

赵颖,何志刚,曲航,等. 不同秸秆育苗基质对水稻幼苗生长和根际微环境的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(10):100-105.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.10.014

不同秸秆育苗基质对水稻幼苗生长和根际微环境的影响

赵颖¹,何志刚¹,曲航¹,刘慧屿¹,肖劲松²

(1. 辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所,辽宁沈阳 110161; 2. 辽宁省兴城市乡村振兴服务中心,辽宁兴城 125100)

摘要:以玉米秸秆和水稻秸秆为原料制备水稻育苗基质,通过对玉米秸秆和水稻秸秆进行堆肥试验,将堆肥产物以不同比例配制成为基质,研究基质对水稻苗期植株生理指标、形态指标的影响,选择适合水稻幼苗生长的最佳基质配方。结果表明,腐熟玉米秸秆 50% + 腐殖酸 25% + 泥炭土 25% 基质(T1)所培育的水稻幼苗的地上部干质量、株高、叶绿素 SPAD 值与 CK 比较,差异达到显著水平,水稻幼苗根干质量、根长、根数,与 CK 比较,差异达到显著性水平。T1 基质物理性状良好,容重为 0.78 g/cm³,田间持水量 55.85%。生物性状显示,腐熟玉米秸秆 50% + 腐殖酸 25% + 泥炭土 25% 基质(T1)与腐熟玉米秸秆 30% + 腐殖酸 35% + 泥炭土 35% 基质(T2)处理聚为一类,这一类群主要的菌群是假单胞菌属、土地杆菌属等;腐熟水稻秸秆 50% + 腐殖酸 25% + 泥炭土 25% 基质(T3)和腐熟水稻秸秆 30% + 腐殖酸 35% + 泥炭土 35% 基质(T4)处理聚为一类,主要菌群是假黄色单胞菌属和寡养食单胞菌属等,2 个类群菌群丰度均高于 CK。综合比较,T1 体积配比的复合育苗基质更适合水稻幼苗生长发育,可以在实践中应用推广。

关键词:秸秆;基质化;水稻幼苗;最佳配比;根际微生物;生理指标;形态指标

中图分类号:S511.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)10-0100-05

秸秆是极为丰富且能直接利用的可再生有机资源^[1]。但秸秆大量丢弃或焚烧,不仅造成资源浪费,还加剧了大气污染^[2]。水稻是辽宁省种植面积仅次于玉米的第二大作物^[3]。我国大部分地区机插水稻采用水稻土育苗和营养土基质育苗 2 种方式,长期存在取土量大、取土困难、容易发生土传病害、除草剂残留影响出苗等问题^[4]。并严重破坏当地土壤资源,影响周边植被的结构、打破生态平衡^[5]。因此,利用农作物秸秆等有机废弃物研制无土水稻育苗基质,是辽宁省乃至全国发展优质绿色稻米产业的首要任务之一^[6-7],不仅提高了废弃资源利用率,还能改善水稻基质育苗品质,对水稻种植的可持续发展具有重要的现实意义。

秸秆栽培基质已在欧洲和北美等地得到广泛应用^[8]。我国对育苗基质的研究与应用较晚,起步于 20 世纪 70 年代温床育苗技术的引入^[9]。20 世纪 90 年代后,国内诸多学者开始自主研发应用基于

农作物秸秆的育苗基质。例如,周青等以秸秆等为主要原料制备的轻型有机基质可使水稻秧苗植株高大、叶片颜色深绿、叶绿素含量高、可溶性糖含量高^[10]。赵伯康等利用秸秆、牛粪等废弃物经高温发酵、腐熟处理后制成的基质育苗,能促进秧苗生长,但制作程序繁琐、育苗成本高^[11]。任兰天等将小麦秸秆制备成育苗基质材料,在烟草育苗上取得了明显成果^[12];徐明辉等对菌糠进行研究,制备的育苗基质在辣椒上育苗效果较好^[13]。巩芳娥等研究了玉米秸秆与牛粪发酵制备的育苗基质在辣椒上育苗的效果良好^[14]。但是现阶段育苗基质还存在应用效果不稳定、基质配制没有统一标准等问题。鉴于此,笔者通过研究玉米秸秆和水稻秸秆不同配比育苗基质的微环境变化以及基质对水稻幼苗生长性状的影响,以期对水稻育苗基质研究提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2019 年 11 月至 2020 年 4 月,玉米和水稻秸秆堆肥试验及配比育苗试验在辽宁省农业科学院室内试验基地进行,复合微生物菌剂(辽宁省农业科学院研制),有效菌种为枯草芽孢杆菌、酵母等,有效菌数达到 5×10^7 CFU/g,菌剂添加量:复合微生

收稿日期:2022-08-07

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0300700-A07A);辽宁省成果转化项目(编号:2020210101001511)。

作者简介:赵颖(1967—),女,辽宁沈阳人,副研究员,主要从事农作物施肥技术研究。E-mail:1984838601@qq.com。

通信作者:何志刚,硕士,副研究员,主要从事土壤培肥技术研究。E-mail:hezhang1227@sina.com。

物菌剂 4 kg/t。玉米秸秆和水稻秸秆均为 2019 年辽宁省农业科学院周边种植基地利用秸秆收集打包机收集打包的产物,其中,玉米秸秆与水稻秸秆的理化性质见表 1。碳氮调节剂:尿素(含 N 46%)。

表 1 不同秸秆理化性质

| 物料 | 含水量 (%) | 全氮含量 (%) | 全磷含量 (%) | 全钾含量 (%) |
|------|---------|----------|----------|----------|
| 水稻秸秆 | 14.8 | 0.38 | 0.11 | 0.19 |
| 玉米秸秆 | 11.9 | 0.62 | 0.09 | 0.28 |

1.2 秸秆堆肥试验

试验地点:辽宁省农业科学院西地试验基地(123°55'43.16"E,41°82'17.74"N)。

本研究设置 2 个处理:(1)处理 A:1 t 玉米秸秆,添加复合微生物菌剂 4 kg/t、碳氮调节剂 8 kg。(2)处理 B:1 t 水稻秸秆,添加复合微生物菌剂 4 kg/t、碳氮调节剂 8 kg。

流程:将粉碎的玉米秸秆、水稻秸秆(长度 ≤ 10 cm)均匀铺于地表,分别撒复合微生物菌剂和碳氮调节剂,踩实,直到堆肥高度达到 1.4 m。试验重复 3 次,共堆积 45 d。试验开始时间:2019 年 3 月 13 日至 2019 年 4 月 29 日。

1.3 秸秆堆肥产物基质试验

试验共设 5 个处理,详细配比见表 2。

表 2 不同复配比例基质

| 处理 | 秸秆 | 秸秆比例 | 腐殖酸比例 | 泥炭土比例 |
|----|------|------|-------|-------|
| T1 | 玉米秸秆 | 50 | 25 | 25 |
| T2 | 玉米秸秆 | 30 | 35 | 35 |
| T3 | 水稻秸秆 | 50 | 25 | 25 |
| T4 | 水稻秸秆 | 30 | 35 | 35 |
| CK | 水稻土 | 0 | 0 | 0 |

试验地点:辽宁省农业科学院西地试验基地(123°55'43.16"E,41°82'17.74"N)。

试验前期秸秆发酵产物粉碎后过 40 目筛,水稻种子(辽粳 401),2019 年 5 月 5 日整地作床,5 月 7 日浸种,5 月 9 日穴盘播种。育苗盘使用 72 穴,每穴 2 粒水稻种子,定植 1 株,每盘重复 3 次,随机区组排列。整个试验阶段,温度(25 ℃左右)、湿度(80%左右)及其他管理同当地水稻育苗^[12]。腐殖酸和泥炭土采购自辽宁先丰农业科技有限公司。

1.4 测定方法

1.4.1 堆肥测定项目与方法 测定堆肥过程的温

度变化。堆肥结束后应用国标 NY 525—2012《有机肥料标准》^[15]采样并分析堆肥后秸秆中氮(N)、五氧化二磷(P₂O₅)、氧化钾(K₂O)及有机质含量和酸碱度(pH 值)。

1.4.2 基质物理性质的测定 测定容重、田间持水量等^[12]。

1.4.3 水稻幼苗生理指标的测定 在播种后 20 d 选择有代表性的幼苗 30 株,测定水稻地上部生理指标及地上部干质量、根干质量等,叶绿素仪测定水稻叶绿素 SPAD 值。

1.4.4 微生物群落样品采集与测定 采用多点取样法采集水稻育苗基质根部样品,采集的样品用冰盒保存送至北京百迈客生物科技有限公司应用 Illumina 平台的 HiSeq 进行测序^[11]。

1.5 数据分析和处理

微生物种群测序结果通过北京百迈客生物科技有限公司百迈云平台进行数据分析。常规数据采用 Excel 进行分析作图,SPSS 22.0 软件统计分析^[16]。

2 结果与分析

2.1 秸秆堆肥理化性质变化

2.1.1 温度变化 由图 1 可见,在外界温度为 2 ℃条件下进行的秸秆堆肥,处理 A 表现为升温快,持续时间长,在处理后 2 d 达到 54.0 ℃,处理后 8 d 达到最高峰 75.9 ℃,持续高温 50 ℃以上达到 36 d;处理 B 在处理后 4 d 达到 48.5 ℃,发酵过程中翻堆对处理 B 影响较大,温度下降后上升,呈现波峰-波谷趋势,处理后 9 d 达到最高峰 71.5 ℃,持续高温 50 ℃以上达到 22 d。

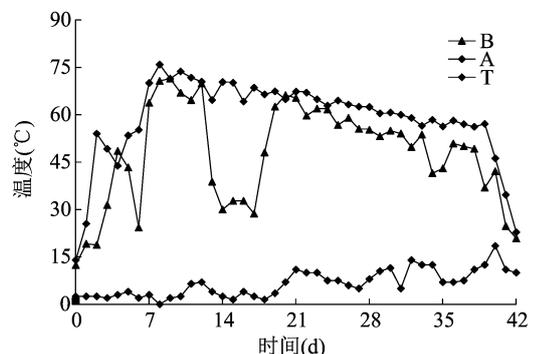


图 1 不同秸秆堆肥温度变化情况

2.1.2 秸秆养分变化 在堆肥过程中,随堆肥体积和质量的不断减少,发生养分的“浓缩效应”^[17]。在第 45 天时,处理 A 物料中的氮、磷、钾含量分别

达到 1.51%、0.34% 和 0.99%。处理 B 物料第 45 0.72%，可能是由于 2 种不同秸秆原料发酵所致（表 3）。

表 3 不同秸秆堆肥养分变化

| 处理 | 有机质含量 (%) | pH 值 | 氮含量 (%) | 磷含量 (%) | 钾含量 (%) |
|----|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A | 76.10 ± 3.21a | 6.75 ± 0.06a | 1.51 ± 0.03a | 0.34 ± 0.01a | 0.99 ± 0.08a |
| B | 73.60 ± 0.61a | 6.48 ± 0.06b | 0.98 ± 0.01b | 0.24 ± 0.00b | 0.72 ± 0.05b |

注：同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同处理基质理化性质变化

育苗基质较理想的容重范围为 0.1 ~ 0.8 g/cm³，总孔隙度为 50% ~ 96%^[12]。从表 4 中可以观察到，容重为 CK > T2 > T4 > T1 > T3，田间持水量为 T3 > T1 > T4 > T2 > CK，处理间差异显著，酸碱度 T1 > T2 > CK > T4 > T3。与 CK 比较，在添加作物秸秆后各处理容重随添加比例升高呈下降趋势，田间持水量呈上升趋势。

表 4 不同复配比例基质理化性质

| 处理 | 容重 (g/cm ³) | 田间持水量 (%) | pH 值 |
|----|-------------------------|----------------|---------------|
| T1 | 0.78 ± 0.02d | 55.85 ± 1.59bc | 6.81 ± 0.05a |
| T2 | 0.98 ± 0.02b | 40.62 ± 2.51c | 6.72 ± 0.01ab |
| T3 | 0.74 ± 0.01d | 62.55 ± 1.34a | 6.53 ± 0.04c |
| T4 | 0.87 ± 0.02c | 51.90 ± 2.86b | 6.63 ± 0.04bc |
| CK | 1.08 ± 0.01a | 38.57 ± 1.73c | 5.60 ± 0.06d |

2.3 不同处理基质水稻育苗生育性质变化

2.3.1 不同处理基质水稻育苗对地上部生长特征

影响株高是反映水稻整齐度的特征，过高和过低都会对水稻插秧有影响^[12]。从表 5 中可以观察到株高为 CK > T1 > T4 > T2 > T3，各处理与 CK 之间差异显著。叶绿素含量反映其光合作用的强弱，直接影响水稻后期的产量^[5]。叶绿素 SPAD 值表现为 T4 > T3 > T1 > T2 > CK，各处理与 CK 之间差异显著。茎基宽为 T1 = T4 > T3 > T2 > CK，T1、T3、T4 处理与 CK 之间差异显著。叶龄为 T4 > T1 > T2 > T3 > CK，T1、T4 处理与 CK 之间差异显著。地上部干质量为 T4 > T1 > CK > T2 > T3，T4、T1 与 CK 之间差异显著。

2.3.2 不同处理基质水稻育苗对地下部生长特征

影响水稻的根系不仅是养分水分的吸收器官，对秧苗盘根性也有较大影响，并影响大田机插质量^[14]。从表 5 中可以观察到根长为 T1 > T4 > T2 > T3 > CK，处理与 CK 之间差异显著。从表 5 中可以观察到根数 T1 > T3 > T4 > T2 > CK，除 T2 处理外，其他与 CK 之间差异显著。根干质量为 T1 > T3 > T4 > T2 > CK，与根数变化趋势相同。

表 5 不同处理基质水稻育苗生育指标变化

| 处理 | 地上部干质量 (g/株) | 根干质量 (g/株) | 叶绿素 SPAD 值 | 叶龄 (d) | 株高 (cm) | 根长 (cm) | 根数 (个) | 茎基宽 (cm) |
|----|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|---------------|
| T1 | 0.22 ± 0.01a | 0.11 ± 0.01a | 33.81 ± 0.09a | 3.44 ± 0.05a | 15.12 ± 0.59b | 6.18 ± 0.11a | 10.95 ± 0.58a | 2.47 ± 0.16a |
| T2 | 0.18 ± 0.01b | 0.07 ± 0.01c | 33.43 ± 0.12a | 3.23 ± 0.11b | 13.08 ± 0.11c | 5.76 ± 0.20b | 8.79 ± 0.12c | 2.37 ± 0.12ab |
| T3 | 0.17 ± 0.02b | 0.10 ± 0.01b | 33.93 ± 0.10a | 3.22 ± 0.09b | 11.53 ± 0.56d | 5.54 ± 0.21b | 10.07 ± 0.57ab | 2.43 ± 0.15a |
| T4 | 0.23 ± 0.01a | 0.09 ± 0.00b | 33.97 ± 0.11a | 3.46 ± 0.11a | 13.44 ± 0.11c | 5.83 ± 0.10b | 9.08 ± 0.01bc | 2.47 ± 0.06a |
| CK | 0.19 ± 0.01b | 0.06 ± 0.01c | 29.67 ± 0.95b | 3.14 ± 0.08b | 18.04 ± 0.57a | 5.00 ± 0.12c | 8.77 ± 0.07c | 2.17 ± 0.15b |

2.4 不同处理根际细菌群落生物多样性的变化

2.4.1 根际细菌物种种群丰度的变化

从表 6 可以观察到腐熟秸秆处理均可以增加育苗基质根际细菌生物多样性，OTU 数量均有所增加，其中 T1、T4 处理比 CK 分别提高了 78.66、110.33 个；种群丰度结果表明，T1 和 T4 处理的 ACE 指数均有所增高，分别提高了 64.74 和 98.18，与 CK 相比差异显著；Shannon 指数也有所增加，T1 和 T4 处理分别提高了

0.75 和 0.69，与 CK 相比差异显著。以上结果说明，在水稻育苗中，腐熟秸秆作为基本原料配合其他基质可以增加细菌的多样性和丰富度。

2.4.2 根际细菌种群种属成分分析

观察不同处理 Venn 图(图 2)可见，5 个处理优势属数量共有 2 467 个，其中共同存在优势种属有 298 个；T4 优势属种类达到 511 个，在各处理中最多；T2 优势属种类达到 476 个，在各处理中最少。

表 6 不同处理微生物丰富度和多样性指数

| 处理 | 有效 OTU 数 (个) | ACE 指数 | Shannon 指数 |
|----|-----------------|-----------------|---------------|
| T1 | 406.33 ± 8.76ab | 454.69 ± 1.89ab | 4.17 ± 0.12a |
| T2 | 378.67 ± 20.88b | 441.09 ± 11.52b | 3.57 ± 0.23ab |
| T3 | 372.33 ± 9.17b | 436.32 ± 16.75b | 3.68 ± 0.36ab |
| T4 | 438.00 ± 4.16a | 488.13 ± 4.99a | 4.11 ± 0.08ab |
| CK | 327.67 ± 10.04c | 389.95 ± 11.28c | 3.42 ± 0.14b |

聚为一类,位于第 3 象限,分布在 PC2 轴反向。CK 位于第 1 象限分布在 PC1 轴正向。

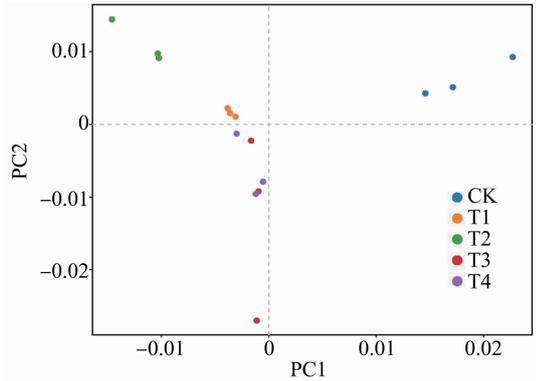


图 4 不同处理微生物群落结构的主成分分析

进一步对不同处理 UPGMA 聚类热图进行分析,如图 5 所示,不同处理微生物群落结构差异变化显著,与主成分分析图结论一致。

2.5 基质理化性质与细菌群落纲水平的关系

由图 6 结果表明,容重和田间持水量对土壤细菌群落结构有显著影响,并可以解释细菌群落结构总变异度的 32.47%。容重主要影响 T1、T3、T4 处理。田间持水量影响的主要是 CK 和 T2 处理;进一步发现影响的菌群不同,其中假单胞菌、黄杆菌、短波单胞杆菌与容重所处同一象限,表现显著正相关;藤黄色杆菌、双孢菌与田间持水量所处同一象限,表现显著正相关。

3 讨论

目前,水稻育苗一直都是水稻生产环节中重要的环节之一。将秸秆进行堆腐处理后作为育苗基质进行水稻育苗,不仅可以有效降低对环境的污染、减少对耕地资源的破坏,也可为水稻生产提供优良的育苗基质^[12]。

由本试验结果可知,50% 腐熟的玉米秸秆替代草炭后,基质的物理指标等均符合行业标准,郑爱军等研究表明,作物秸秆制备的水稻育苗基质,使水稻苗根系发达、植株挺拔^[18-20]。本研究结果显示,T1 基质所培育的水稻幼苗的地上部干质量、株高、叶绿素 SPAD 值与 CK 比较,差异达到显著水平,与以上研究结果相似,张琼芬等研究结果表明,利用 60% 的玉米秸秆替代草炭可节约 284.5 元/hm²^[21],本研究结果与之相似,辽宁省玉米秸秆资源丰富,价格低廉,取代草炭符合现代农业发展要求,具有较好的经济效益与社会效益。

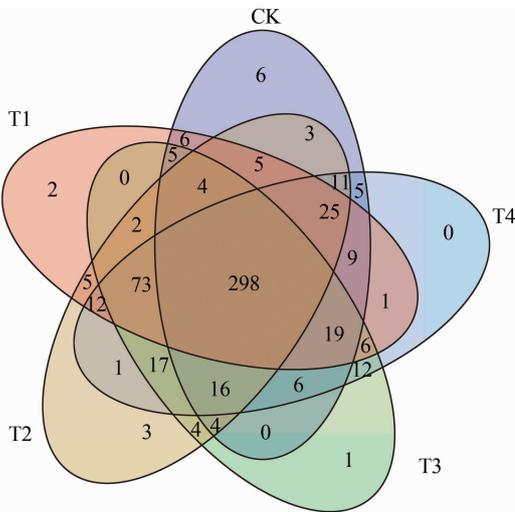


图 2 不同处理优势细菌 Venn 图

进一步观察图 3 柱状图 5 个处理中,CK 处理菌群丰度较差,T1 处理菌群分布较为均匀,其次是 T2 处理,这一类群主要的菌群是假单胞菌属、土地杆菌属、短波单胞菌属、根瘤菌属;T3 和 T4 处理主要菌群是假黄色单胞菌属、寡养食单胞菌属、根瘤菌属、短波单胞菌属。

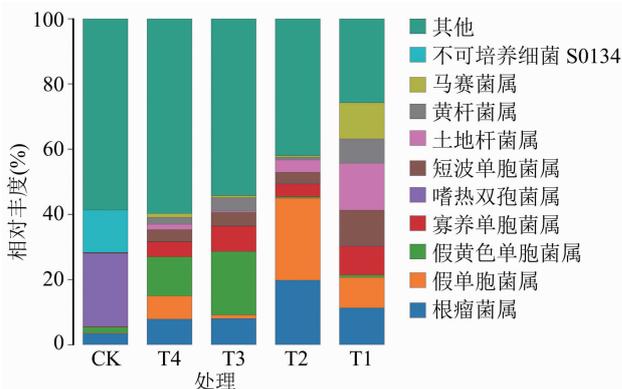


图 3 不同处理优势细菌属水平类群比较

2.4.3 根际细菌种群种属趋势分布特征 如图 4 所示,不同处理细菌群落变化差异明显。各处理分为三大类群,CK 为一类;处理 T1 和 T2 聚为一类,位于第 2 象限,分布在 PC2 轴正向;处理 T3 和 T4

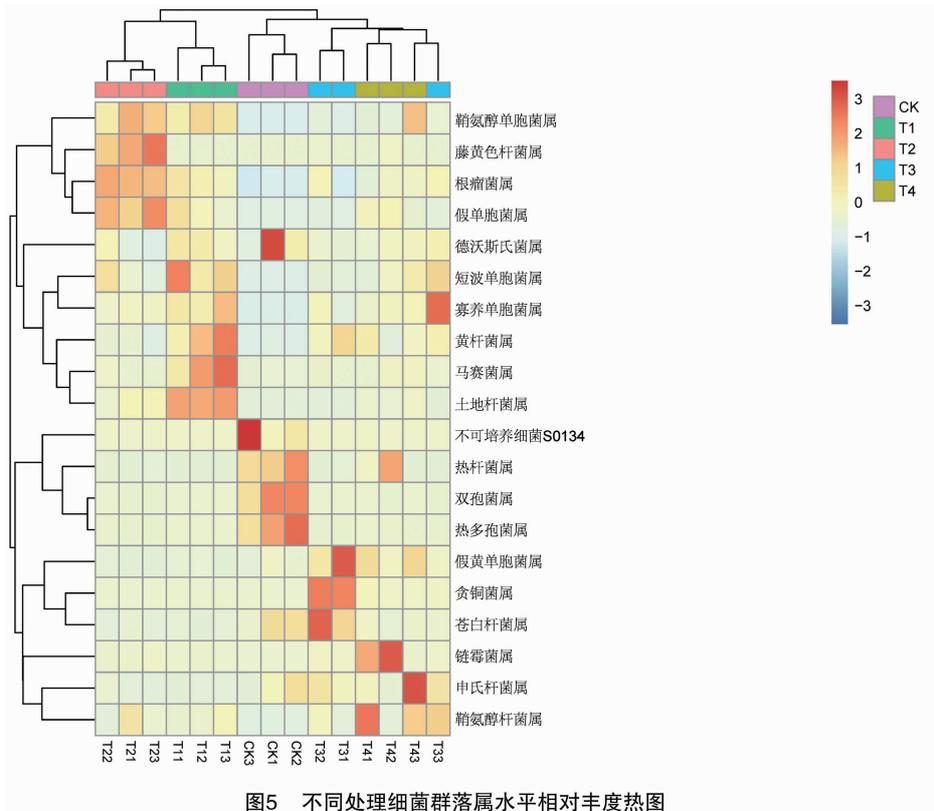


图5 不同处理细菌群落属水平相对丰度热图

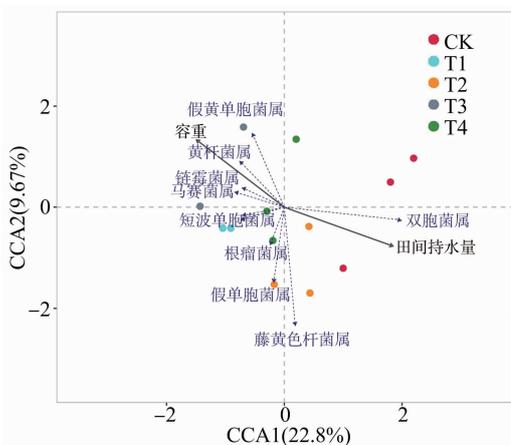


图6 属水平不同处理细菌菌群与基质容重和田间持水量冗余分析

4 结论

本研究结果表明, T1 腐熟玉米秸秆 50% + 腐殖酸 25% + 泥炭土 25% 基质所培育的水稻幼苗的地上部干质量、株高、叶绿素 SPAD 值与 CK 比较, 差异达到显著水平, 水稻幼苗根干质量、根长、根数, 与 CK 比较, 差异显著, 其中株高为 15.12 cm、地上部干质量为 0.22 g/株、根干质量 0.11 g/株。T1 基质物理性状良好, 容重为 0.78 g/cm³, 田间持水量 55.85%。生物性状显示, T1 与 T2 处理聚为一类, 这一类群主要的菌群是假单胞菌属、土地杆菌属等; T3 和 T4 处理

聚为一类, 主要菌群是假黄色单胞菌属和寡养食单胞菌属等, 2 个类群菌群数量均高于 CK。该体积配比的复合育苗基质更适合水稻幼苗生长发育, 可以在实践中应用推广。

参考文献:

[1] 刘慧屿, 何志刚, 刘 艳, 等. 低温堆腐与秸秆深翻还田对玉米产量及土壤微生物群落的影响[J]. 土壤通报, 2021, 52(4): 873 - 884.

[2] 陈亚楠, 张长华, 梁永江, 等. 玉米秸秆堆肥的田间积制和原位还田肥效[J]. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3507 - 3513.

[3] 高继平, 隋阳辉, 霍铁琼, 等. 生物炭用作水稻育苗基质的研究进展[J]. 作物杂志, 2014(2): 16 - 21.

[4] 李金文, 熊又升, 鲁寒英, 等. 秸秆与啤酒淤泥堆肥基质调控及水稻育苗应用效果评价[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(7): 54 - 57, 95.

[5] 郝 冰, 郭哈伦, 任兰天, 等. 小麦秸秆基水稻育苗基质最佳配比研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(8): 33 - 37.

[6] Bu R Y, Ren T, Lei M J, et al. Tillage and straw - returning practices effect on soil dissolved organic matter, aggregate fraction and bacteria community under rice - rice - rapeseed rotation system [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020, 287: 106681.

[7] 张洪程, 龚金龙. 中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探讨[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1273 - 1289.

[8] Diver S. Organic greenhouse vegetable production [J]. Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology & Strabismus, 2000, 14(1): e32.

郑明阳,周锐,熊敏先,等. 植物生长调节剂对青稞种子萌发、幼苗生长及耐旱性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(10):105-112.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.10.015

植物生长调节剂对青稞种子萌发、幼苗生长及耐旱性的影响

郑明阳,周锐,熊敏先,黄乙琼,崔岚冰,李彦,卢志豪,吴迪

(成都理工大学生态环境学院/国家环境保护水土污染协同控制与联合修复重点实验室,四川成都 610059)

摘要:为探究不同浓度的矮壮素(CCC)、赤霉素(GA₃)、乙烯利(ETH)浸种对青稞种子萌发和幼苗生长的影响,以高旱地区常见作物青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.)为试验材料进行浸种试验,测定了青稞种子的发芽率、发芽势及青稞幼苗的根长与芽长,并通过20% PEG-6000模拟干旱胁迫,探究3种植物生长调节剂浸种与喷施2种方法对青稞幼苗耐旱性的影响,测定脯氨酸(Pro)、丙二醛(MDA)含量及超氧化物歧化酶(SOD)活性,并利用隶属函数方法对青稞幼苗耐旱性进行综合评价,为减轻干旱对青稞的危害、提高青稞的产量供理论依据。结果表明:(1)40 mg/L矮壮素,100、250 mg/L赤霉素和200 mg/L乙烯利浸种处理显著提高青稞种子的发芽率与发芽势。(2)400 mg/L赤霉素浸种处理显著增加青稞幼苗的根长和芽长,200 mg/L乙烯利浸种处理显著增加青稞幼苗芽长。(3)在12个处理中,筛选到3个强耐旱处理和3个耐旱处理,其中,200 mg/L乙烯利浸种处理显著提高干旱胁迫下青稞幼苗的Pro含量和SOD活性,降低MDA含量,为提高青稞耐旱性的最佳处理方式。综上所述,适宜浓度的植物生长调节剂能促进青稞种子萌发、幼苗生长,增强青稞的耐旱性,且以200 mg/L乙烯利浸种处理效果最佳。

关键词:干旱;青稞;植物生长调节剂;耐旱性

中图分类号:S512.301 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)10-0105-08

干旱是影响植物生长发育和产量品质的重要

环境因素之一,干旱地区因水资源缺乏导致农作物减产甚至死亡,对全球粮食安全造成严重威胁^[1-2]。研究发现,植物可通过一定途径响应干旱胁迫^[3],如根系的加速生长以吸收更多水分、脯氨酸(Pro)的积累以调节渗透胁迫^[4]、抗氧化酶系统如超氧化物歧化酶(SOD)活性的升高以清除体内活性氧自由基及膜脂过氧化导致丙二醛(MDA)含量升高等^[5-6]。因此,这3个指标也常被用来评估作物的耐旱性^[7-8],但单个指标评估耐旱性仍缺乏说服力,

收稿日期:2022-07-26

基金项目:四川省科技计划项目(编号:2019YFS0060、2022JDRC0105);国家环境保护水土污染协同控制与联合修复重点实验室开放基金(编号:GHBK-2020-014);成都理工大学骨干教师发展资助计划(编号:10912-KYGG2019-07328)。

作者简介:郑明阳(1997—),男,四川德阳人,硕士研究生,主要从事生物化学与分子生物学研究。E-mail:736307846@qq.com。

通信作者:吴迪,博士,讲师,主要从事植物逆境生理与分子调控研究。E-mail:wudi18@cdut.edu.cn。

[9]张均华,黄晶,徐青山,等. 水稻无土育秧基质研究进展[J]. 中国稻米,2020,26(5):40-44.

[10]周青,陈新红,丁静,等. 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.

[11]赵伯康,孙华香,王强盛. 机插水稻基质育秧技术初探[J]. 江苏农业科学,2012,40(2):48-49.

[12]任兰天,刘庆,梅艳艳,等. 小麦秸秆漂浮育苗基质对烟苗生长的影响[J]. 中国烟草科学,2017,38(3):26-29,36.

[13]徐明辉,梁明勤. 菇渣在辣椒育苗上的应用效果试验[J]. 北方园艺,2010(10):62-64.

[14]巩芳娥,张国斌,李雯琳,等. 不同配比基质对黄瓜穴盘幼苗生长的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2011,46(5):59-64.

[15]黄锦法,倪雄伟,石艳平,等. 基于NY 525—2012的嘉兴商品有机肥标准制定[J]. 浙江农业科学,2013,54(1):89-91.

[16]何志刚,刘慧屿,刘艳,等. 基于高通量测序技术筛选低温秸秆降解菌群的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2021,41(6):75-84.

[17]何志刚,孙军德. 复合微生物菌剂在牛粪堆肥中的试验研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(16):4922,4933.

[18]郑爱军. 水稻有机基质育秧技术[J]. 天津农林科技,2013(4):18.

[19]梁启全,王智华. 寒地水稻工厂化育苗基质研究初报[J]. 黑龙江农业科学,2013(7):23-26.

[20]郝冰,郭哈伦,任兰天,等. 应用小麦秸秆基质育苗对水稻幼苗形态指标和生理指标的影响[J]. 现代农业科技,2020(3):6-10.

[21]张琼芬,杜如万,施继辉,等. 烤烟漂浮育苗基质替代研究[J]. 中国烟草科学,2012,33(1):56-59.