

## 木耳菌渣稻苗基质化利用难点及解决技术

程舒 王艺凝 傅民杰 刘雨佳 吴明根\*

(延边大学农学院 农学系,吉林 延吉 133000)

**摘要** 为有效转化利用废弃木耳菌渣,解决木耳菌渣稻苗基质化利用过程中出现的稻苗黄化现象问题,通过分析木耳菌渣理化性质及对水稻种子采取硫酸亚铁溶液浸种处理的方法,进行木耳菌渣稻苗基质化利用研究。结果表明:1)虽然腐熟菌渣的有机质含量、保水性及速效养分等特性有利于做水稻育苗基质,但盐分浓度较高、偏碱性、密度较小不适宜单一菌渣做育苗基质;2)单一菌渣基质培育稻苗,会出现黄化现象,原因在于单一菌渣基质有效铁含量偏低,造成了叶片含铁量少;3)硫酸亚铁浸种处理可以控制稻苗黄化现象,但会诱导植株株高伸长;4)0.014 mol/L 硫酸亚铁与 0.051 mmol/L 多效唑混合浸种液在 20 °C 下浸种处理 3 d,能够有效控制稻苗黄化现象和植株的徒长。同体积的腐熟菌渣和稻田土混合配制成的育苗基质,稻种采用硫酸亚铁溶液与多效唑溶液混合浸种处理的方法,能够育出壮实的大龄机插秧苗。

**关键词** 木耳菌渣; 育苗基质; 硫酸亚铁; 多效唑; 浸种

中图分类号 S511

文章编号 1007-4333(2020)08-0154-09

文献标志码 A

## Difficulties and solutions of substrate utilization of *Auricularia* fungus resided wastes for rice seedling cultivation

CHENG Shu, WANG Yining, FU Minjie, LIU Yujia, WU Minggen\*

(College of Agronomy, Yanbian University, Yanji 133000, China)

**Abstract** In order to effectively transform the fungus residue and solve the problem of rice yellowing during the substrate utilization of fungus residues, experiments on the substrate utilization of fungus residue were carried out. The physical and chemical properties of the fungus residue were analyzed and ferrous sulfate solution was used to soak the rice seeds. The results showed that although the content of organic matter, water-retention property and available nutrients from the wastes were beneficial to rice seedling and raising substrate, high salt concentration, partial alkalinity, and low specific gravity became the negative effects for using as a seedling substrate. The rice seedlings that cultivated on the fungus-resided substrates appeared the yellowing phenomenon, which was caused low effective iron content is the fungus residues. The iron-deficient yellowing phenomenon could control by dosing ferrous sulfate but this treatment also induced plant height elongation. A mixed seed soaking solution of 0.014 mol/L ferrous sulfate ( $Fe^{2+}$ ) and 0.051 mmol/L paclobutrazol at 20 °C for 3 days could effectively control the yellowing phenomenon of rice seedlings and the length of plants. Under the mixed seedling substrates of the fungus-resided wastes and paddy soil at 1:1 ratio, the rice seeds dosed with ferrous sulfate and paclobutrazol developed to strong mechanical transplanting rice seedlings.

**Keywords** *Auricularia* fungus residue; seedling substrate; ferrous sulfate; paclobutrazol; soaking seeds

我国东北三省(黑龙江、吉林、辽宁)是全球最大的黑木耳 [*Auricularia auricula* (L. ex Hook.)

Underw]生产基地<sup>[1-2]</sup>,该区域每年投放约 76 亿袋(17 cm×33 cm 的低压聚乙烯袋)木耳菌袋,按每袋产

收稿日期:2019-12-23

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20180201076SF)

第一作者:程舒,硕士研究生,E-mail:419227777@qq.com

通讯作者:吴明根,教授,主要从事作物栽培生理的研究,E-mail:5minggen@163.com

生约 0.3 kg 的废弃菌渣计算,可产生 228 万 t 的废弃菌渣<sup>[3-4]</sup>。目前,由于该种植区域缺少有效转化利用废弃菌渣的方法及设备,大部分带着残余菌渣的菌袋被遗弃在木耳基地附近的山沟、地边、路边等地方,不仅污染木耳基地周边生态环境,而且浪费巨大资源<sup>[5]</sup>。东北三省大部分水稻种植户采用育秧-移栽种稻方式,育苗基质基本上就地取土,加工施用。随着规模化种植水稻的发展,就地取土越来越难,甚至出现部分农户采取政府禁止采取的山地土壤、草甸土、河床土,或乱采农药污染的旱田土等,造成生态环境的破坏和农户不必要的损失<sup>[6]</sup>,标准化水稻育苗基质的生产供应已成为高产水稻生产技术体系的一项瓶颈问题<sup>[7]</sup>。

已有研究表明,食用菌菌渣做育秧基质,培育的秧苗植株高大,叶片颜色深绿,根多,根系活力大,能够提高水稻的秧苗素质且能减少土传病害<sup>[8-10]</sup>,但本课题组在转化利用废弃木耳菌渣作水稻育苗基质的研究过程中发现,利用废弃木耳菌渣作育苗基质,会出现稻苗黄化现象,这种黄化现象随添加普通土比例的增加而减轻。

综上,本研究针对木耳菌渣稻苗基质化利用过程中出现的稻苗黄化问题,拟采用硫酸亚铁溶液对水稻种子进行浸种处理的方法,进行木耳菌渣稻苗基质化利用研究,以期为废弃木耳菌渣水稻育苗基质化利用,提供简便、可行的技术支撑。

## 1 材料与方 法

本研究于 2016—2019 年在延边大学农学院水稻育苗基地和延边大学农学院实验室进行。

### 1.1 试验材料

1) 菌渣来源。废弃木耳菌渣来源于吉林省敦化市黄泥河镇木耳基地、吉林省汪清县天桥岭木耳基地、吉林省龙井市智新镇木耳基地。废弃木耳菌渣均为自然堆积腐熟。

2) 仪器设备。连续流动化学分析仪(QuAatroAA3)、原子吸收光谱仪(岛津 AA-6800)、纤维素分析仪(ANKOM220)、紫外可见分光光度计(天美 UV1102)等。

3) 其他供试材料。

供试水稻品种:吉粳 511。

供试水稻浸种试剂:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{FeCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{MgSO}_4$  等均为分析纯,多效唑为四川国光农化股份有限公司生产的“国光”牌可湿性

粉剂。

供试化肥(氮磷钾):硫酸铵、硫酸钾、磷酸二铵。

水稻育苗调理剂:吉林市麦立真农业科技开发有限公司生产的“麦立真”牌。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 废弃木耳菌渣理化性质的测定

所取不同年份废弃木耳菌渣,经过去残袋、风干、捣碎、过 20 目土壤筛、105 °C 烘干 48 h 后,所得的样品用于测定废弃木耳菌渣理化性质。

单位体积质量、饱和持水量、失水量测定:经 105 °C 烘干箱烘 48 h 后所得的废弃木耳菌渣材料装入内径 14.5 cm 高 30 cm 的塑料管内,上部轻放 1 kg 实物施压 24 h,测定菌渣高度变化,依据测定数据,计算废弃木耳菌渣材料体积及单位体积的废弃木耳菌渣质量;将装入同体积菌渣材料的上述塑料管底部用纱布封口后注入水至底部流水为止,24 h 后(底部已停止流水状态)测定管内水的总质量,并计算饱和持水量  $S$ ,公式为:

$$\text{饱和持水量}(S) = \frac{\text{管内水的总质量}(m_1)}{\text{管内基质材料质量}(m_2)}$$

在体积为 5 L 的容器内装满废弃木耳菌渣后,加入同等体积水,放入 80 °C 烘干箱中,每天固定时间测定水的质量变化,并计算前 5 天内总失水量,  $\text{g}/5\text{d}$ 。

菌渣的导电率、盐度、pH 测定参照程斐等<sup>[11]</sup>的方法;碱解氮用流动分析仪测定,速效磷测定采用碱溶液浸提方法,速效钾测定采用火焰光度计法<sup>[12]</sup>,秧苗基质土壤有效铁含量测定采用 DTPA 溶液浸提-原子吸收分光光度计法测定,水稻叶片有效铁含量测定采用原子吸收分光光度法<sup>[13]</sup>,有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法进行测定。可溶性物质、纤维素、半纤维素、木质素等物质含量的测定方法采用酸碱洗涤法。

#### 1.2.2 基质的配制

本研究常规育苗基质为稻田土加 1.5% 营养调酸剂(其他基质添加量相同);肥料(硫酸铵、硫酸钾、磷酸二铵)添加量均为基质质量的 0.5%。

#### 1.2.3 种子浸种、播种处理

硫酸亚铁浸种液浓度为 0.014 mol/L,多效唑浸种液浓度为 0.051 mmol/L,20 °C 浸种 72 h。稻苗育秧采用塑料育秧盘育秧,播量为 500  $\text{g}/\text{m}^2$ 。

#### 1.2.4 秧苗基本素质测定

水稻苗期的发芽率、株高、叶龄、鲜重、干重均采

用常规方法测定<sup>[14]</sup>;叶绿素含量测定采用紫外分光光度法。

### 1.3 数据处理及方法

本研究各试验数据采用 Excel 2007 软件进行处理,图表中数据以均值形式表示。文中数据统计分析采用 SPSS 17.0 进行分析,各处理间差异显著性分析采用单因素方差分析法,多重比较采用 Duncan 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 废弃木耳菌渣理化性质特征

#### 2.1.1 不同腐熟度废弃木耳菌渣主要组成成分特征

表 1 示出基质材料的主要组成成分。可知,木耳菌渣单位体积质量小于常规育苗基质,腐熟基本结束的废弃木耳菌渣单位体积质量较常规育苗基质约轻 1 倍。不同腐熟年度间单位体积质量随腐熟年

度的增加而增加。在菌渣腐熟程度上,可将同体积菌渣质量增加 2 倍粗略作为判断废弃木耳菌渣腐熟程度的简易指标。由此可知,废弃木耳菌渣作育苗基质可以减轻苗盘运输过程中的劳动强度。

废弃木耳菌渣经过 3 年自然分解、腐熟发酵过程,纤维素比下降约 35%,木质素比下降约 70%,半纤维素比变化不大,可溶性物质比增加约 40%。本研究认为菌渣主要组成成分的分解变化与微生物的分解作用有关<sup>[15]</sup>,不同主要组成成分的不同比例变化与分解微生物的种群结构、数量比及其腐熟环境条件相关<sup>[16]</sup>。总体上,废弃木耳菌渣与常规育苗基质相比,除纤维素、半纤维素比相对较高外,其他主要组成成分比相近,说明经过 3 年自然堆积腐熟过程,废弃木耳菌渣基本适宜做水稻秧苗基质材料,如果加速腐熟进程,则需添加有机肥氮源、盖膜增温等处理。

表 1 基质材料的主要组成成分

Table 1 Main components of substrate material

基质材料 Substrate material	单位体积质量 <sup>①</sup> / (g/L) Unit volume mass	质量分数 $w/\%$ Mass fraction			
		可溶性物质 Soluble matter	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	木质素 Lignin
新鲜菌渣 Fresh fungus residue	104.0±4.0 d	25.3±1.7 c	42.7±1.1 a	14.7±0.3 b	28.7±1.3 a
当年废弃菌渣 Abandoned fungus residue of the year	180.7±13.1 c	38.9±1.4 b	30.0±0.1 b	17.5±0.8 a	13.2±0.0 b
3 年腐熟菌渣 Rotten fungus residue of 3 years	393.3±26.4 b	42.9±0.8 a	27.6±0.8 c	14.4±1.3 b	8.9±0.2 c
常规育苗基质 Conventional seedling substrate	832.0±45.0 a	46.0±0.8 a	23.4±0.0 d	11.7±0.6 c	8.6±0.8 c

注:①单位体积内不同基质材料本身的质量;同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ),下表同。

Notes: ① indicates the weight of different substrate material per unit volum. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ ). The same as in following Tables.

#### 2.1.2 不同腐熟程度木耳菌渣 N、P、K 元素含量特征

不同地区废弃木耳菌渣经过 3 年自然分解、腐熟发酵过程,有效氮磷钾含量发生一定的变化(表 2)。根据全国第二次土壤普查—土壤养分分级标准可知,经过 3 年腐熟的木耳菌渣碱解氮含

量较低,属四级水平,速效磷、钾以及有机质含量属超一级水平。因此认为速效氮磷钾含量的变化趋势与木材中释放氮磷钾相关的微生物的种群结构、数量及其腐熟的环境条件相关<sup>[16]</sup>。钾与有机质含量过多也许会阻碍水稻苗期生长,有待进一步验证。

表 2 基质材料的主要营养成分

Table 2 Main nutrient content of substrate material

腐熟时间 Decomposed time	取样地点 Sampling location	$w$ (碱解氮)/(mg/kg) Alkaline nitrogen content	$w$ (速效磷)/(mg/kg) Available phosphorus content	$w$ (速效钾)/(mg/kg) Available potassium content	$w$ (有机质)/(g/kg) Organic matter content
1 年 1 year	黄泥河	35.9±1.7 d	278.7±42.9 a	486.8±13.7 e	75.3±5.7 a
	天桥岭	44.5±7.9 cd	304.3±11.2 a	572.5±43.5 d	74.7±3.1 a
2 年 2 years	黄泥河	68.7±1.9 ab	257.9±58.9 ab	606.0±4.5 cd	60.3±1.9 bc
	天桥岭	75.0±16.3 a	198.7±30.1 bc	935.5±11.3 a	62.5±4.5 b
3 年 3 years	黄泥河	40.2±3.2 cd	169.5±24.5 cd	819.0±2.9 b	55.6±2.2 c
	天桥岭	54.2±7.4 bc	121.9±27.5 d	648.5±78.1 c	53.5±3.2 c

### 2.1.3 不同腐熟程木耳菌渣的酸碱性、保水性特征

经过 3 年腐熟的废弃木耳菌渣,其电导率、盐度、pH 较常规育苗基质高,如果将未经处理的 3 年腐熟废弃木耳菌渣直接利用于水稻育苗基质,很可能产生盐害及碱性过强所引起的各种阻碍秧苗生长的现象<sup>[17]</sup>。

单位体积的腐熟木耳菌渣饱和持水量较常规育

苗基质多 3 倍以上(表 3),说明腐熟木耳菌渣的吸水能力强;同体积木耳菌渣的失水量也少于常规育苗基质,二者失水趋势变化不一致(图 1),与菌渣相比常规育苗基质前 3 天失水较多,后两天较少,说明腐熟木耳菌渣的保水能力强。因此认为,木耳菌渣稻苗基质化利用,吸水、保水性好,水分保持稳定,利于稻苗生长,同时又减少了浇水次数,减轻劳动强度。

表 3 不同腐熟程度木耳菌渣的综合指标

Table 3 Composite indicator of *Auricularia* fungus residue with different degree of maturity

基质材料 Substrate material	电导率/ ( $\mu$ S/cm) EC	盐度/ (ng/L) Salinity	pH	饱和持水量/% Saturated water capacity	失水量 <sup>①</sup> / (g/5d) Water loss
新鲜菌渣 Fresh fungus residue	1519.7±93.0 b	0.90±0.20 a	7.4±0.1 b	494.3±15.0 a	未测
当年废弃菌渣 Abandoned fungus residue of the year	623.5±460.7 c	0.85±0.09 a	7.8±0.2 a	381.0±61.8 b	106.5±0.7 b
3 年腐熟菌渣 Rotten fungus residue of 3 years	2192.3±344.7 a	0.61±0.02 b	7.4±0.1 b	273.3±29.0 c	112.5±2.1 b
常规育苗基质 Conventional seedling substrate	86.7±16.5 c	0.07±0.02 c	6.8±0.1 c	73.7±5.0 d	177.5±14.8 a

注:①表示饱和持水状态下 5 d 内总失水量。

Notes: ① indicates the total amount of water lost within five days of saturated water holding condition.

综上,3 年腐熟的废弃木耳菌渣,其主要成分、养分以及酸碱性、保水性等特性,既有利于做秧苗基

质的特性,也有不利于做苗基质的特性,不能一概地下“好坏”性结论。

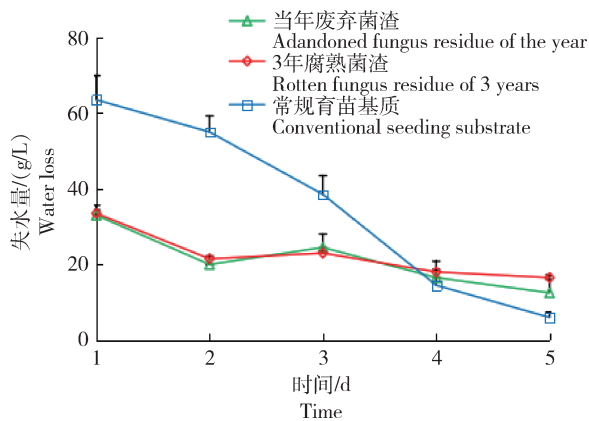


图1 木耳菌渣与常规育苗基质失水量的变化

Fig. 1 Changes of water loss in *Auricularia* fungus residue and conventional seedling substrate

## 2.2 废弃木耳基质水稻育苗基质化利用的可行性分析

### 2.2.1 不同腐熟程度木耳菌渣配制基质的水稻秧苗形态特征

表4示出不同腐熟程度木耳菌渣配制基质的水稻秧苗形态特征。可知,与常规育苗基质相比,废弃木耳菌渣配制成的育苗基质稻株高偏高、叶绿素质量浓度低、叶色偏黄。腐熟菌渣的形态特征优于

当年菌渣;添加营养调酸剂或肥料的形态特征优于不添加。结果说明,适当进行调酸处理或添加养分对叶绿素浓度的提高有一定的作用。因此认为,引起稻苗黄化的直接原因不在于亏缺氮元素;虽然对床土进行调酸处理能够缓解稻苗黄化现象,但并不是主因,因为pH 7~8的土壤做苗床土时也不出现这种程度的黄化现象。如果不能解决稻苗黄化现象,废弃木耳菌渣将无法应用于水稻育苗基质中。同时也认为,废弃菌渣的高导电率、高盐分浓度特性也是不利于稻苗正常生长的因素之一。

为进一步了解添加土壤后,水稻秧苗的形态特征,在各废弃木耳菌渣中添加了等体积的常规基质土(不加育苗调剂剂)作为一种混土基质。育苗试验结果(表5)表明,经过菌渣混土基质育苗的稻苗,叶绿素含量均有显著性提高,改善了叶色黄化现象;硫酸亚铁溶液浸种处理与对照相比,提高了叶绿素含量,改善了叶色黄化现象且效果显著,但存在株高伸长的现象。综上分析稻苗发生黄化现象的条件认为,废弃木耳菌渣作为水稻育苗基质,存在有效铁含量低的可能性。本研究分析硫酸亚铁溶液浸种处理效果与已有研究的亚铁离子溶液喷施茎叶处理及基质添加铁肥处理效果基本相似<sup>[18]</sup>。

表4 不同腐熟程度木耳菌渣配制基质的水稻秧苗形态特征

Table 4 Morphological characteristics of rice seedling with different maturity of *Auricularia* fungus residue

基质材料 Substrate material	株高/cm Plant height	叶绿素质量浓度/(mg/L) Chlorophyll mass concentration	叶色 Leaf color
常规育苗基质 Conventional seedling substrate	12.1±0.4 b	38.7±1.9 a	正常
当年废弃菌渣 Abandoned fungus residue of the year	14.1±0.9 a	20.6±1.6 c	黄
3年腐熟菌渣 Rotten fungus residue of 3 years	14.3±0.2 a	24.7±4.2 bc	黄
当年废弃菌渣+育苗调剂剂 Abandoned fungus residue of the year and seedling conditioner	14.1±1.7 a	21.8±3.0 c	黄
3年腐熟菌渣+育苗调剂剂 Rotten fungus residue of 3 years and seedling conditioner	13.9±0.7 a	28.0±2.5 b	浅黄
当年废弃菌渣+肥料 Abandoned fungus residue of the year and fertilizer	13.5±0.5 ab	21.3±3.9 c	黄
3年腐熟菌渣+肥料 Rotten fungus residue of 3 years and fertilizer	14.5±0.6 a	27.7±1.9 b	浅黄

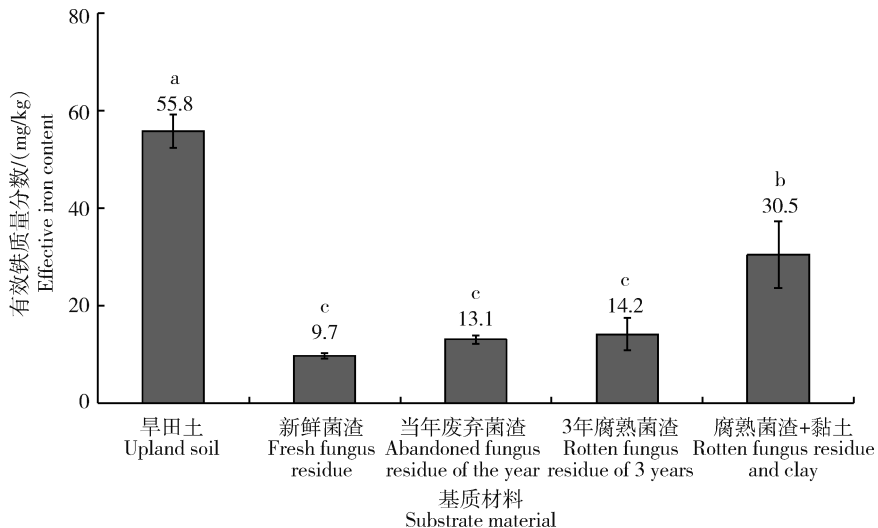
表 5 硫酸亚铁溶液浸种处理、基质添土处理对水稻秧苗形态特征的影响  
Table 5 Effects of seed soaking with ferrous sulfate solution and soil addition on morphological characteristics of rice seedlings

浸种剂 Seed soaking agent	基质材料 Substrate material	株高/cm Plant height	叶龄/片 Leaf age	叶绿素质量浓度/ (mg/L) Chlorophyll mass concentration	叶色 Leaf color
水 Water	常规育苗基质	12.4±0.8 bcde	3.7±0.1 a	34.4±1.5 bc	深绿、正常
	当年废弃菌渣	11.8±0.1 de	3.5±0.0 d	22.7±0.8 e	黄
	当年废弃菌渣+黏土	11.7±0.7 e	3.6±0.0 abcd	29.5±2.0 d	浅黄
	3年腐熟菌渣	13.4±0.4 ab	3.5±0.1 cd	29.1±0.4 d	黄
	3年腐熟菌渣+黏土	12.3±0.5 cde	3.6±0.0 abcd	33.0±0.3 c	正常
硫酸亚铁溶液 Ferrous sulphate solution	常规育苗基质	12.7±0.3 abcde	3.6±0.1 abc	35.9±1.8 ab	—
	当年废弃菌渣	12.9±0.3 abc	3.6±0.1 bcd	29.7±1.1 d	微黄
	当年废弃菌渣+黏土	12.8±0.2 abcd	3.7±0.1 ab	36.0±1.3 ab	正常
	3年腐熟菌渣	13.6±1.2 a	3.5±0.1 cd	30.4±0.9 d	微黄
	3年腐熟菌渣+黏土	12.7±0.3 abcde	3.7±0.1 ab	37.3±1.5 a	正常

2.2.2 木耳菌渣含铁量特征

为验证废弃木耳菌渣是否缺铁，对不同腐熟程度木耳菌渣配制成的基质进行有效铁含量测定，结果见图 2。可知，随着木耳菌渣腐熟程度的增加，有效铁含量逐渐增加，但仍均远小于普通土壤，与普通土壤有显著性差异；加入等体积常规基质土时，有效铁含量显著提高。依据全国土壤有效微量元素分级指标，新鲜木耳菌渣有效铁含量

达 3 级标准水平，废弃菌渣属 2 级水平，腐熟菌渣填加土壤和普通土壤的有效铁含量达到了 1 级水平。由数值分析可得，除新鲜菌渣以外，其余菌渣有效含铁量未处于严重缺乏状态。因此认为水稻苗期从自养过程转移到异养过程中吸收铁元素能力低，同时基质偏碱性导致的土壤供有效铁能力低，最终导致水稻幼苗体内铁元素的不足而引起了稻苗黄化现象。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )，下图同。

Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.

图 2 不同材料配制的基质有效铁含量

Fig. 2 Effective iron content of substrate prepared by different materials

### 2.2.3 不同基质中亚铁离子溶液处理水稻秧苗叶片含铁量特征

为进一步验证和分析菌渣的缺铁特征所诱发的秧苗黄化现象和水稻种子采取硫酸亚铁溶液浸种处理的方法控制秧苗黄化现象,分析了硫酸亚铁溶液浸种水稻种子在不同腐熟程度木耳菌渣配制成的基

质中生长的秧苗的叶片含铁量,结果见图3。可知,硫酸亚铁溶液浸种均可提高叶片含铁量,与水对照相比差异显著;在不同基质中,叶片含铁量由高到底的排序是常规育苗基质、菌渣+土壤、纯菌渣。因此认为,基质缺有效铁而植株吸收铁受限,最终导致叶片铁元素不足引发了秧苗的黄化现象。

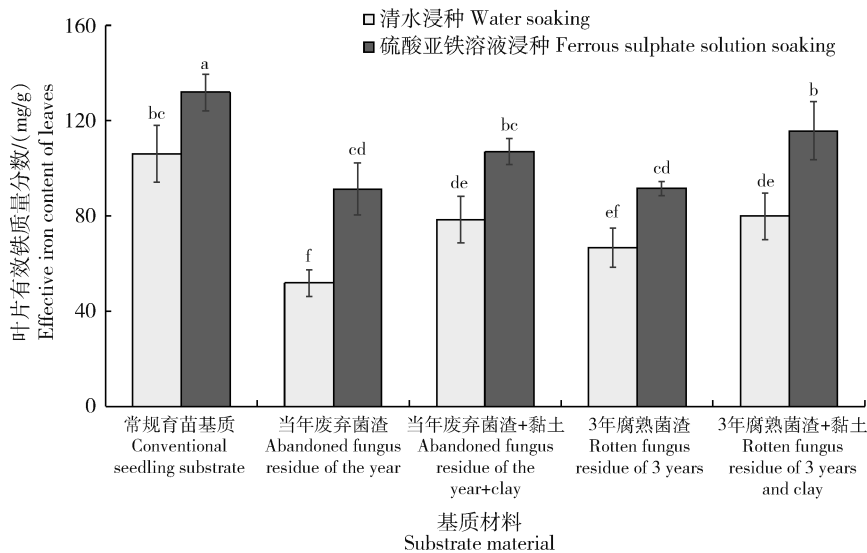


图3 水和硫酸亚铁溶液浸种对秧苗叶片有效铁含量的影响

Fig. 3 Effects of seed soaking with water and ferrous sulfate solution on the effective iron content of rice seedling leaves

### 2.3 亚铁离子溶液浸种处理秧苗期生长特性分析

为了控制亚铁离子溶液浸种处理而引发的株高“过高”的负面影响,进行了硫酸亚铁溶液与多效唑溶液混合浸种的处理。表6示出不同浸种剂浸种水稻秧苗形态特征,可知,经混合溶液处理后的株高既小于硫酸亚铁溶液单一处理和对照,又大于多效唑

溶液单一处理,且差异显著;混合溶液处理后的地上物质鲜质量小于单一硫酸亚铁溶液处理,但大于单一多效唑溶液处理;混合溶液处理后的叶色与多效唑溶液处理相同,保持浓绿状态。综上所述,硫酸亚铁溶液与多效唑溶液混合浸种处理控制了株高过高的现象,保证了叶绿素浓度水平,促进了地下部生长。

表6 不同浸种剂浸种水稻秧苗形态特征

Table 6 Morphological characteristics of rice seedlings soaked with different soaking agents

浸种剂 Seed soaking agent	株高/cm Plant height	叶龄/片 Leaf age	地上物质鲜质量/g Top fresh weight	地下物质鲜质量/g Root fresh weight	叶绿素质量浓度/ (mg/L) Chlorophyll mass concentration
水 Water	20.4±0.5 a	3.8±0.1 a	7.60±0.3 ab	1.45±0.1 b	32.3±1.0 b
多效唑溶液 Paclobutrazol solution	15.3±0.2 c	4.0±0.3 a	6.41±0.3 c	1.76±0.1 a	36.7±0.7 a
硫酸亚铁溶液 Ferrous sulphate solution	21.4±0.6 a	3.9±0.2 a	8.21±0.4 a	1.36±0.2 b	36.3±1.0 a
硫酸亚铁+多效唑溶液 Ferrous and paclobutrazol sulphate solution	17.2±1.7 b	4.1±0.1 a	7.25±0.5 b	1.62±0.2 a	36.7±0.3 a

本试验研究结果表明,经亚铁离子处理的水稻叶片叶绿素浓度提高的同时还促进株高生长,与其中胚轴的伸长相关<sup>[19]</sup>。稻苗中胚轴伸长现象也发生在水稻直播过程中还原性强的稻田土壤、水中CO<sub>2</sub>浓度高、深水灌溉等环境条件下<sup>[20-22]</sup>。亚铁离子促进水稻中胚轴伸长机理与遗传基础研究结果表明,水稻染色体上存在多位控制促进水稻中胚轴伸长的数量性状座位(QTLs),并该性状存在加性效应、与亚铁离子的互作效应<sup>[23]</sup>,说明该性状的控制基因型与环境(亚铁离子浓度)具有互作效应有关,是稻苗对不利环境条件的识别与对策。

### 3 讨论与结论

在木耳生产基地,木耳菌渣是巨大的环境污染源。依据木耳菌渣的理化性质特征,它是一种大棚土壤、沙漠化土壤、盐碱地、有机质亏缺土壤的改良剂,由于生产菌渣和需求菌渣的区域性距离问题而发生的运费成本高等难题,暂时无法输出大量废弃菌渣有机质资源到有机质欠缺区域。为了有效转化利用菌渣有机质资源,本研究基于菌渣的理化性质特征,进行了水稻育秧基质的研发。

木耳菌渣主要成分为纤维素、半纤维素、木质素,由于自然腐熟缓慢,如果不去除废弃菌渣塑料袋,则会加大腐熟难度。因此,在脱袋基础上,适当提高菌渣N、C质量比,维持湿度,覆盖塑料膜增温,会加快、提高其腐熟进程和腐熟程度。

缺铁型土壤中,经常施硫酸亚铁肥保证作物的正常生长发育<sup>[18]</sup>。与液面喷施、土壤添加等常规亚铁施法相比,硫酸亚铁溶液浸种处理,即安全又经济。水稻吸收铁元素是亚铁离子形态<sup>[24]</sup>,亚铁离子暴露于空气当中时,易氧化成3价铁离子,降低有效性的同时,易造成铁元素的过度症。

多效唑是一种控制株高伸长的抑制剂种类<sup>[25]</sup>。单一使用多效唑易发生植株过矮现象,而且水稻苗期对多效唑的剂量很敏感。

通过研究得知,纯木耳菌渣不适合做水稻育秧基质。当添加同体积稻田土时,取长补短,能保持菌渣的优势理化特性的同时,改善菌渣不适合基质化的理化特性。0.014 mol/L 硫酸亚铁与0.051 mmol/L 多效唑混合浸种液在20℃下浸种处理3 d育出的稻苗(秧龄35 d),在叶色、株高、鲜重等稻苗素质指标优于对照。

### 参考文献 References

- [1] 于海茹,王鑫,周丽洁,亢学平,胡志强,张阳. 对延边州特色产业黑木耳产业发展的思考[J]. 现代农业科技, 2016(2): 307-308  
Yu H R, Wang X, Zhou L J, Kang X P, Hu Z Q, Zhang Y. Reflections on the development of *Auricularia auricula* in Yanbian State's characteristic industry[J]. *Xiandai Nongye Keji*, 2016(2): 307-308 (in Chinese)
- [2] 王明川. 黑木耳品质评价初步研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017  
Wang M C. Preliminary study on quality evaluation of *Auricularia auricula* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017 (in Chinese)
- [3] 张丕奇,戴肖东,韩增华,马庆芳,孔祥辉,刘佳宁,陈鹤,马银鹏. 黑木耳菌渣再利用栽培黑木耳试验[J]. 食用菌, 2016, 38(4): 24-25  
Zhang P Q, Dai X D, Han Z H, Ma Q F, Kong X H, Liu J N, Chen H, Ma Y P. Experiment on the reuse and cultivation of *Auricularia auricula* [J]. *Edible Fungi*, 2016, 38(4): 24-25 (in Chinese)
- [4] 张春风,郑焕春,张季中,李国政. 黑龙江省食用菌产业发展现状及潜力分析[J]. 食用菌, 2009, 31(4): 4-5, 13  
Zhang C F, Zheng H C, Zhang J Z, Li G Z. Development status and potential analysis of edible fungi industry in Heilongjiang Province[J]. *Edible Fungi*, 2009, 31(4): 4-5, 13 (in Chinese)
- [5] 闫宝松,肖迎春,张跃新,马凤. 黑木耳废弃基质栽培平菇配方筛选试验[J]. 中国林副特产, 2011(5): 67-68  
Yan B S, Xiao Y C, Zhang Y X, Ma F. The screening ingredient test of using black agaric's abandoned matrix to plant *pluribus* [J]. *Forest by-Product and Speciality in China*, 2011(5): 67-68 (in Chinese)
- [6] 解溥,王振东,穆娟. 水稻育秧基质在寒地水稻上的应用效果[J]. 现代化农业, 2011(10): 12  
Xie P, Wang Z D, Mu J W. Application effect of rice seedling medium on rice in cold region[J]. *Modernizing Agriculture*, 2011(10): 12 (in Chinese)
- [7] 萧长亮,赵泽松,王贺,解保胜,那永光,孙刚. 育苗基质对水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 北方水稻, 2012, 42(4): 23-25  
Xiao C L, Zhao Z S, Wang H, Xie B S, Na Y G, Sun G. Effects of nursery substrate on seedling quality and yield of rice [J]. *North Rice*, 2012, 42(4): 23-25 (in Chinese)
- [8] 何青石. 食用菌菌渣作水稻育秧基质育成秧苗的优势比较及关键技术[J]. 中国稻米, 2014, 20(3): 75-76  
He Q S. Comparative advantages and key techniques of rice seedling raising with fungi residues [J]. *China Rice*, 2014, 20(3): 75-76 (in Chinese)
- [9] 刘斌,韩亚男,袁旭峰,朱万斌,王小芬,崔宗均. 木耳菌糠



- 的5种前处理对水稻育苗基质性质及稻苗生长的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(16): 3098-3107
- Liu B, Han Y N, Yuan X F, Zhu W B, Wang X F, Cui Z J. Effects of five fungal chaff pretreatment methods on substrate properties and growth of rice seedlings [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(16): 3098-3107 (in Chinese)
- [10] 周青, 陈新红, 丁静, 张国良, 王其传, 祁红英. 不同基质育秧对水稻秧苗素质的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2007, 25(1): 76-79, 85
- Zhou Q, Chen X H, Ding J, Zhang G L, Wang Q C, Qi H Y. Effect of different substrates on qualities in rice seedling[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science*, 2007, 25(1): 76-79, 85 (in Chinese)
- [11] 程斐, 孙朝晖, 赵玉国, 李式军. 芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(3): 19-22
- Cheng F, Sun Z H, Zhao Y G, Li S J. Analysis of physical and chemical properties of reed residue substrate[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2001, 24(3): 19-22 (in Chinese)
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- Bao S D. *Soil Agrochemical Analysis* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [13] 肖学明, 陈昌升, 董国文, 黄河宁. 原子吸收分光光度法测定草珊瑚中微量铁的含量[J]. 宝鸡文理学院学报: 自然科学版, 2009, 29(1): 41-44
- Xiao X M, Chen C S, Dong G W, Huang H N. Determination of trace iron in *Sarcandra glabra* by atomic absorption spectrometry[J]. *Journal of Baoji University of Arts and Sciences: Natural Sciences*, 2009, 29(1): 41-44 (in Chinese)
- [14] 《浙江农业科学》编辑部. 农作物田间试验记载项目及标准[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1982
- Editorial Department of Zhejiang Agricultural Sciences. *Field Test Record Items and Standards of Crops* [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1982 (in Chinese)
- [15] 张亭, 韩建东, 李瑾, 任海霞, 谢红艳, 任鹏飞, 宫志远. 食用菌菌渣综合利用与研究现状[J]. 山东农业科学, 2016, 48(7): 146-150
- Zhang T, Han J D, Li J, Ren H X, Xie H Y, Ren P F, Gong Z Y. Comprehensive utilization and research status of edible fungi residues[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2016, 48(7): 146-150 (in Chinese)
- [16] 张泽, 谢放, 李建宏. 香菇菌渣对土壤微生态的影响[J]. 环境污染与防治, 2013(4): 75-80
- Zhang Z, Xie F, Li J H. Study on the effect of mushroom residue on micro-ecology of soil[J]. *Environmental Pollution and Control*, 2013(4): 75-80 (in Chinese)
- [17] 杨振东, 李金哲. 水稻育秧基质板应用试验[J]. 现代化农业, 2016(1): 24-25
- Yang Z D, Li J Z. Experiment on application of rice seedling raising matrix board[J]. *Modernizing Agriculture*, 2016(1): 24-25 (in Chinese)
- [18] 田奉俊, 金玉女, 赵世龙, 朴燕, 吴用男, 金熙镛. 硫酸亚铁对水稻秧苗素质影响的分析[J]. 农业与技术, 1999, 19(5): 25-30
- Tian F J, Jin Y N, Zhao S L, Piao Y, Wu Y N, Jin X Y. Analysis of the influence of ferrous sulfate on the quality of rice seedlings[J]. *Agriculture & Technology*, 1999, 19(5): 25-30 (in Chinese)
- [19] 彭新湘. 亚铁离子对水稻萌发后幼苗生长的促进作用[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(4): 49-55
- Peng X X. Stimulation of the seedling growth of rice by ferrous ion[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1995, 3(4): 49-55 (in Chinese)
- [20] Ranson S L, Parija B. Experiments on growth in length of plant organs [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1955, 6(1): 80-93
- [21] Atwell B J, Waters I, Greenway H. The effect of oxygen and turbulence on elongation of coleoptiles of submergence tolerant and intolerant rice cultivars [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1982, 33(5): 1030-1044
- [22] Raskin I, Kende H. Regulation of growth in rice seedlings[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1983, 2(1-4): 193-203
- [23] 欧阳由男, 张秋英, 张克勤, 禹盛苗, 庄杰云, 金千瑜, 程式华. 水稻幼苗中胚轴长度 QTL 及与  $Fe^{2+}$  浓度的互作效应的遗传分析[J]. 遗传学报, 2005, 32(7): 712-718
- Ouyang Y N, Zhang Q Y, Zhang K Q, Yu S M, Zhuang J Y, Jin Q Y, Cheng S H. QTL mapping and interaction analysis of genotype  $\times$  environment ( $Fe^{2+}$  concentrations) for mesocotyl length in rice (*Oryza sativa* L) [J]. *Acta Genetica Sinica*, 2005, 32(7): 712-718 (in Chinese)
- [24] 郭薇, 王建华. EDTA-硫酸亚铁对东北地区水稻幼苗生长的影响[J]. 种子科技, 2016, 34(1): 41-44
- Guo W, Wang J H. Effects of EDTA-ferrous sulfate on the growth of rice seedlings in Northeast China[J]. *Seed Science and Technology*, 2016, 34(1): 41-44 (in Chinese)
- [25] 解文孝, 韩勇, 李建国, 刘博, 姜秀英, 刘军, 吕军, 张宇. 多效唑浸种对水稻幼苗生长的影响[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(18): 20-21, 80
- Xie W X, Han Y, Li J G, Liu B, Jiang X Y, Liu J, Lv J, Zhang Y. Effects of paclobutrazol soaking on the growth of rice seedlings[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2013, 19(18): 20-21, 80 (in Chinese)