容量是通过影响生菜产量大小,进而影响重金属含量的高低。如表 2 所示。

表 2 基质容量、污泥百分率、重金属含量和生菜产量相互关系

| 比较内容         | 重金属含量 |          | 产量  |      |
|--------------|-------|----------|-----|------|
| 固定污泥百分率, 10% | 小盆    | >大盆      | 小盆  | <大盆  |
| 比较基质容量的影响    | 20%   | 小盆 <大盆   | 小盆  | >大盆  |
| 固定基质容量, 大盆   | 10%   | <20%     | 10% | >20% |
| 比较污泥百分率的影响   | 小盆    | 10% >20% | 10% | <20% |

由表 2 可知,各种不同的情况都有一共同的规律:产量高者重金属含量低,反之亦然。这显示产量高低引起的稀释效应差异影响生菜重金属含量。产量高低又受污泥百分比和基质容量的共同影响。污泥含丰富有机质及各种养分,可促进作物生长,而其中过高的重金属又对作物有抑制作用。污泥的促进-抑制作用,随着其施用百分率而发生消长变化,同时亦受基质容量影响。换言之,基质重金属总量取决于容量和污泥百分率这 2 个因素。当基质容量大时污泥百分比低者才能防止重金属总量过高造成对作物的抑制。若基质容量低到一定程度,污泥百分率虽高也不会导致重金属总量过高(例如基质容量接近零,污泥百分率接近 100%)。此时污泥百分率高者可提供更多养分给作物,作物生长量增加的稀释作用又进一步降低作物中的重金属含量。综上所述,可把这一机制示意如下:

基质容量  $\xrightarrow{\text{促进}}$  产量  $\xrightarrow{\text{稀释}}$  作物重金属含量  
污泥百分率

2.3 对污泥农用及研究工作的一些建议

本研究表明,蔬菜生长期、基质容量对作物重金属含量也有不可忽视的影响,在生产和科研中应予以充分重视。

由于生长期不同,作物重金属含量有成倍的差别。污泥用量高者其差别更明显(表 1)。在生产上,可选择重金属含量较低的时期采收。此时生菜也处于农艺适宜采收期,产量高而未出现生长停滞(表 1)。这对于一些已受某种程度污染的农田,不失是一种简单有效的农艺措施,若进行有关研究试验,应考虑到生长其不同时,重金属

含量的比较意义不大。需注意在生长期一致条件下比较。本试验还表明,Zn、Ni 在生菜中的含量随生长期变化有各自特点。Zn 起伏较大而 Ni 呈渐降趋势。进一步研究其他重金属含量随生长期变化的特点,有利于适时采收,防止重金属含量过高。

基质栽培和育苗在花卉、蔬菜(茄果类)、林木方面应用日益广泛,在确定合适污泥百分率时,应结合基质容量对作物产量和重金属含量的影响来考虑以获得更好的效果。

根据本试验的结果认为,通过对影响生菜重金属含量各因素的调控,可以安全地把污泥用于农业生产。供试的广州污水厂污泥的 Zn、Ni 含量严重超标,分别为 GB4284 标准的 10 倍和 7 倍。本试验显示 10% 污泥量和适量采收(38d)后可使生菜 Zn、Ni 量得到有效的控制。与 20% 污泥量及不适量采收者相比较,生菜 Ni 大幅度下降至 4% 左右。生菜 Zn 含量降幅不及 Ni 明显,但 10% 污泥处理的生菜 Zn 含量适量采收者(38d)为该处理最高者(32d)的 64%,为 20% 污泥处理最高者(32d)的 26%,效果明显。为了降低蔬菜的重金属含量,通常采取的措施是降低污泥的用量。而本试验的结果显示,适时采收,在一定范围内效果更大。例如,若适时(38d)采收,10% 和 20% 污泥处理的生菜含 Zn 量分别为 77.5mg/kg 和 90.8mg/kg,含 Ni 0.16mg/kg 和 0.19mg/kg。差别不很大。但是若在 32d 采收,Zn 和 Ni 含量

均明显增高。且 20% 污泥处理者更明显,Zn、Ni 含量均为 10% 处理的 2 倍多(表 1)。由此可见适时采收的作用的确不容忽视。

本试验的主要目的,在于研究影响生菜重金属含量的有关因素,但试验结果对于确定污泥安全用量也有一定参考价值。蔬菜 Ni 含量尚无国家标准,但本试验 10% 污泥量适时采收(38d)的 Ni 含量仅为 0.16mg/kg,属正常水平<sup>[3,2]</sup>。也远低于 FAO/WHO 的鲜样标准 0.6mg/kg,10% 污泥处理适时采收(38d)生菜含 Zn 定为 77.5mg/kg,按含水量 92% 折算为 6.7mg/kg 鲜样,略高于蔬菜 FAO/WFO 的 Zn 允许量标准 5mg/kg。供试污泥 Zn 含量超标达 9 倍之高,若超标幅度不太高,或进一步降低污泥用量,或再延数天收获,均有可能使 Zn 含量在允许值范围内。今后,对污泥中的其他重金属如 Pb、Cd、Cr、Hg 和 Cu 等进行施用量和采收期的研究,将有助于进一步推进污泥安全农用,这对于农业生产和污泥资源化,均有重要意义。

#### 参考文献

- 1 贾晓葵. 农业环境保护. 1991, 10(2): 94
- 2 何念祖, 孟赐福. 植物营养原理. 第一版, 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 302—403
- 3 环境污染分析方法编辑组. 环境污染分析方法. 北京: 科学出版社, 1980: 338
- 4 Mullins G L, Sommers L E and Barber S A. Soil. Sci. Soc. Am. J., 1988 50(5): 1245

## 地理信息系统(GIS)培训班通知

北京大学城市与环境科学系与北京天维资源环境研究所于 1994 年 5 月 26 日—5 月 31 日在北大地理楼举办地理信息系统(GIS)培训班。

报到时间: 5 月 25 日

报名地址: 北京大学地理楼 3747 房间

报名费: 20 元, 培训费 360 元(食宿自理)

联系人: 张金海、刘晓英

联系电话: 2559461—2168 2571135

通信地址: 北京大学畅春园 1 号二楼, 邮编: 100080

# Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

trend at an average annual rate of 1.4% during the period of from 1980 to 1989. By taking the variations in atmospheric aerosol concentration into account, the computed UV-B radiation shows a trend of negative shift at an annual rate of 0.7%. These variations in UV-B radiation are found to be close to those measured in the Alpine regions (47°N) and the United States (30—50°N).

**Key words:** UV-B radiation, ozone layer, aerosol pollution.

**Method for Treating the Exhaust Gases from a Methanol Fueled Internal Combustion Engine; (I) Deep Oxidation of CH<sub>3</sub>OH over Basic Metal Oxides and Precious Metal Catalysts.** Wang Jin'an and Wang Ren (Institute of Industrial Catalysis, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(2), 1994, pp. 45—48

It was found that the deep oxidation of CH<sub>3</sub>OH over all the different catalysts studied produced both HCHO and HCOOCH<sub>3</sub>. Among the basic metal oxide catalysts, CuO/r-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> exhibited the best activity with an optimum loading of about 10%—20%. The catalyst CuO/r-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prepared with the method of homogeneous coprecipitation had a better activity than others. Among the precious metal catalysts studied, Ag/r-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was the best one and had T<sub>50</sub> = 135°C and T<sub>95</sub> = 190°C for the oxidation of CH<sub>3</sub>OH. The different catalysts had a "volcano" type of curve relationship between their activities and  $\Delta H_f^0$ .

**Key words:** methanol, formaldehyde, deep oxidation, catalyst.

**Study on the Factors Affecting the Content of Heavy Metals in Lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) Growing on Mixed Sludge Medium.** Liao Zhongwen, Wang Weihong et al. (Dept. of Soil Science, South China University of Agriculture, Guangzhou 510642); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(2), 1994, pp. 49—52

A lettuce growing medium pot experiment was conducted to study the effects of the rate of sludge application, the volume of medium and harvest time on the contents of heavy metals Zn and Ni in Lettuce. It was found that the relationship between the rate of sludge application and the content of heavy metals varied with the growing medium. Under the condition of a small volume of medium, a higher rate of sludge applied led to a lower content of heavy metal but a higher yield of Lettuce. The heavy metal had a content in Lettuce depending on

the harvest time. The causes for leading to the above results and their implication for the production of Lettuce were also discussed.

**Key words:** sludge, Zn, Ni, medium culture, *Lactuca sativa* var. *longifolia*.

**Study on the Rehabilitation of an Artificial Ecosystem of Vegetation on a Waste Landfill Site.** Dun Wanru, Yue Xilian et al. (Qingdao Institute of Environmental Protection, Qingdao 266003); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(2), 1994, pp. 53—58

An artificial ecosystem of vegetation was rehabilitated with 16 species of xylophyta and 9 species of herbaceous herb by using three different techniques of cultivation on a waste landfill site. The results showed that methane given out of the landfill site was a main factor affecting the rate of vegetation survival. On a landfill site where the refuses have been dumped for 1 to 2 years, the desired results were obtained for planting the vegetation of a shorter growing period. The species of xylophyta having a longer period of growth were not suitable to be planted on a discarded refuse landfill site of 1 year and could be planted on a 2 year discarded refuse landfill site only by covering an earth layer of 60 cm thick to break methane given out. The species of plant which have a higher tolerance have been screened as follows: *Lycium chinensis* Mill., *Melia azedarach* L., *Amorpha fruticosa* Linn., *Robinia pseudoacacia* Linn., *Fraxinus chinensis* Roxb., *Ligustrum lucidum* Ait., *Medicago sativa* L., *Eragrostis pilosa*, *Eleusine indica*, *Eragrostis ferruginea* Beauv.

**Key words:** sanitary landfill, abandoned land, methane gas, vegetation.

**Study on the Catalytically Hydrogenated Conversion of Carbon Dioxide.** Lu Zhenju, Lin Peizi et al. (Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(2), 1994, pp. 59—61

A method was described for the catalytically hydrogenated conversion of carbon dioxide to chemical products. Under the different conditions of reaction, an iron catalyst (Fe/AC) had been excellently characterized by the conversion of carbon dioxide to light olefins, liquid hydrocarbons, and liquefied petroleum gas. A Cu-Zn-Y zeolite catalyst exhibited a good selectivity for converting carbon dioxide to DME. Carbon dioxide was converted to alcohols over a Rh-V catalyst.

**Key words:** carbon dioxide, catalytic hydrogenation, catalyst, chemical products, reaction.