



中国农业科学院都市农业研究所

Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences

第八届四川省有机肥产业发展暨技术交流大会

# 植物源废弃物植物毒性去除技术

中国农业科学院都市农业研究所  
城市有机废弃物资源化利用团队

周晚来 副研究员

2022.12.20



- 01 问题与挑战
- 02 植物毒性是什么
- 03 传统的植物毒性去除技术
- 04 基于脱毒剂的植物毒性快速去除技术



## 植物源废弃物数量巨大，处置不充分造成严重的生态环境问题



我国年产园林废弃物约**3000万吨**，菌渣**1亿吨**，  
秸秆废弃物约**9亿吨**，平均利用率仅为**30%**左右（毕于运，等，2009；刘瑜，等，2020；周晚来，等，2021）



产量大、有机质含量高、组分复杂多变



填埋、堆放、焚烧



资源浪费、环境污染



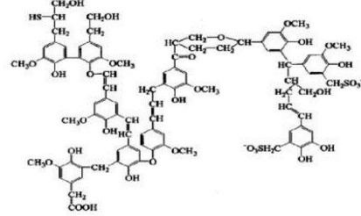
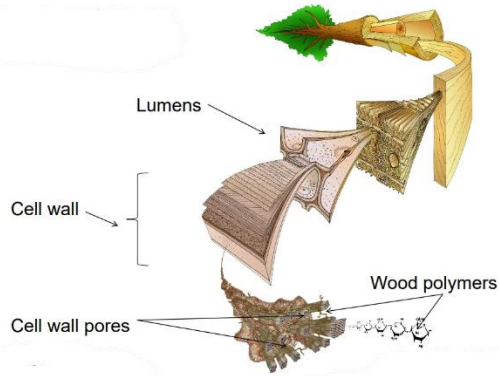
经济可行、符合生态理念的资源化利用方案



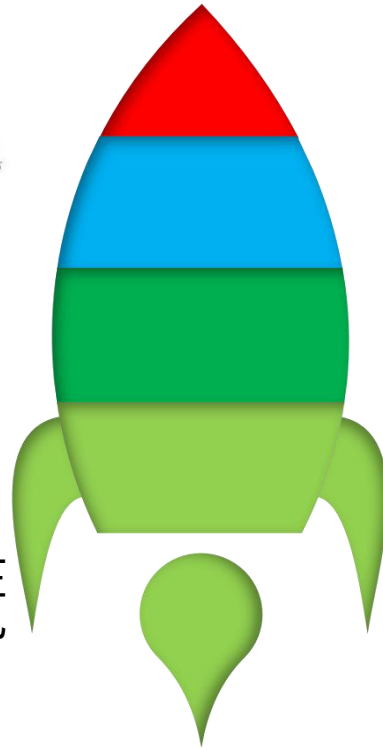




## 为什么要用作种植材料？



1. 主要由纤维素、半纤维素、木质素组成，容易保持良好的持水透气性
2. 富含植物所需养分



内在优势

外部压力

表 3 我国城市园林废弃物中的资源潜力估算

Table 3 Estimation of resource potential of urban garden waste in China

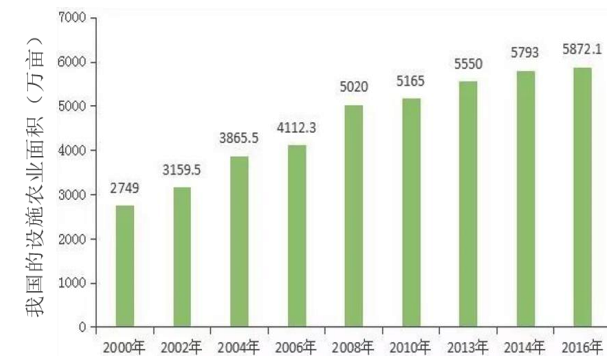
园林废弃物总量 Amount of urban garden waste (万吨)	热值 Calorific value (kJ)	木质素 Lignin (万吨)	纤维素 Cellulose (万吨)	半纤维素 Hemicellulose (万吨)	有机碳 Organic carbon (万吨)	氮 Nitrogen (万吨)	磷 Phosphorus (万吨)	钾 Potassium (万吨)
2275	$7.96 \times 10^{13}$	255.9	409.5	307.1	910.0	22.8	4.6	22.8
3412.5	$11.94 \times 10^{13}$	383.9	614.3	460.7	1365.0	34.1	6.8	34.1



### 泥炭开采带来严重的生态环境问题

- ✓ 泥炭地生态环境的损毁导致物种灭绝，降低生物多样性
- ✓ 固定的碳重新释放至大气，破坏碳循环平衡。据估算，每年由于泥炭地破坏导致的二氧化碳排放超过了300000万吨，相当于全球石化燃料二氧化碳排放的10%。

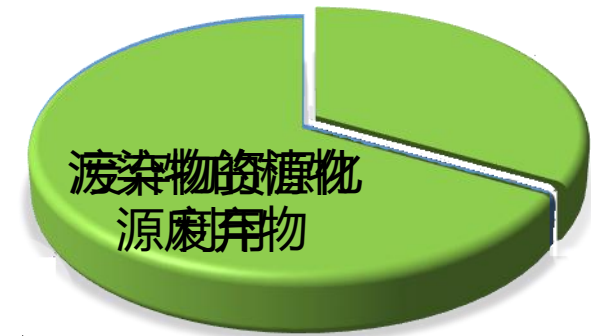
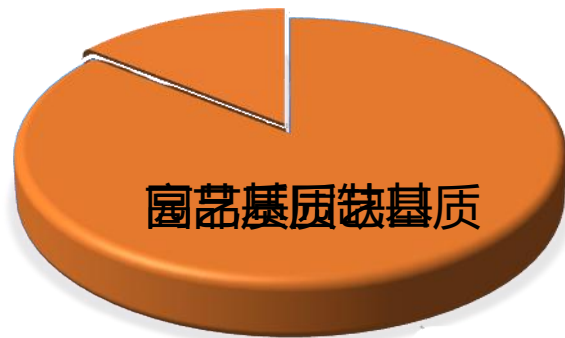
### 我国园艺基质缺口巨大



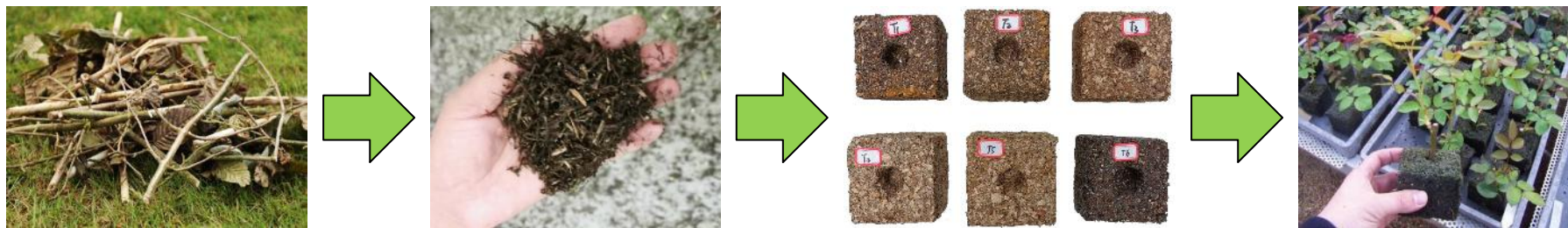
- ✓ 我国园艺基质年需求量超过了8600万立方米，国内供应量仅为1000万立方米左右 (孟宪民, 2019)

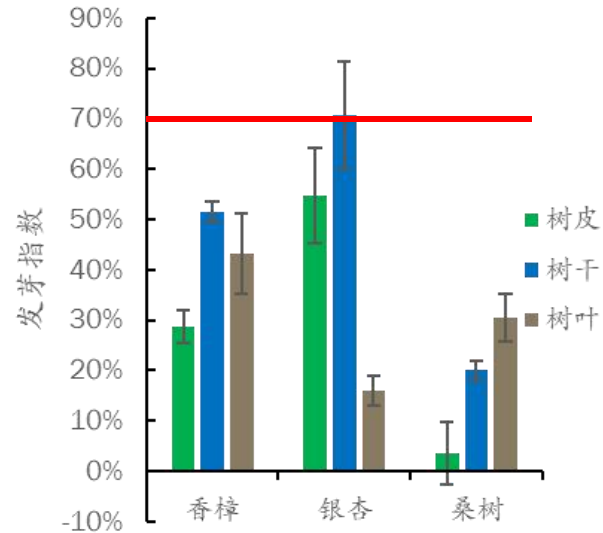
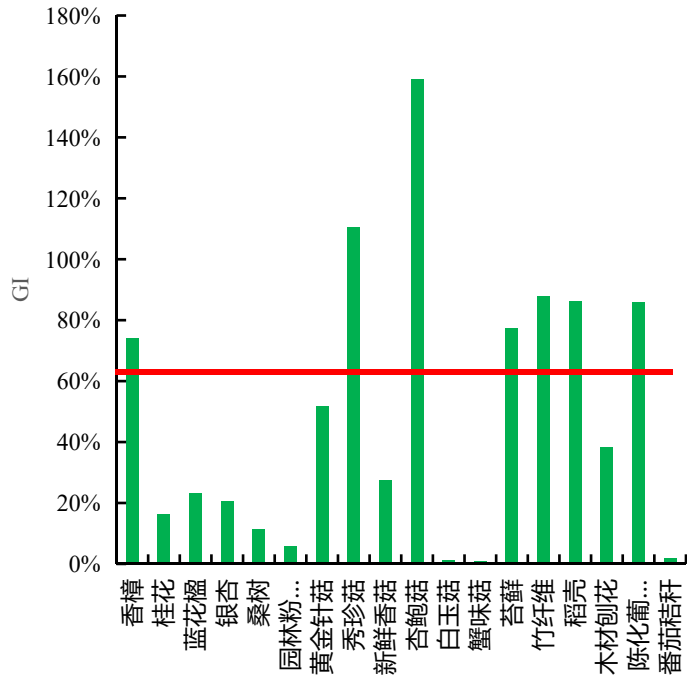


# 挑战 → 初心



## 植物源废弃物基质化利用一举两得





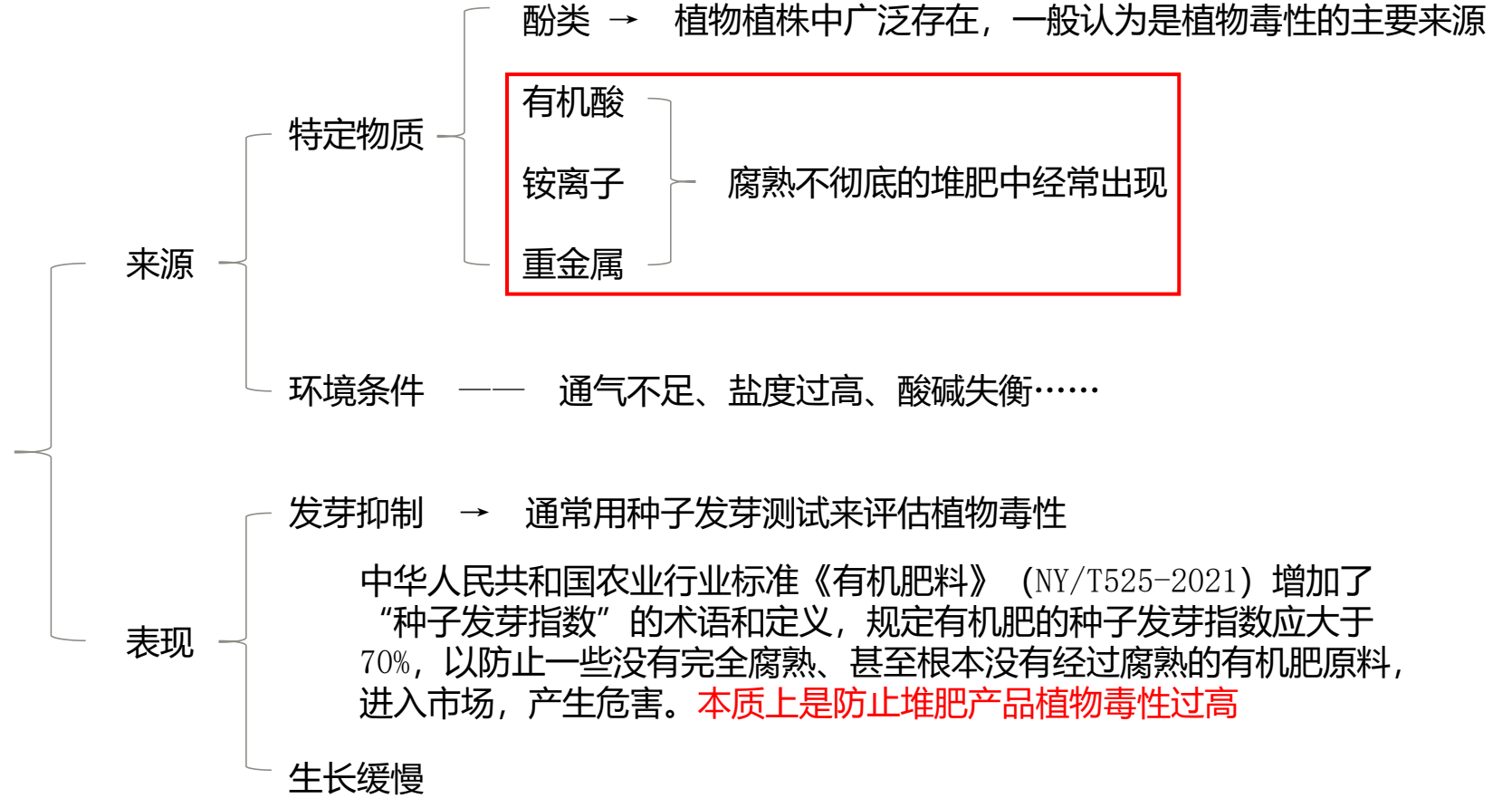
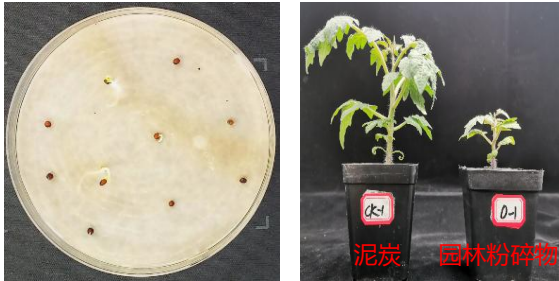
植物源废弃物普遍存在强烈的植物毒性，克服植物毒性是植物源废弃物基质化利用的第一步







定义：由特定物质或环境条件导致的植物种子发芽的延迟、生长抑制或其它任何不利影响



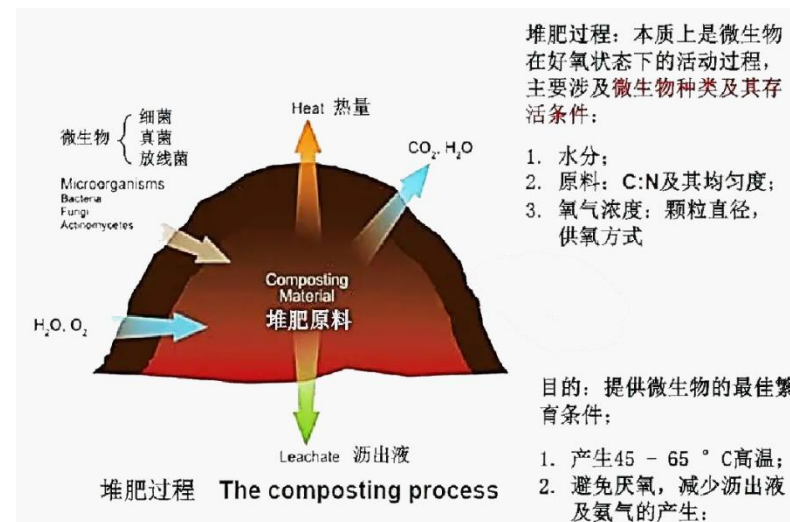
种子发芽指数：用以黄瓜或萝卜种子为试验材料，有机肥料浸提液的种子发芽率和种子平均根长的乘积，与水的种子发芽率和种子平均根长的乘积的比值。



# 1. 堆肥

堆肥过程是在受控条件下将有机物质生物分解成稳定的腐殖质类产品。一般意义的堆肥是在需氧条件下对有机材料进行生物分解的过程，部分过程在高温 ( $>50^{\circ}\text{C}$ ) 条件下进行。

**堆肥的本质是有机物在微生物作用下的矿质化和腐殖化。**在堆肥过程中，有机废物中的可溶性有机物质透过微生物的细胞壁和细胞膜被微生物所吸收；固体的和胶体的有机物先附着在微生物体外，然后在微生物所分泌的胞外酶的作用下分解为可溶性物质，再渗入细胞内部。微生物通过自身的生命活动——氧化还原和生物合成过程，把一部分被吸收的有机物氧化成简单的无机物，并放出微生物生长、活动所需要的能量，把另一部分有机物转化合成新的细胞物质，使微生物生长繁殖，产生更多的生物体，而未能降解的残留有机物部分转化为腐殖质。最终将有机废物被矿质化和腐殖化。

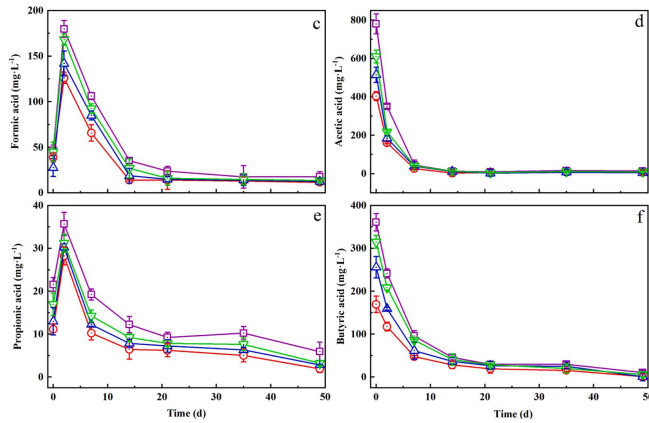




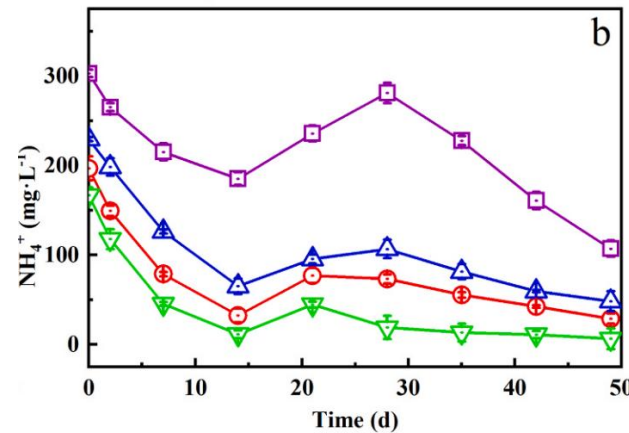


- 作用
- 矿质化和腐殖化
    - 通过降解、转化和聚集有毒物质以及降低毒素的生物利用度来降低植物毒性  
降低有机酸和铵离子浓度，固定重金属
    - 稳定材料对氮和氧的需求，以避免微生物与植物根系争夺这些元素
  - 高温 (60-70°C) → 3. 杀死原材料中所带来的病菌、虫卵和杂草种子

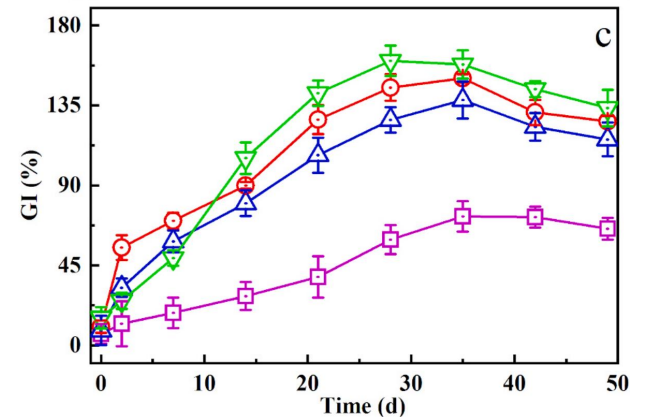
案例1：植物源废弃物与羊粪堆肥



小分子有机酸含量的变化



铵离子含量变化

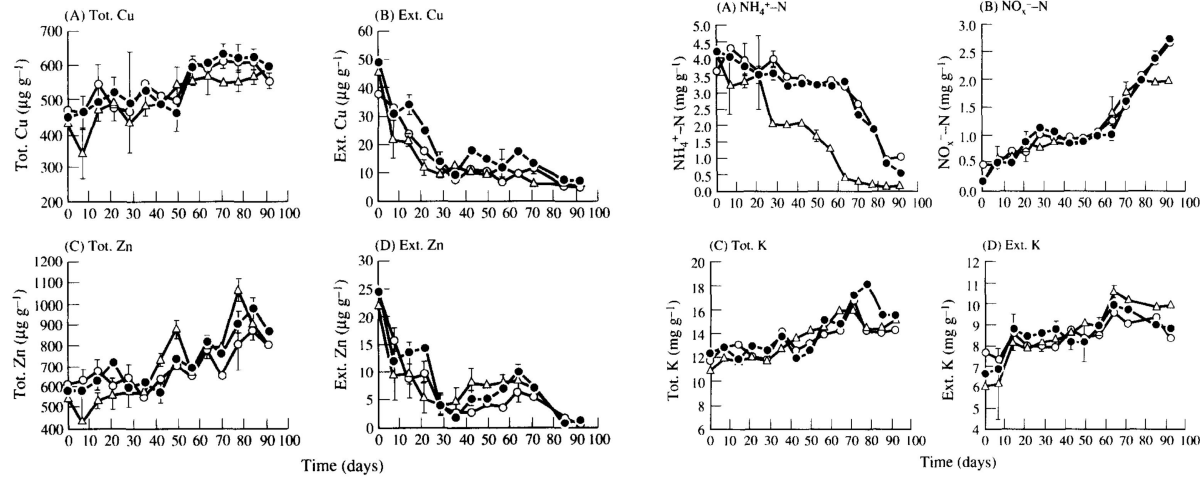


发芽指数的变化

- 100%羊粪
- △— 85%羊粪+15%玉米芯
- 85%羊粪+15%菌渣
- ▽— 85%羊粪+15%园艺基质

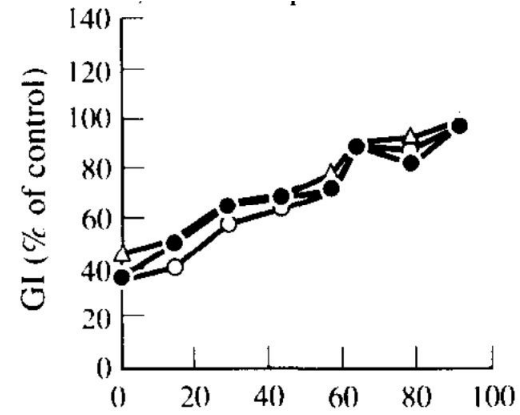


## 案例2： 猪场垫料堆肥



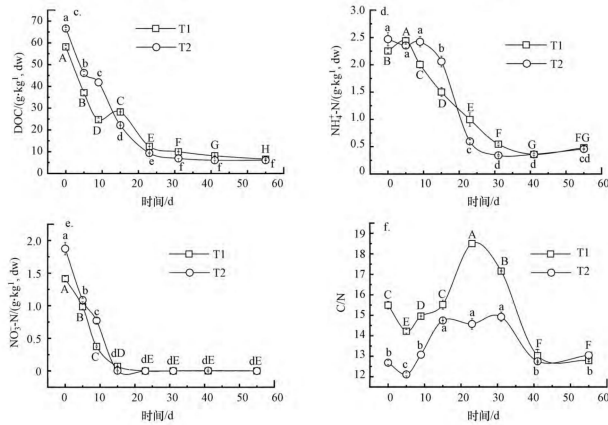
堆肥过程中铜和锌的变化

堆肥过程中氮和钾的变化

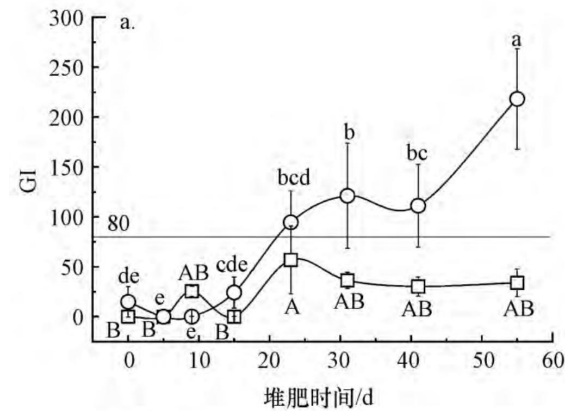


种子发芽指数的变化

## 案例3： 尾菜与玉米秸秆堆肥



堆肥过程中氮和碳的变化

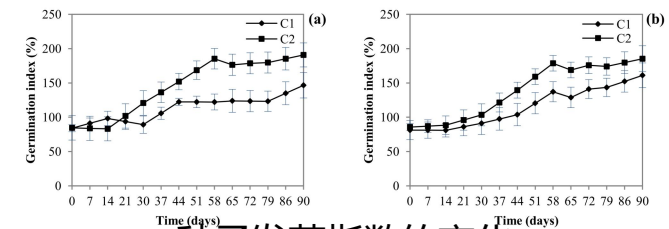


种子发芽指数的变化

## 案例4： 城市污泥与玉米秸秆堆肥

Parameters	Compost C1		Compost C2	
	Initial	Final	Initial	Final
TP (%)	1.39 ± 0.01	1.66 ± 0.02	1.54 ± 0.02	1.73 ± 0.02
TK (%)	0.92 ± 0.02	1.12 ± 0.02	0.82 ± 0.01	0.98 ± 0.01
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	39.83 ± 0.03	21.64 ± 0.12	31.25 ± 0.04	22.15 ± 0.04
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	2722.33 ± 2.08	2467.00 ± 2.00	2562.67 ± 2.08	2165.33 ± 3.06
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	241.50 ± 0.45	190.83 ± 0.55	182.28 ± 0.25	150.94 ± 0.10
Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	26.20 ± 0.03	15.08 ± 0.02	17.05 ± 0.04	13.55 ± 0.06
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	59.56 ± 0.42	31.02 ± 0.01	41.87 ± 0.13	28.12 ± 0.03
Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	21.08 ± 0.05	17.24 ± 0.04	18.16 ± 0.03	14.18 ± 0.02
Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	19.94 ± 0.02	11.14 ± 0.05	12.90 ± 0.09	7.05 ± 0.04
Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	0.80 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.09 ± 0.01

重金属的变化



种子发芽指数的变化





## 2. 老化

老化是指材料在料堆中堆积和风化，不添加肥料或调整pH值，也不试图控制水分含量。



椰壳

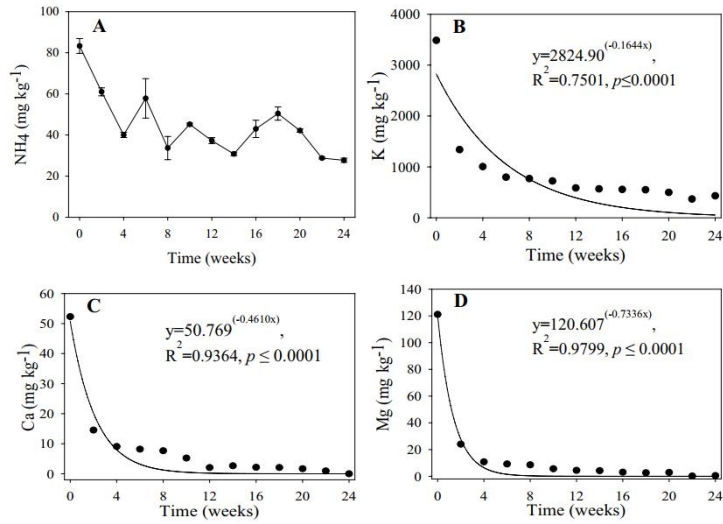


园林废弃物堆放场

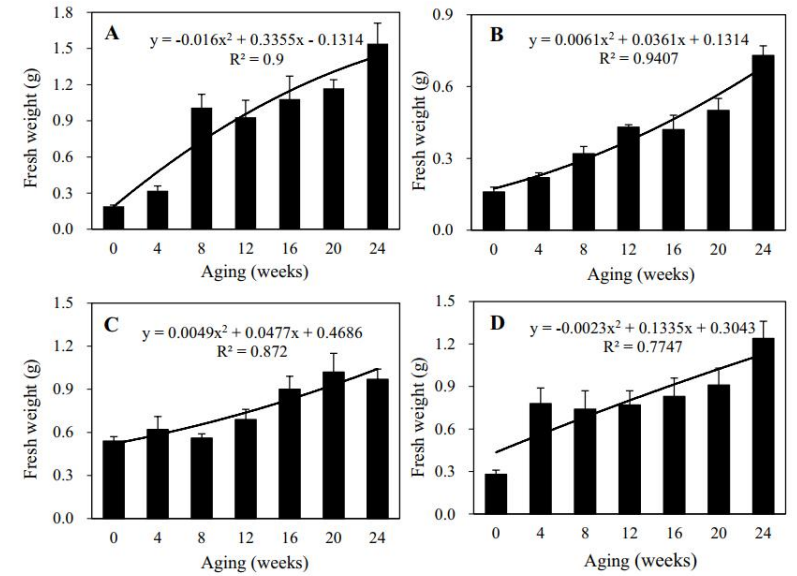
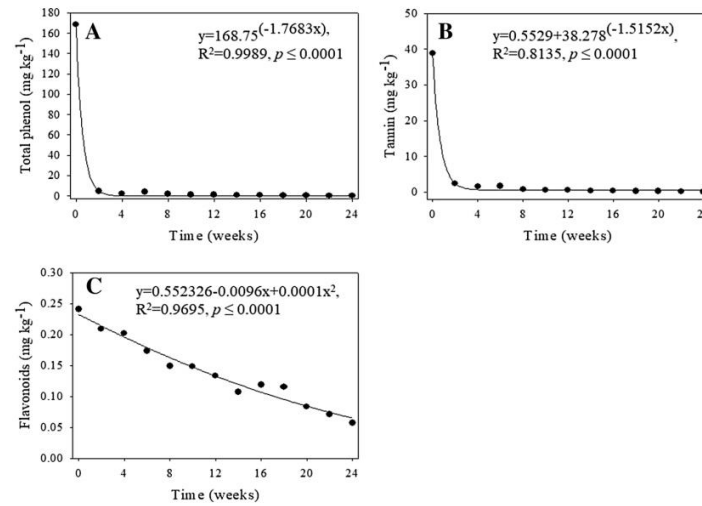


商业老化松树皮





椰壳陈化过程中铵态氮、总酚等物质含量的变化



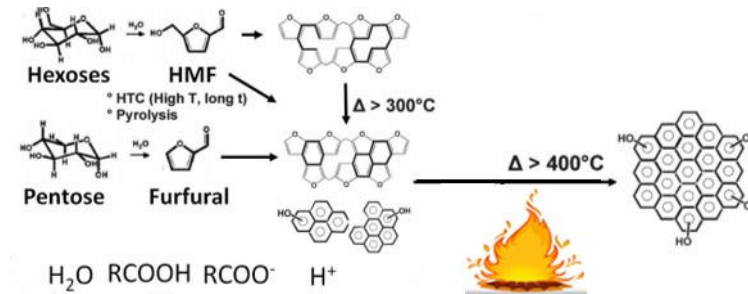
不同陈化期椰壳种植萝卜、卷心菜、辣椒、番茄的产量



### 3. 热处理

包括蒸汽爆破、低温烘焙、热裂解、水热碳化等等，通过不同方式加热材料使其化学组成、物理性状发生变化，降解植物毒性相关物质，改善材料吸水透气性，从而具备作为植物种植材料的性能

生物质热处理农业应用的典型代表产品是生物炭





## 生物炭土壤应用的潜在益处与危害

### 生物炭土壤应用的潜在益处

- 由于生物炭具有较高的阳离子交换能力，可以吸附养分，增强养分有效性
- 由于生物炭具有较强的吸附性，可以降低重金属离子和有机污染物的流动性：主要是农药残留和多环芳烃（PAHs）
- 由于生物炭的直接作用（提供避难所和营养物质）和间接作用（固定土壤有机成分以提供理想的环境），生物炭的加入对土壤微生物的生长有很大益处
- . . . . .

### 生物炭土壤应用的潜在危害

- 生物炭本身可能是污染物的载体，包括多环芳烃（PAHs）和挥发性有机化合物（VOCs）
- 苯酚与有机酸、酮、醛、醇、呋喃和多环芳烃一起在热解过程中生成，并形成热解液的主要成分
- 热解液可能可能在碳化过程中重新冷凝后吸附在生物炭中，使生物炭本身成为污染物的载体





## 并非所有的生物炭都可以安全地用于作物种植

### Inherent organic compounds in biochar—Their content, composition and potential toxic effects



Wolfram Buss<sup>a</sup>, Ondřej Mašek<sup>a,\*</sup>, Margaret Graham<sup>b</sup>, Dominik Wüst<sup>c</sup>

<sup>a</sup> UK Biochar Research Centre, School of Geosciences, University of Edinburgh, Crew Building, Alexander Crum Brown Road, Edinburgh EH9 3FF, UK

<sup>b</sup> School of Geosciences, University of Edinburgh, Crew Building, Alexander Crum Brown Road, Edinburgh EH9 3FF, UK

<sup>c</sup> Institute of Agricultural Engineering, Conversion Technology and Life Cycle Assessment of Renewable Resources, University of Hohenheim, Garbenstrasse 9, 70599 Stuttgart, Germany

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 29 January 2015  
Received in revised form  
17 March 2015  
Accepted 23 March 2015  
Available online 2 April 2015

##### Keywords:

Contaminant  
VOC  
PAH  
Re-condensation  
Pyrolysis  
Biochar

#### ABSTRACT

Pyrolysis liquids consist of thermal degradation products of biomass in various stages of its decomposition. Therefore, if biochar gets affected by re-condensed pyrolysis liquids it is likely to contain a huge variety of organic compounds. In this study the chemical composition of such compounds associated with two contaminated, high-volatile organic compound (VOC) biochars were investigated and compared with those for a low-VOC biochar. **The water-soluble organic compounds with the highest concentrations in the two high-VOC biochars were acetic, formic, butyric and propionic acids; methanol, phenol, o-, m- and p-cresol, and 2,4-dimethylphenol, all with concentrations over 100 µg g<sup>-1</sup>.** The

生物炭浸提液中浓度最高的水溶性有机化合物是乙酸、甲酸、丁酸和丙酸；甲醇、苯酚、邻甲酚、间甲酚和对甲酚以及2,4-二甲基苯酚，浓度均超过100 µg/g。

**Despite the concentrations of VOCs exceeding biochar guideline values, it was concluded that, for these particular biochars, the biggest concern for application to soil would be the co-occurrence of VOCs such as low molecular weight (LMW) organic acids and phenols, as these can be highly mobile and have a high potential to cause phytotoxic**

生物炭应用于土壤的最大问题是挥发性有机物的存在，如低分子量 (LMW) 有机酸和酚类，因为它们具有高度的流动性，很可能导致植物毒性

### A comprehensive assessment of potential hazard caused by organic compounds in biochar for agricultural use



J. Ruzickova<sup>a</sup>, S. Koval<sup>a,\*</sup>, H. Raclavska<sup>a</sup>, M. Kucbel<sup>a</sup>, B. Svedova<sup>a</sup>, K. Raclavsky<sup>a</sup>, D. Juchelkova<sup>b</sup>, F. Scala<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ENET Centre VSB-TU Ostrava, Czech Republic

<sup>b</sup> Faculty of Electrical Engineering and Computer Science VSB-TU Ostrava, Czech Republic

<sup>c</sup> Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy

#### ARTICLE INFO

Misc: Daniel CW Tsang

##### Keywords:

organic contaminant  
phytotoxicity  
inhibition  
*Sinapis alba*  
thermal desorption

#### ABSTRACT

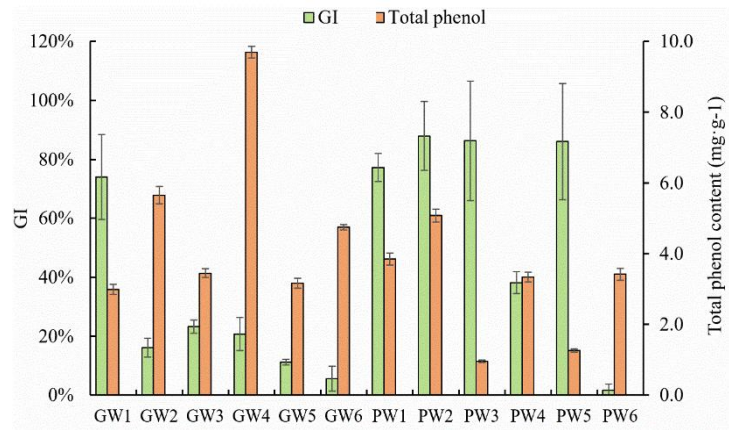
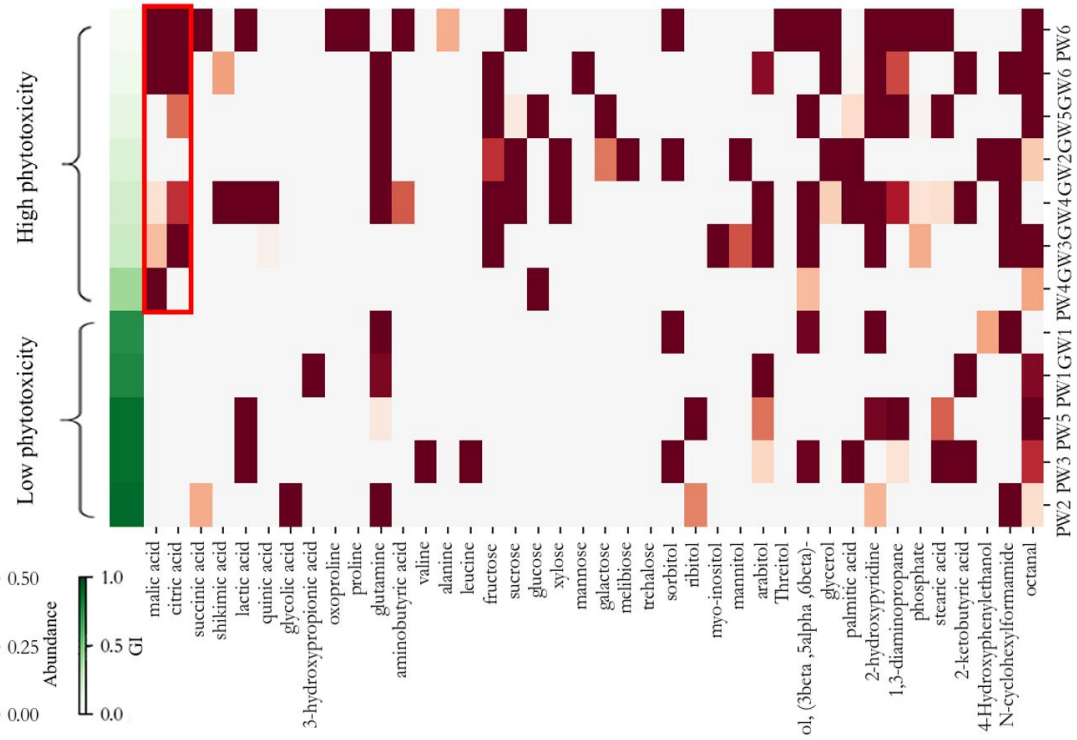
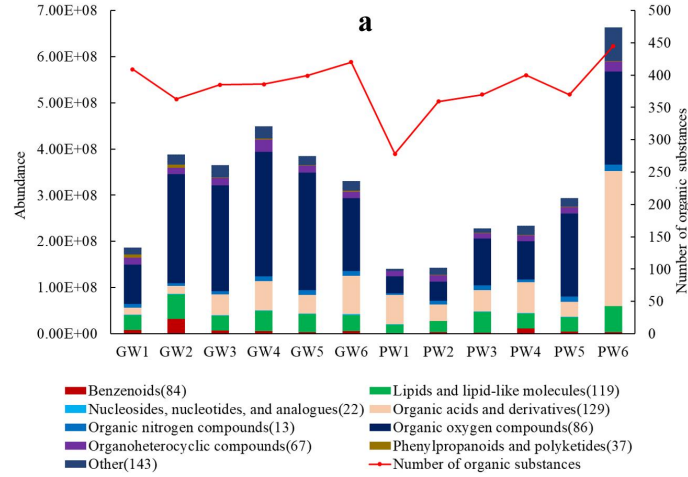
Great attention has been paid to using biochar as soil conditioner and bio-accumulator. Nevertheless, biochar application in agriculture might cause a potential hazard to ecosystems, considering that toxic organic pollutants present in biochar may enter the environment. European Biochar Certificate (EBC) set certain criteria for biochar production. **Achieving the EBC established values of the molar ratio of H/C<sub>org</sub> <0.7 and O/C<sub>org</sub> <0.4, does not ensure that biochar will not cause phytotoxicity.** The results of root growth inhibition of *Sinapis alba* were in the range of 9% (eucalyptus wood biochar) to 82% (maize biochar). **Phytotoxicity of biochar was possibly caused by the presence of water-soluble organic compounds.** In total, 62 organic compounds were identified in the leachate

欧洲生物炭证书 (EBC) 规定了生物炭生产的某些标准，但达到EBC确定的H/C<sub>org</sub>摩尔比 <0.7和O/C<sub>org</sub> <0.4的值并不能保证生物炭不会引起植物毒性。自生物炭的植物毒性可能是由水溶性有机化合物的存在引起的。要实现抑制率 <20%，应满足以下参数：挥发性物质 (VM) <30%；OC浓度 <4%；AL/AR的芳香度比 <0.35。

**inhibition of *Sinapis alba* <30% was observed with OC/EC < 0.02. To achieve *Sinapis alba* inhibition <20%, these parameters should be met: volatile matter (VM) <30%; concentration of OC <4%; aromaticity ratio AL/AR < 0.35.**



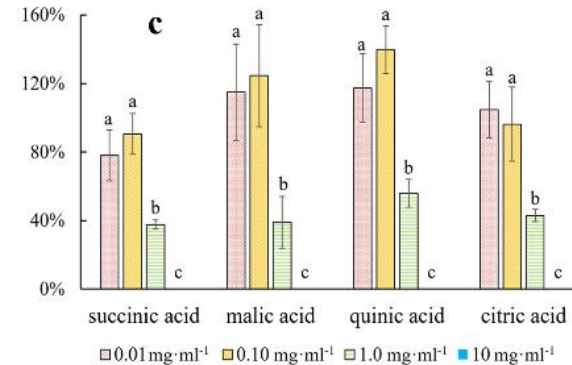
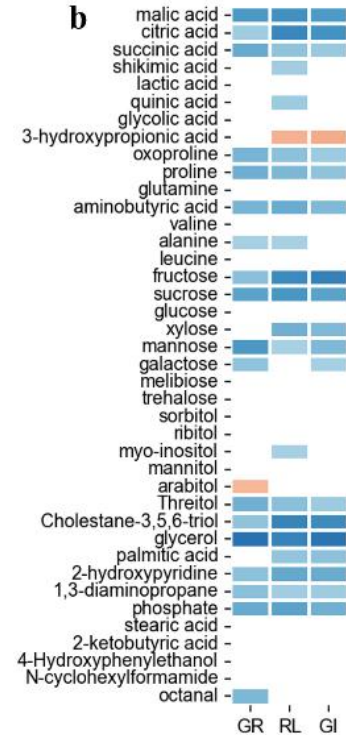
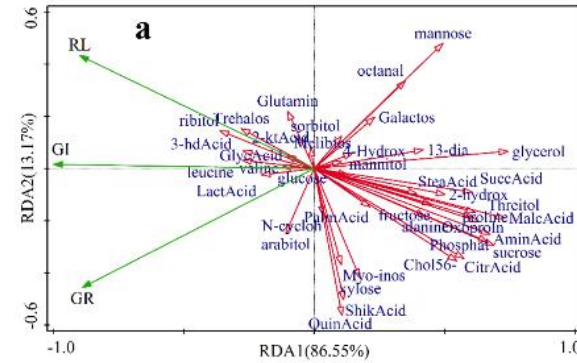
# 1. 植物源废弃物植物毒性的来源



- 分析了12种常见植物源废弃物的有机成分及其植物毒性
- 植物毒性与酚类物质含量不存在显著相关性
- 通过比较分析发现：**植物毒性高的材料中普遍富含有机酸及其衍生物**



- 相对丰度最高的前40种物质解释了发芽指数99.72%的变异
- 大多数有机酸及其衍生物与种子发芽指数高度负相关
- 苹果酸、琥珀酸和柠檬酸分别占发芽指数总变异的46.8%、31.8%和30.0%
- 当有机酸水溶液（苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、奎宁酸）浓度超过 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ 时，会严重抑制种子发芽

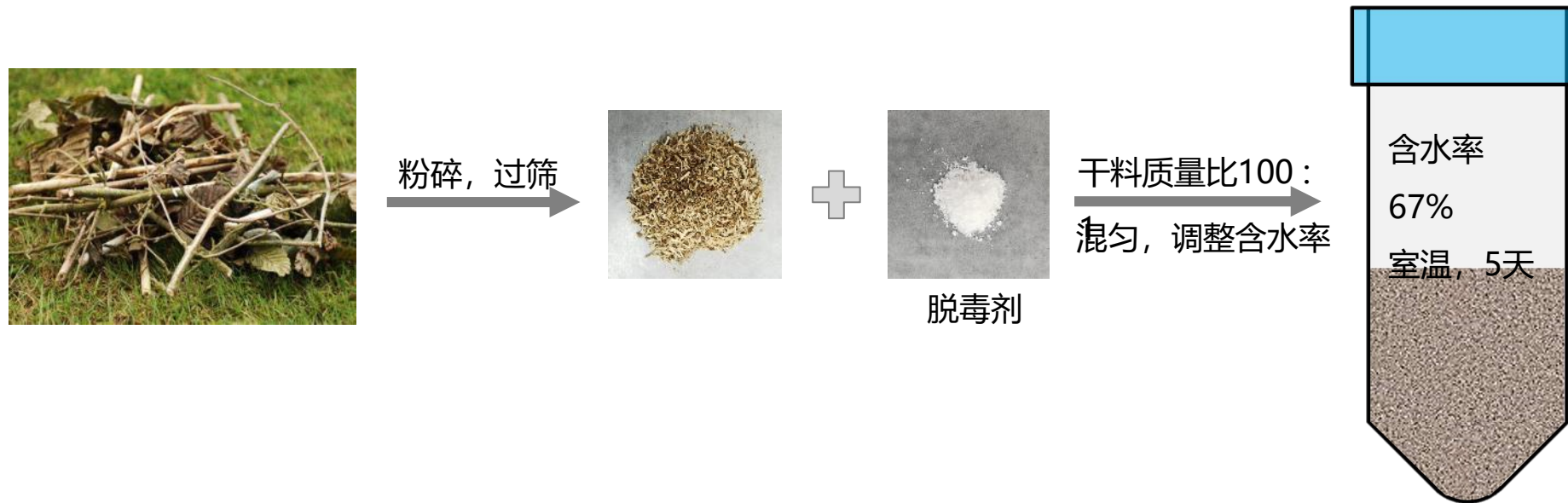


高浓度的有机酸是这些植物源废弃物的关键植物毒性物质

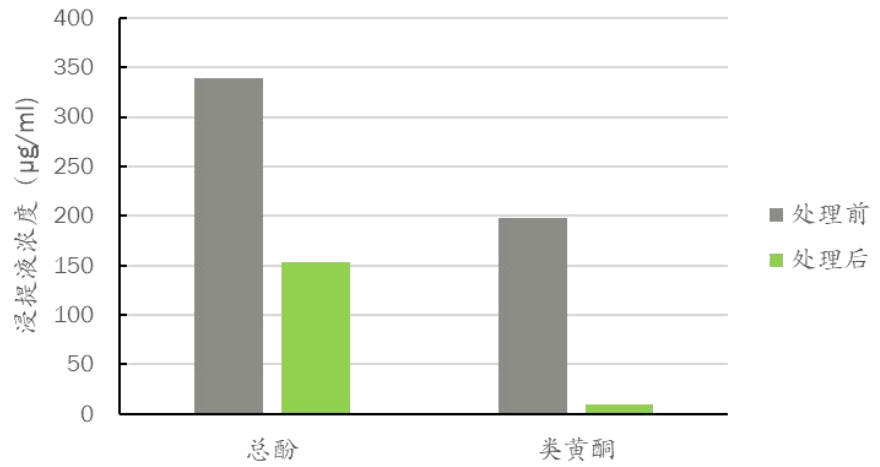
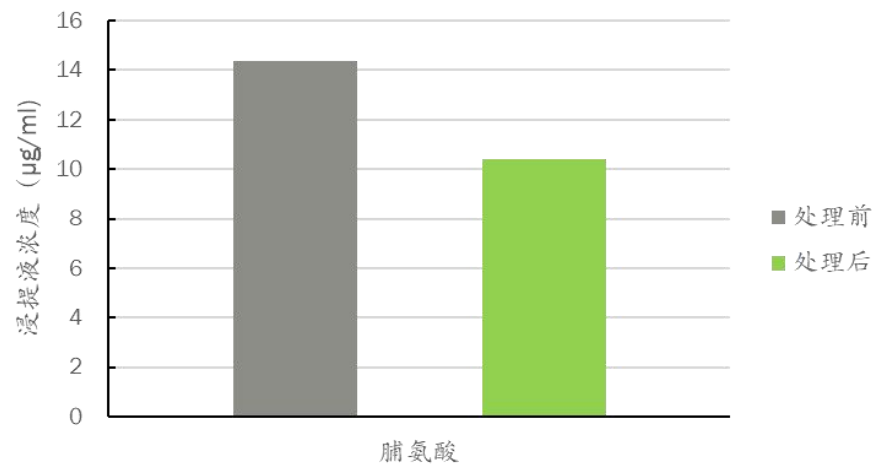
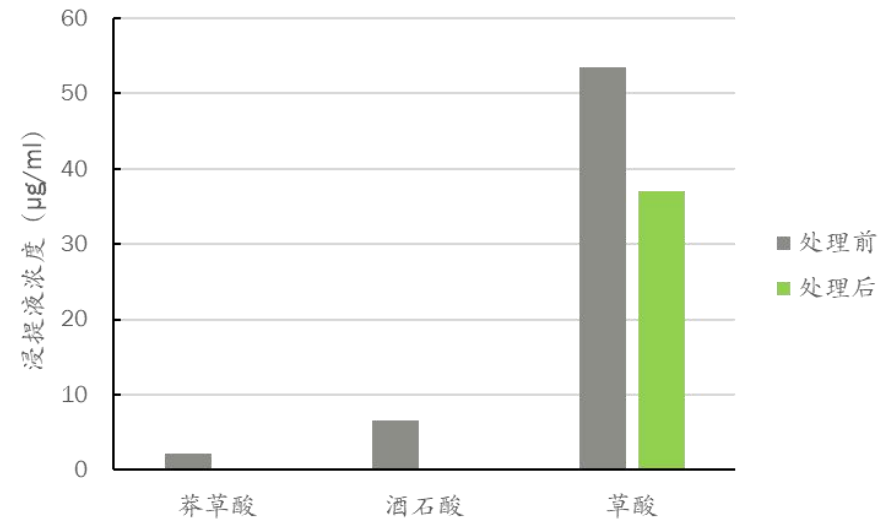
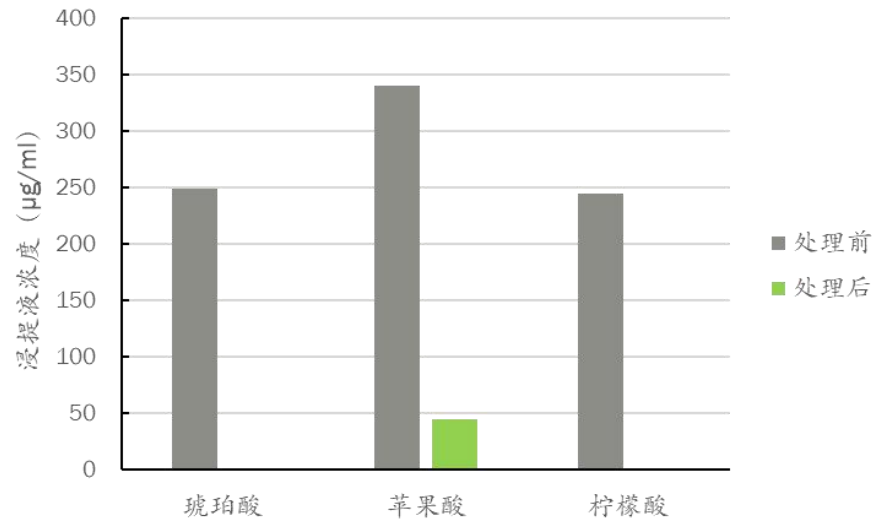




# 快速去毒处理流程



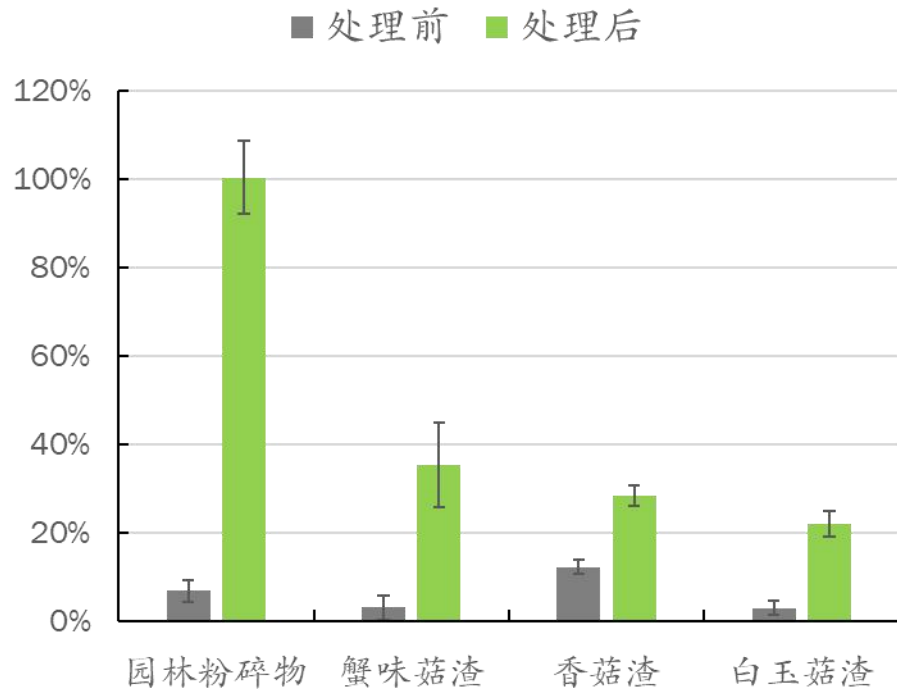
- Rapidly reducing phytotoxicity of green waste for growing media by incubation with ammonium, Environmental Technology & Innovation, 2023
- 植物源废弃物的再生材料及其制备方法、应用, CN202210918176.X
- Matériau recyclé de déchets d'origine végétale, son procédé de préparation et ses applications, FR2210467



快速处理显著降低了园林废弃物浸提液中的植物有机酸含量，同时也降低了脯氨酸、总酚、总黄酮含量



# 植物毒性去除效果

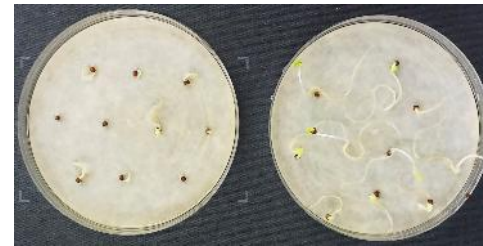


处理前

处理后

处理前

处理后



园林粉碎物



香菇渣



蟹味菇渣



白玉菇渣

在5天内即可使园林废弃物的种子发芽指数6.94%提高到100.41%。3种菌渣的种子发芽指数大幅度提高。





	处理时长	能耗	水耗	设备投入	污染排放
堆肥	长 (数月)	少量能耗	无	中	臭气、渗滤液
老化	漫长 (数年)	无额外能耗	无	低	臭气、渗滤液
热处理	短 (数分钟)	高能耗	无	高	尾气排放
水洗	短 (数分钟)	少量能耗	高水耗	低	废水排放
新型脱毒剂处理	中等 (5天)	无额外能耗	无	低	无



# 城市有机废弃物资源化利用团队

## 团队组成



戚智勇 研究员

日本冈山大学博士

长沙市“高层次人才”

成都市“蓉漂人才”特聘专家

重庆市“生态人才岛咨询专家团”专家

现有成员6人，包括5名博士和1名硕士，其中一半以上拥有海外留学经历。专业涵盖环境科学、生物与能源工程、植物营养学、土壤学、绿色化工等多个领域。

## 技术路线

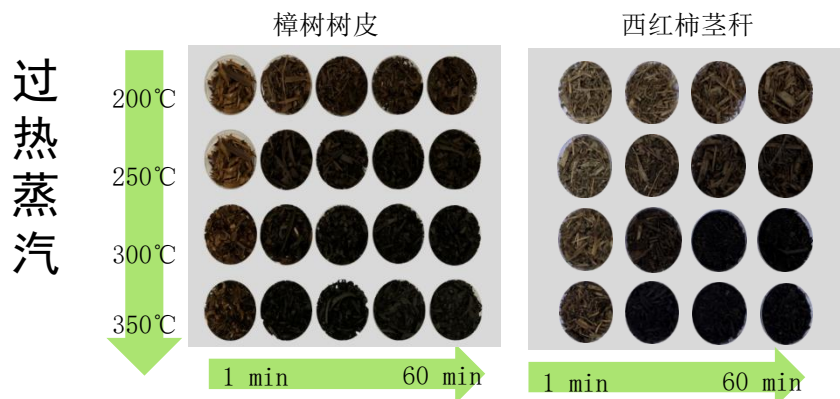


## 使命与愿景:

创新废弃物资源化处理技术  
创制新型无土栽培基质产品  
创建城市有机资源循环系统  
创造生态绿色健康美好生活

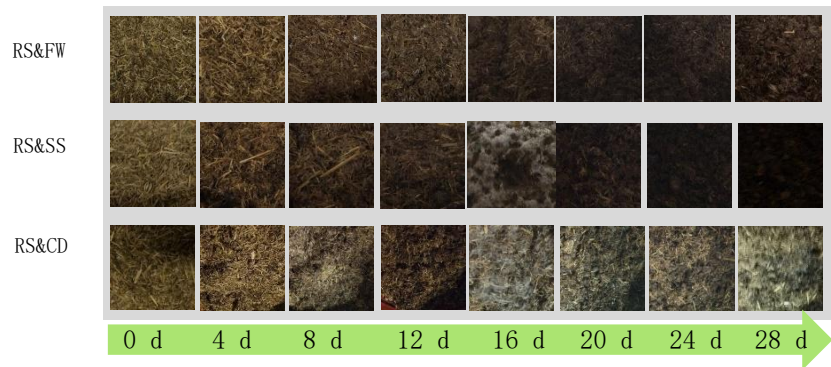


# 主要研究



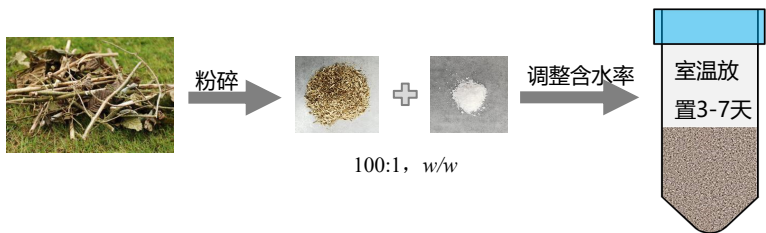
- 特点:
- ✓ 高传热效率
  - ✓ 高效选择性降解

## 好氧堆肥



- 特点:
- ✓ 转化彻底
  - ✓ 功能多样
  - ✓ 产品性能好

## 铵盐孵化



- 特点:
- ✓ 工艺简便
  - ✓ 快速, 易于规模化应用
  - ✓ 能耗极低

# 主要成果



中国农业科学院都市农业研究所  
城市有机废弃物资源化利用创新团队

## 固化基质



## 零废弃工厂化栽培技术





# 感谢聆听，欢迎合作！



周晚来  
中国农业科学院都市农业研究所  
[zhouwanlai@caas.cn](mailto:zhouwanlai@caas.cn)  
19138986329

