王文婷,陈润泽,王淳钰,等.低量添加太湖淤泥促进高羊茅出苗及生长[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(2):32-40.
Wang W T, Chen R Z, Wang C Y, et al.Promotion of tall fescue seedling gemination and growth by adding low levels of Taihu sediment[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(2):32-40.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202311022

低量添加太湖淤泥促进高羊茅出苗及生长

王文婷[1,2],陈润泽[1,2],王淳钰[1,2,3],王凤鲁[1,2,3],汤耀中[3,4],朱秀妹[3,4],池华聚[5],刘铮[6*],刘欣宇[1,3,6*]

(1.中国农业大学 有机循环研究院(苏州),江苏 苏州,215100;2.中国农业大学 资源与环境学院,北京,100083;3.江苏昆山果蔬科技小院,江苏 苏州,215300;4.昆山悦丰岛有机农副产品基地有限公司,江苏 苏州 215300;5.新疆理工学院,新疆 阿克苏,843100;6.辽宁省农业科学院 农村经济研究所,辽宁 沈阳,110161)

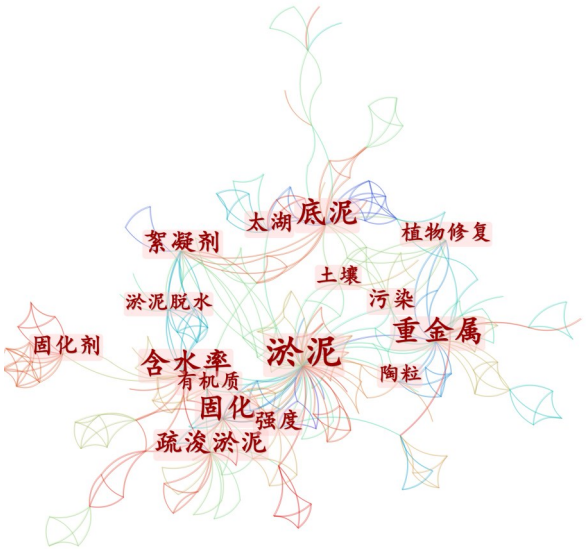
摘　要:[目的]研究栽培介质中添加太湖淤泥对高羊茅种子萌发和幼苗生长的影响,可促进水域淤泥在园林绿化方面应用研究。[方法]利用太湖淤泥与蛭石按照25%的体积梯度配制栽培介质,分别设计100%蛭石(T1)、25%太湖淤泥+75%蛭石(T2)、50%太湖淤泥+50%蛭石(T3)、75%太湖淤泥+25%蛭石(T4)和100%太湖淤泥(T5)共5个处理,将高羊茅种子点播于不同栽培介质中,通过出苗率和株高等植物性状指标判断各处理的栽培效果,同时利用各处理浸提液探索其对高羊茅种子萌发的影响。为判断影响高羊茅幼苗生长的关键因素,利用各处理浸提液对高羊茅幼苗开展水培试验,测定各处理幼苗的生长指标。[结果]随着太湖淤泥添加量的增加,高羊茅种子的根长、发芽势和发芽指数均实现了显著的提升,各处理的发芽率均为100%。作为栽培介质,太湖淤泥的最适宜添加量为25%,随着太湖淤泥添加量的提升,高羊茅幼苗的出苗率、株高、叶绿素含量、根长和生物量等指标均呈现明显下降趋势。相关性分析表明,栽培介质的容重、pH、碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量与高羊茅幼苗的生长指标均呈现负相关关系。随着太湖淤泥添加量的提升,栽培介质浸提液对高羊茅幼苗的生长指标均呈现了显著的促生效果。[结论]太湖淤泥在与蛭石配比而成的栽培介质中的添加量为25%时能够对高羊茅幼苗生长起到一定的促进作用,但超过25%的添加量则会起到抑制效果。太湖淤泥的物理性质尤其是容重,是影响栽培效果的关键因素。

关键词:淤泥; 高羊茅; 绿化草皮基质; 种子萌发; 幼苗生长
中图分类号:S476　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)02-0032-09

水域淤泥的科学处理素来是学界的重点研究问题。水域淤泥是一种天然含水量大于流性界限,孔隙比大于1.5的软土,总体上包括河道淤泥、湖沼淤泥和海湾淤泥,具有力学强度低、压缩性强等特点[1]。随着我国疏浚工程行业的不断发展,水域淤泥的产量与日俱增[2]。根据中华人民共和国水利部的统计,2021年我国主要河流的输沙量为3.31×10^9 t,三峡水库库区的泥沙淤积量为7.16×10^7 t。面对产量如此巨大的水域淤泥,众多学者提出了一系列的处理途径(图1),其中相当一部分研究倾向于将其应用于建筑材料的研制[3-5]。而水域淤泥中通常富含有机质和大量可供植物吸收的营养元素,基于这一特性,将水域淤泥进行土壤化利用也成为了近年的研究热点之一[6-8]。但存在于水域淤泥中的重金属元素使其在农业生产过程中的应用存在较大的隐患,因此将水域淤泥应用于园林绿化方面在当前属于较为安全稳妥的办法[9]。

收稿日期:2023-11-05　　**修回日期**:2024-01-16
基金项目:国家自然科学基金面上项目(32071552);城乡和住房建设部科技示范项目(S20220395);江苏省碳达峰碳中和科技创新专项(BM2022006);辽宁省社会科学规划基金项目(L21CJY016);辽宁省科学事业公益研究基金(软科学研究)计划项目(2022JH4/10100050);苏州市农业科技创新项目(SNG2021012)
作者简介:王文婷(ORCID:0009-0009-6333-0051),硕士研究生,研究方向:有机废弃物资源化利用,E-mail:2295075156@qq.com
*通信作者:刘铮(ORCID:0009-0009-3534-0623),博士,助理研究员,研究方向:资源利用与农业经济研究,E-mail:393468348@qq.com;刘欣宇(ORCID:0000-0001-5655-1301),硕士,助理研究员,研究方向:有机废弃物资源化利用,E-mail:liuxinyu@oricau.cn

我国关于水域淤泥在园林绿化方面应用的研究起步相对较晚,成果数量较为有限,主要的应用方向包括黑麦草[6]、白蜡大乔木[10]、一串红[11]等花草树木的栽培。根据上述研究结果,单独使用水域淤泥很难达到促进绿化作物正常稳定生长的效果,而经过一定处理后的水域淤泥往往能够实现较好的促生效果。例如,添加3%的固化剂后,湖底淤泥对高羊茅和黑麦草的出苗率、株高和植被指数均起到了明显的提升作用[12]。将河道淤泥与有机废弃物混合后进行杭白菊的栽培,发现混合物对于杭白菊的开花数、养分含量的吸收均有较好的促进作用[13]。出现这种情况的原因主要是水域淤泥较为特殊的物理性质,尤其是容重和孔隙度2项指标相对于旱田土壤往往存在较大的差异。因此,对水域淤泥物理性质进行改良是将其在园林绿化方向进行资源化利用的重点问题。本研究选取太湖淤泥作为制备绿化草皮基质的研究对象,从相关绿化草皮基质的理化性质、草种萌发情况和幼苗生长3个方面展开研究,旨在探索太湖淤泥基质化利用的可行性,并为其它地区的水域淤泥的资源化利用提供较为科学的参考依据。



计量分析选取来自CNKI的学术期刊论文、毕业论文、会议论文457篇

A total of 457 academic journal papers, theses and conference papers from CNKI were selected for econometric analysis

图1　基于Citespace的水域淤泥资源化利用研究关键词共现图

Fig.1　Citespace-based keyword co-occurrence map for the study of resource utilization of watershed silt

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试太湖淤泥取自江苏省苏州市吴中区太湖清淤点,经自然风干并粉碎过2 mm筛后进行试验,供试原料理化性质详见表1。供试草种为高羊茅(*Festuca elata* Keng ex E. B. Alexeev),购自江苏麦禾种业有限公司,该草种适用于高尔夫球场、运动场、园林绿化和水土保持等各类草坪。供试蛭石购自广东辰兴农业有限公司。高羊茅种子发芽率测定值为100%,符合试验要求。

1.2　试验设计

试验于2023年8月1日-2023年9月30日进行。试验共分为3部分,分别为太湖淤泥对高羊茅种子萌发的影响、太湖淤泥对高羊茅幼苗生长的影响和太湖淤泥浸提液对高羊茅生长的影响。

1.2.1　太湖淤泥对高羊茅种子萌发的影响

共设置5个处理,将太湖淤泥与蛭石按照体积比例分别配制成T1(100%蛭石)、T2(25%太湖淤泥+75%蛭石)、T3(50%太湖淤泥+50%蛭石)、T4(75%太湖淤泥+25%蛭石)、T5(100%太湖淤泥),测定不同栽培介质上高羊茅种子的发芽率、发芽势和发芽指数。

1.2.2　太湖淤泥对高羊茅幼苗生长的影响

本试验共设置5个处理,将太湖淤泥与蛭石按照体积比例分别配制成100%蛭石(T1)、25%太湖淤泥+75%蛭石(T2)、50%太湖淤泥+50%蛭石(T3)、75%太湖淤泥+25%蛭石(T4)和100%

表1　供试原料的理化性质

Table 1　Physical and chemical properties of the test material

供试材料 Test material	容重/(g•cm^{-3}) Bulk density	pH pH value	EC/(μS•cm^{-1})	全氮/(g•kg^{-1}) Total Nitrogen	全磷/(g•kg^{-1}) Total Phosphorus	全钾/(g•kg^{-1}) Total Potassium	碱解氮/(mg•kg^{-1}) Alkaline Nitrogen	有效磷/(mg•kg^{-1}) Available Phosphorus	速效钾/(mg•kg^{-1}) Available Potassium	有机质/% Organic matter
太湖淤泥	1.08	7.92	60.43	1.07	1.01	5.06	282.86	40.73	240.33	2.17
蛭石	0.20	6.64	90.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

蛭石(T5)。测定T1～T5处理栽培介质的理化性质。之后进行穴盘育苗,参考刘欣宇等[14]的方法,每穴放置3粒高羊茅种子,每盘50穴。每处理设置3次重复,每穴盘为1次重复。将穴盘置于25 ℃、80% 湿度、3000 lx、光暗比16∶8的人工气候室中培养10 d,每穴盘等量浇灌1 L清水。试验进行至第5 d时,每穴盘再次等量补充1 L清水。种子定植培养10 d后测定高羊茅幼苗的出苗率、株高、叶绿素含量、根长、地上部干重和地下部干重。

1.2.3 栽培介质浸提液对高羊茅幼苗生长的影响

试验共设置5个处理,参考农业行业标准《NY/T 525-2021有机肥料》[15]中规定的方法制备T1～T5处理的浸提液各2 L。利用浸提液水培高羊茅种子,将各处理浸提液分别装入同等大小的水培盒中,使水培盒内的浸提液面刚好没过发芽栏。将高羊茅种子点播在发芽栏上,每个水培盒点播50粒种子。每3个水培盒为1次重复,每个处理设置3次重复。水培盒置于25 ℃、80% 湿度、3000 lx光照强度、光暗比16∶8的人工气候室中培养10 d,培养前2 d利用黑色带孔保鲜膜将水培盒顶进行封顶。2 d后去除封顶,进行见光培养。期间每隔2 d利用称重法向水培盒中统一补充无菌水。种子定植培养10 d后测定高羊茅幼苗的出苗率、株高、叶绿素含量、根长、地上部干重和地下部干重。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 种子萌发

参考黄玉茜等[16]的方法测定高羊茅种子的发芽率、发芽势和发芽指数。挑选大小相当的高羊茅种子10粒置于铺有滤纸的9 cm培养皿中,分别加入上述处理的浸提液10 mL,以无菌水为对照(CK)。每个处理进行3次重复,每重复3个培养皿。在恒温控制室中以25 ℃、80% 湿度、3000 lx、光暗比16∶8的环境中培养7 d,每天观察发芽情况,调查种子发芽数。5 d后测定高羊茅种子发芽势,7 d后测定发芽率、根长,计算发芽指数。

$$发芽率=\frac{7\text{ d种子发芽数}}{供试种子数}\times 100\% \quad (1)$$

$$发芽势=\frac{5\text{ d种子发芽数}}{供试种子数}\times 100\% \quad (2)$$

$$发芽指数=\sum\frac{7\text{ d种子发芽数}}{供试种子数\times 相应发芽天数} \quad (3)$$

1.3.2 幼苗生长

种子定植培养10 d后,记录每个重复的出苗数。每处理随机选取15株,利用钢尺测量高羊茅幼苗株高,通过叶绿素含量测定仪测定并以SPAD值代表叶绿素含量。蒸馏水洗净根系后通过根系扫描仪测定高羊茅幼苗根长。利用滤纸将植株表面水分吸干后放入烘箱在105 ℃下杀青1 h,之后在80 ℃下烘干至恒重,通过电子分析天平进行干重的测定。

1.3.3 理化性质

参考鲍士旦[17]的方法,测定T1～T5处理栽培介质的理化性质。其中,采用环刀法测定各处理的容重和总孔隙度,采用电极法测定各处理pH和EC。通过重铬酸钾法测定有机质含量,以碱解扩散法测定碱解氮含量,利用碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法测定有效磷含量,并采用火焰光度法测定速效钾含量。

1.4 数据处理

利用Excel 2019软件进行原始数据的记录,通过DPS 18.1软件中的Duncan新复极差法进行单因素方差分析。利用Origin 2021 Pro软件进行相关性分析并完成图片的绘制。

2 结果与分析

2.1 太湖淤泥对高羊茅种子萌发的影响

从表2中可以看出,蛭石和太湖淤泥均不会对高羊茅种子的萌发造成抑制的效果,100% 蛭石(T1)处理下高羊茅种子的发芽势、发芽指数和根长相对CK而言均有略微的提升,但并未达到显著水平。各处理下高羊茅种子的最终发芽率均为100%。而从发芽势角度来看,随着太湖淤泥占比的增加,高羊茅种子的发芽势总体上呈现上升的趋势。当太湖淤泥占比为100%(T5)时,高羊茅种子的发芽势达到86.67%,相对CK和T1处理分别提升了52.94% 和36.85%。这种随着太湖淤泥占比增加而数值上升的现象同样表现在发芽指数和根长2项指标上。在发芽指数方面,T5处理相对CK和T1处理分别提升了59.05% 和56.07%。在根长方面,T5处理相对CK和T1处理分别提升了50.41% 和49.60%。

表2　添加太湖淤泥后高羊茅种子的萌发情况

Table 2　Germination of tall fescue seeds after addition of Taihu Lake silt

处理 Treatments	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	根长/cm Root length
CK	100.00±0.00a	56.67±3.47d	1.05±0.06b	3.69±0.04d
T1	100.00±0.00a	63.33±2.55cd	1.07±0.08b	3.71±0.03d
T2	100.00±0.00a	76.67±2.55ab	1.23±0.05b	3.75±0.06d
T3	100.00±0.00a	73.33±3.47bc	1.32±0.08b	4.73±0.09c
T4	100.00±0.00a	83.33±4.19ab	1.59±0.06a	5.09±0.18b
T5	100.00±0.00a	86.67±2.55a	1.67±0.11a	5.55±0.21a

注:同一列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。CK表示空白对照,T1~T5分别表示100%蛭石、25%太湖淤泥+75%蛭石、50%太湖淤泥+50%蛭石、75%太湖淤泥+25%蛭石和100%太湖淤泥

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$). CK represents the blank control and T1~T5 represent 100% vermiculite, 25% Taihu Lake silt+75% vermiculite, 50% Taihu Lake silt+50% vermiculite, 75% Taihu Lake silt+25% vermiculite and 100% Taihu Lake silt, respectively

2.2　太湖淤泥对高羊茅幼苗生长的影响

将太湖淤泥与蛭石按照不同比例配制栽培介质,生长于其中的高羊茅幼苗的各项生长指标如图2所示。可以看出,当太湖淤泥添加量为25%时,高羊茅幼苗的出苗率(图2a)、株高(图2b)、和地上部干重(图2e)相对于T1处理均无显著差异,且在叶绿素含量(图2c)、根长(图2d)和地下部干重(图2f)方面均显著高于T1处理($P<0.05$)。但随着太湖淤泥添加量的上升,高羊茅幼苗的生长状况出现了较为明显的下降趋势。尤其在出苗率和株高2项指标上表现得最为明显,当太湖淤泥占比为100%时,高羊茅出苗率仅为30.00±3.53%。幼苗株高仅为9.26±0.70 cm,相对于T1和T2处理分别下降了46.49%和52.09%。在叶绿素含量方面,添加25%~75%的太湖淤泥能够起到提升效果,但随着太湖淤泥添加量的上升,其提升效果也明显减弱。在根长方面,当太湖淤泥添加量为50%时(T3处理),其与T1处理差异不显著,随着太湖淤泥的进一步添加,T4和T5处理的根长均显著低于T1处理($P<0.05$)。

2.3　栽培介质的理化性质

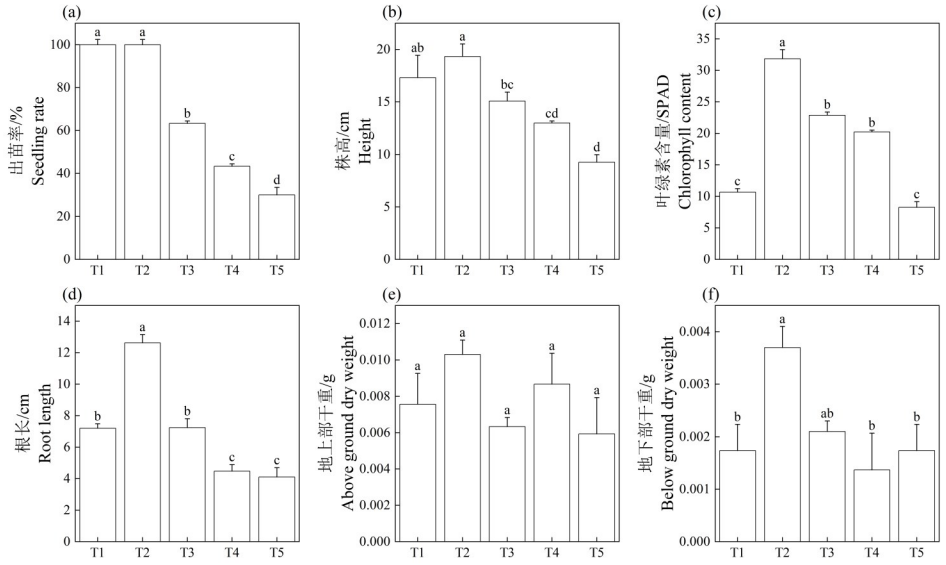
测定太湖淤泥与蛭石按照不同比例配制的栽培介质的理化性质,结果如表3所示。可见随着太湖淤泥添加量的增加,栽培介质的理化出现较为显著的变化。在物理性质方面,随着太湖淤泥添加量的增加,栽培介质的容重呈显著的上升趋势,T5处理的容重相对于T1处理增加了440.00%。栽培介质的总孔隙度则出现显著的下降趋势,T5处理的总孔隙度相对于T1处理下降了290.68%。在化学性质方面,栽培介质的pH值随着太湖淤泥添加量的提升而呈现显著的上升趋势,T5处理的pH相对于T1处理上升了14.49%。栽培介质的EC则出现下降趋势,T5处理的EC相对于T1处理下降了50.00%。对各处理栽培介质的速效养分含量进行测定后发现,随着太湖淤泥添加量的上升,碱解氮、有效磷和速效钾的含量均呈现显著的上升趋势。有机质含量同速效养分含量的变化表现一致。

2.4　高羊茅幼苗生长指标与栽培介质理化性质相关性分析

由于各处理高羊茅幼苗的生长状态呈现较大的差异,将其幼苗生长指标与栽培介质的理化性质指标进行相关性分析,结果如图3所示。可见,栽培介质的总孔隙度和EC与高羊茅幼苗的生长指标呈现正相关关系,且均与出苗率和株高2项指标显著相关。而容重、pH、碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量均与高羊茅幼苗的生长指标呈现负相关关系。

2.5　太湖淤泥浸提液对高羊茅幼苗生长的影响

为验证栽培介质的理化性质对高羊茅幼苗生长的影响,利用各处理栽培介质的浸提液进行高羊茅的水培,其幼苗的各项生长指标结果如图4所示。栽培介质的太湖淤泥添加量越高,其浸提液中生长的高羊茅幼苗株高(图4b)、根长(图4d)、地上部干重(图4e)和地下部干重(图4f)这4项生长指标越高,T5均显著高于T1($P<0.05$)。当太湖淤泥添加量为100%时,其浸提液中生长的高羊茅幼苗上述4项指标相对于T1处理分别提升了



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。T1～T5分别表示100%蛭石、25%太湖淤泥+75%蛭石、50%太湖淤泥+50%蛭石、75%太湖淤泥+25%蛭石和100%太湖淤泥

Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$). T1～T5 represent 100% vermiculite, 25% Taihu Lake silt+75% vermiculite, 50% Taihu Lake silt+50% vermiculite, 75% Taihu Lake silt+25% vermiculite and 100% Taihu Lake silt, respectively

图2 添加太湖淤泥后高羊茅幼苗生长的变化特征

Fig.2 Characteristics of changes in growth of tall fescue seedlings after addition of Taihu Lake silt

表3 栽培介质的理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of cultivation substrate

处理 Treatments	容重/($g\cdot cm^{-3}$) Bulk density	总孔隙度/% Total porosity	pH值 pH value	EC/($mS\cdot cm^{-1}$)	碱解氮/($mg\cdot kg^{-1}$) Alkaline Nitrogen	有效磷/($mg\cdot kg^{-1}$) Available Phosphorus	速效钾/($mg\cdot kg^{-1}$) Available Potassium	有机质/% Organic matter
T1	0.20±0.01e	131.27±0.98a	6.76±0.09d	0.09±0.01a	0.00±0.00e	0.00±0.00e	0.00±0.00e	0.00±0.00e
T2	0.44±0.02d	104.90±0.45b	7.03±0.04c	0.08±0.00ab	76.37±1.61d	10.99±0.27d	64.89±5.26d	0.58±0.01d
T3	0.64±0.01c	82.43±0.21c	7.25±0.00b	0.07±0.00ab	141.43±0.01c	20.37±0.00c	120.17±9.25c	1.08±0.12c
T4	0.83±0.02b	60.95±0.44d	7.47±0.04b	0.07±0.00ab	203.66±1.57b	29.33±0.26b	173.04±8.14b	1.56±0.08b
T5	1.08±0.01a	33.60±0.99e	7.74±0.09a	0.06±0.01b	282.86±3.55a	40.73±0.60a	240.33±9.60a	2.17±0.14a

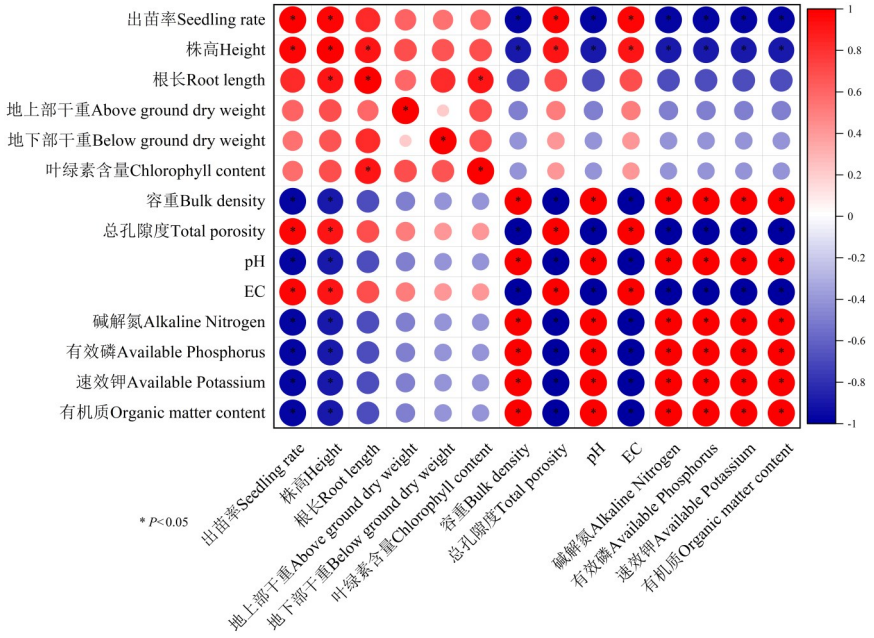
注:同一列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。CK表示空白对照,T1～T5分别表示100%蛭石、25%太湖淤泥+75%蛭石、50%太湖淤泥+50%蛭石、75%太湖淤泥+25%蛭石和100%太湖淤泥

Note:Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$). CK represents the blank control and T1～T5 represent 100% vermiculite, 25% Taihu Lake silt+75% vermiculite, 50% Taihu Lake silt+50% vermiculite, 75% Taihu Lake silt+25% vermiculite and 100% Taihu Lake silt, respectively

56.70%、37.69%、103.92%和156.00%,均与太湖淤泥作为生长介质时高羊茅的生长状况呈现极为明显的不同。

3 讨论

在诸多种类的有机废弃物中,水域淤泥无论从理化性质还是农业资源化应用角度而言均较为特殊。从物理性质角度来看,水域淤泥的容重相对较大而孔隙度则相对较小[18]。如果将水域淤泥作为种植土,则这种物理性质并不利于作物的根系生长。此外,由于受到工业和人类生产生活的影响,水域淤泥中不可避免的存在相对较多的有害重金属元素,这种情况也限制了水域淤泥在农林领域中的应用[19]。从农业行业标准《NY/T 525-2021有机肥料》[14]所规定的有机肥料生产原料适用类目录可知,淤泥并未被列入其中。从相

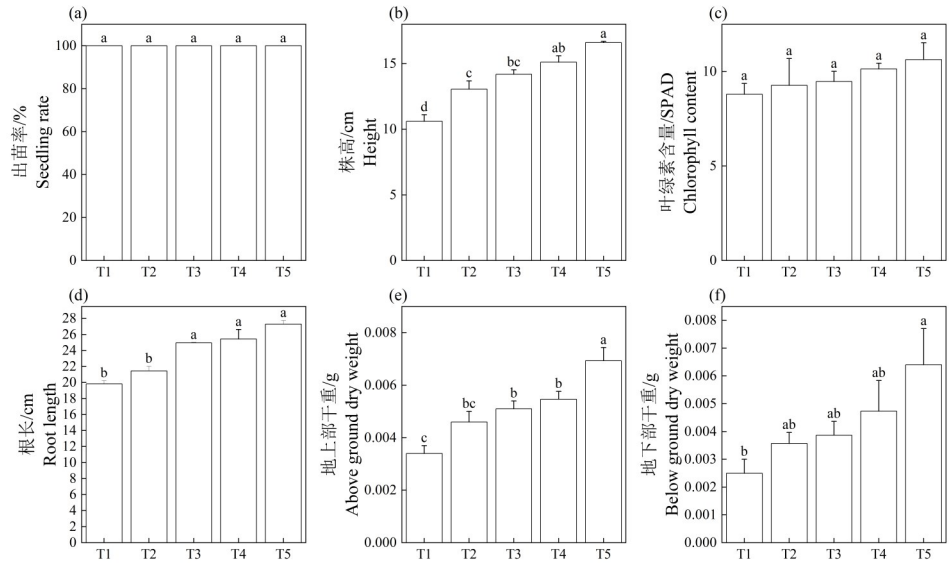


*表示显著相关($P<0.05$)

* indicated significant correlation($P<0.05$)

图3　高羊茅幼苗生长关键影响因素分析

Fig.3　Analysis of key factors influencing the growth of tall fescue seedlings



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。T1～T5分别表示100%蛭石、25%太湖淤泥+75%蛭石、50%太湖淤泥+50%蛭石、75%太湖淤泥+25%蛭石和100%太湖淤泥

Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$). T1～T5 represent 100% vermiculite, 25% Taihu Lake silt+75% vermiculite, 50% Taihu Lake silt+50% vermiculite, 75% Taihu Lake silt 25% vermiculite and 100% Taihu Lake silt, respectively

图4　不同浸提液处理下高羊茅种子的萌发情况

Fig.4　Germination of tall fescue seeds under different leaching solution treatments

关标准起草单位处了解到,重金属等可能对人体产生直接威胁的物质不符合有机肥料生产原料安全的基本原则,故而包括淤泥在内的粉煤灰、钢渣和部分生活垃圾等并不被允许作为有机肥料的生产原料。而在国家标准《GB/T 33891-2017绿化用有机基质》[17]和林业行业标准《LY/T 1970-2011绿化用有机基质》[20]中对生产原料的规定则未对淤泥进行限制,因此从标准法规层面而言,将

太湖淤泥在绿化草皮基质方向进行资源化利用具备一定的可行性。在具体应用层面,天津师范大学早在2006年便实现了利用生活垃圾制备绿化草皮基质[21],而华中农业大学也利用污泥等有机废弃物成功的制备了相应的绿化草皮基质[22]。而上述研究将有机废弃物进行资源化利用的目的均包含避免有毒物质进入食物链进而对人体安全造成威胁这一重要主题。

首先,本试验研究了太湖淤泥与蛭石复配后对高羊茅种子萌发的影响,从根长、发芽势和发芽指数3项指标可以看出太湖淤泥的添加对于高羊茅的种子萌发具有较强的促进作用。国家标准《GB/T 33891-2017绿化用有机基质》中的技术指标规定此类基质的发芽指数应不低于0.65,而全量太湖淤泥处理下高羊茅种子的发芽指数则高达1.67。随后,本试验利用太湖淤泥与蛭石复配的混合物展开了对高羊茅幼苗生长影响的研究。由于各处理的混合物在诸多关键技术指标上均未达到绿化基质的标准,故而本研究仅将其称为栽培介质加以区分。结果显示,25% 太湖淤泥+75% 蛭石的栽培介质能够在一定程度上促进高羊茅幼苗的生长,但当太湖淤泥在栽培介质中的占比超过25% 时,高羊茅幼苗则出现明显的生长受抑现象。此种结果与熊俊芬等[11]利用滇池淤泥作为基质对一串红进行种植的研究结果存在很大的差异,后者研究发现滇池淤泥在基质中占比100% 时能够达到最佳的生长效果,蛭石在该基质中的添加只会降低一串红的栽培效果。柴伟国等[23]也曾利用西湖淤泥制备适用于西瓜栽培的基质,实现最佳栽培效果的基质中西湖淤泥的体积占比也高达70%,均与本试验的研究结果存在很大的差异。出现这种问题的原因大概在于供试植物的不同,高羊茅属于禾本科草本植物,而一串红和西瓜则分别是唇形科和葫芦科作物,植物种类的不同可能导致其根系在淤泥中的生长状况存在较大的区别。此外,本研究的介质栽培厚度和栽培时间也与后两者相差甚远。一串红栽培于内径22 cm、高18 cm的营养钵中,生长周期为45 d;西瓜栽培于基质厚度为15 cm的栽培槽中,生长周期为62 d。而参照绿化草皮基质的栽培操作,本试验中的高羊茅仅在厚度1 cm的苗盘中生长了10 d,这也可能是使得本研究与另外2项研究结果出现差别的原因之一。

栽培介质理化性质与高羊茅幼苗生长指标的相关性分析结果表明(图3),栽培介质的容重、pH、碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量与高羊茅幼苗的生长指标均呈现负相关关系。结合表3可知,各处理碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量的最高值分别为282.86 $mg\cdot kg^{-1}$、40.73 $mg\cdot kg^{-1}$、240.33 $mg\cdot kg^{-1}$和2.16%。根据国家标准《GB/T 33891-2017绿化用有机基质》中的技术指标规定,上述3种速效养分最高限值分别为2000 $mg\cdot kg^{-1}$、1000 $mg\cdot kg^{-1}$和3000 $mg\cdot kg^{-1}$,有机质含量的最低限值为25.00%。因此,栽培介质中的速效养分含量和有机质含量可能并不属于影响高羊茅幼苗生长的关键负面因素。此外,各处理栽培介质的pH和EC均在GB/T 33891-2017的规定范围内。而随着太湖淤泥添加量的上升,各处理的容重指标则与相关标准中规定的最高值0.5 $g\cdot cm^{-3}$呈现较大差别,至T3处理时,其容重指标已超过标准中规定最高值28.00%。为此,本研究制备了不同栽培介质的浸提液,利用水培的方式排除掉土壤物理性质影响后再次对高羊茅幼苗开展生长试验。试验结果则与高羊茅在栽培介质中的生长状况出现了很大的区别,水培试验的结果显示随着栽培介质中太湖淤泥添加量的增加,高羊茅幼苗的各项生长指标基本呈现上升趋势,与栽培介质试验中太湖淤泥最佳添加量仅为25% 的试验结果大相径庭。同时参照GB/T 33891-2017中关于容重的技术指标规定,本研究中太湖淤泥添加量超过25% 的栽培介质的容重均明显超标。由此我们可以判断影响高羊茅幼苗生长的主要因素是太湖淤泥的物理性质,特别是容重过高这一问题。

4 结论

本研究利用太湖淤泥与蛭石复配栽培介质栽种高羊茅,探索其应用于制备绿化草皮基质的可行性。研究结果表明,太湖淤泥在栽培介质中的添加量为25% 时能够对高羊茅幼苗生长起到一定的促进作用,但超过25% 的添加量则会起到抑制效果。而栽培介质的浸提液随着太湖淤泥添加量的上升则对高羊茅幼苗的生长表现出越来越明显的促进效果。太湖淤泥的物理性质尤其是容重,是影响栽培效果的关键因素。

参 考 文 献

[1]时晓宁,杨兰琴,陈蕊.河道淤泥资源化利用研究进展[J].水资源开发与管理,2023,9(4):26-31.
Shi X N, Yang L Q, Chen R. Research progress on resource utilization of river sediment[J]. Water Resources Development and Management,2023,9(4):26-31.

[2]宋丁豹,蒲诃夫,张纯雪,等.水平排水板真空脱水-固化联合方法处理疏浚淤泥的试验研究[J].岩土工程学报,2023,45(9):1897-1906.
Song D B, Pu H F, Zhang C X, et al. Experimental investigation on prefabricated horizontal drain-based vacuum dewatering-solidification combined method for treatment of dredged slurry[J].Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2023,45(9):1897-1906.

[3]周汉香,周越洲,方小丹.香港科技大学(广州)深厚淤泥基坑设计与实践[J].建筑结构,2023,53(21):132-138.
Zhou H X, Zhou Y Z, Fang X D. Design and practice of deep silt foundation pit of HKUST in Guangzhou [J]. Building Structure,2023,53(21):132-138.

[4]姜赟,侯爵,陈加富,等.脱硫灰-水泥固化淤泥强度特性与固化-抽滤联合加固应用[J].东南大学学报(自然科学版),2023,53(3):519-525.
Jiang Y, Hou J, Chen J F, et al. Strength characteristics of stabilized sludge by desulphurization ash and cement and application of stabilization-vacuum filtration method[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition),2023,53(3):519-525.

[5]王广兵,张源,卢红前,等.淤泥土地基中单桩水平静载试验研究[J].武汉大学学报(工学版),2020,53(S1):125-129.
Wang G B, Zhang Y, Lu H Q, et al. Experimental study on horizontal static load of single pile in silt soil foundation[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2020, 53(S1): 125-129.

[6]王龙涛,徐扬帆,陈文峰,等.菌渣改良淤泥用于黑麦草种植试验[J].长江科学院院报,2023,40(10):74-79.
Wang L T, Xu Y F, Chen W F, et al. Experimental study on bacterial residue-modified dredged silt for ryegrass cultivation [J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2023,40(10):74-79.

[7]李世汨,徐扬帆,夏新星,等.调理方式对淤泥绿化种植土细菌多样性的影响[J].北方园艺,2023(15):73-80.
Li S G, Xu Y F, Xia X X, et al. Effects of regulation methods on bacterial diversity in silt greening[J].Northern Horticulture, 2023(15):73-80.

[8]史燕南,占川,张超杰,等.污染淤泥固化稳定化处理及种植性能试验[J].水利水电科技进展,2021,41(2):89-94.
Shi Y N, Zhan C, Zhang C J, et al. Experiments on stabilizing treatment of polluted silt solidification and planting performance [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2021,41(2):89-94.

[9]孙博闻,孙文宁,傅长锋,等.白洋淀底泥重金属空间分布特征及污染评价[J].水利水电技术(中英文),2021,52(11):173-185.
Sun B W, Sun W N, Fu C F, et al. Spatial distribution characteristics and assessment on pollution status of heavy metals in sediments of Baiyangdian Lake[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2021,52(11):173-185.

[10]张金玲.唐山市曹妃甸区白蜡大乔木容器苗直栽绿化应用研究[J].现代农业科技,2018(22):165,167.
Zhang J L. Study on application of direct planting and greening of container seedlings of *Fraxinus mandshurica* in Caofeidian Area, Tangshan City [J]. Modern Agricultural Science and Technology,2018(22):165,167.

[11]熊俊芬,陈永川,郭敏,等.应用滇池淤泥作为基质种植一串红的研究[J].北方园艺,2011(12):66-68.
Xiong J F, Chen Y C, Guo M, et al. Study on the sediment from Dianchi Lake as media on the growth and flowering of *Salvia splendens*[J].Northern Horticulture,2011(12):66-68.

[12]严先平,毛钰,蒋尚志,等.不同用量固化剂对湖底淤泥理化性质以及草坪草生长的影响[J].北方园艺,2015(20):155-158.
Yan X P, Mao Y, Jiang S Z, et al. Effect of different solidifying agent content on physical and chemical properties of lake silt and growth of turfgrass[J].Northern Horticulture,2015 (20):155-158.

[13]袁沛,刘军武,方迎春,等.改良淤泥基质对杭白菊生长的影响[J].湖南农业科学,2023(8):12-16.
Yuan P, Liu J W, Fang Y C, et al. Effect of modified silt substrate on the growth of *Chrysanthemum morifolium* [J]. Hunan Agricultural Sciences,2023(8):12-16.

[14]刘欣宇,宋鹏,林永锋,等.餐厨堆肥与泥炭配比用于黄瓜育苗基质的研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2022,42(1):35-42.
Liu X Y, Song P, Lin Y F, et al. Study on the ratio of food waste compost and peat to cucumber seedling substrate [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition),2022,42(1):35-42.

[15]中华人民共和国农业农村部.NY/T 525-2021 有机肥料[S].北京:中国农业出版社,2012:1-13.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. NY/T 525-2021 Organic fertilizer [S]. Beijing:China Agriculture Press,2021:1-13.

[16]黄玉茜,杨劲峰,梁春浩,等.香草酸对花生种子萌发、幼苗生长及根际微生物区系的影响[J].中国农业科学,2018,51(9):1735-1745.
Huang Y Q, Yang J F, Liang C H, et al. Effects of vanillic acid on seed germination, seedling growth and rhizosphere microflora of peanut[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51 (9):1735-1745.

[17]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 33891-2017 绿化用有机基质[S].北京:2017:1-36.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China.GB/T 33891-2017 Organic media for greening[S]. Beijing:2017:1-36.

[18]崔莉,蒋勤,聂思航.长江口航道淤泥屈服应力测量及特性研

究[J].泥沙研究,2020,45(2):31-37.
Cui L, Jiang Q, Nie S H. Study on yield stress measurement and characteristics of mud in the Yangtze River Estuary[J]. Journal of Sediment Research,2020,45(2):31-37.
[19]张跃军,孙彬,赵晓蕾.乡村内河沉积物中的重金属污染评价及资源化利用[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1398-1402.
Zhang Y J, Sun B, Zhao X L. The pollution evaluation of heavy metals in sediment from country freshwater and the resource use[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4):1398-1402.
[20]国家林业局.LY/T 1970-2011 绿化用有机基质[S].北京:中国标准出版社, 2011:1-8.
State Forestry Administration of the People's Republic of China. LY/T 1970-2011 Organic media for greening [S] Beijing:Standards Press of China, 2011:1-8.
[21]赵树兰,多立安,王修鲁,等.以生活垃圾堆肥为基质的废弃物铺网草皮建植研究[J].西北植物学报,2007,27(1):126-131.
Zhao S L, Duo L A, Wang X L, et al. Turf established by sod with municipal solid waste compost as medium and waste materials as netting [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2007,27(1):126-131.
[22]邢亚萍,刘宏,胡惠蓉,等.污泥生产马尼拉无土草皮基质配方优化研究[J].草地学报,2012,20(4):650-656.
Xing Y P, Liu H, Hu H R, et al. Optimizing biosolid mixtures for producing soilless manilagrass sod over plastic [J]. Acta Agrestia Sinica,2012,20(4):650-656.
[23]柴伟国,潘晓利,杜东方.利用西湖淤泥进行低成本有机型基质栽培试验[J].环境污染与防治,2003(2):113-115.
Chai W G, Pan X L, Du D F, et al. An experiment of the sediment from West Lake as organic substrate for greenhouse culture [J]. Environmental Pollution&Control, 2003 (2) : 113-115.

Promotion of tall fescue seedling gemination and growth by adding low levels of Taihu sediment

Wang Wenting[1,2], Chen Runze[1,2], Wang Chunyu[1,2,3], Wang Fenglu[1,2,3], Tang Yaozhong[3,4], Zhu Xiumei[3,4], Chi Huaju[5], Liu Zheng[6*], Liu Xinyu[1,3,6*]

(*1.Organic Recycling Research Institute (Suzhou), China Agricultural University, Suzhou 215100, China; 2.College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 3.Jiangsu Kunshan Fruit and Vegetable Science and Technology Centre, Suzhou 215300, China; 4.Kunshan Yuefengdao Organic Agricultural and By-Products Base Co., Ltd., Suzhou 215300, China; 5.Xinjiang Institute of Technology, Aksu 843100, China; 6.Institute of Rural Economy, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China*)

Abstract:[Objective]The current research aimed to study the effects of adding Taihu Lake silt to cultivation substrates on the germination and early growth of tall fescue seeds, and to promote the application of water silt in landscaping and gardening. [Methods]Cultivation substrates were prepared by mixing Taihu Lake silt with vermiculite in gradients of 25% volume. Five treatments were designed: 100% vermiculite(T1), 25% Taihu Lake silt+75% vermiculite(T2), 50% Taihu Lake silt+50% vermiculite(T3), 75% Taihu Lake silt+25% vermiculite(T4), and 100% Taihu Lake silt(T5). Seeds were sown in different cultivation substrates, and the cultivation effects of each treatment were evaluated based on plant performance indicators such as germination rate and plant height. Additionally, the effects of the leachate from each treatment on seed germination was investigated. To identify the key factors affecting the growth of seedlings, hydroponic experiments were conducted using leachate from each treatment, and various growth indicators of seedlings from each treatment were measured. [Results]The results indicated that with increasing addition of Taihu Lake silt, the root length, germination potential, and germination index of seeds were significantly improved, with a 100% germination rate observed in all treatments. As a cultivation substrate, the optimal addition of Taihu Lake silt was 25%. However, with increasing levels of Taihu Lake silt, the germination rate, plant height, chlorophyll content, root length, and biomass of tall fescue seeds exhibited a significant declining trend. Correlation analysis indicated a negative correlation between cultivation substrate bulk density, pH, alkaline nitrogen, available phosphorus, quick-acting potassium, organic matter content, and growth indicators of seedlings. Moreover, with increasing levels of Taihu Lake silt, the leachate from the cultivation substrate showed a significant promoting effect on the growth indicators of tall fescue seedlings. [Conclusion]The addition of Taihu Lake silt at 25% in cultivation substrate composed of a mixture with vermiculite promoted the growth of tall fescue seedlings to a certain extend, but exceeding 25% may have inhibitory effects. The physical properties of Taihu Lake silt, especially bulk density, are key factors influencing its cultivation effects.

Keywords:Silt, Tall fescue, Green turf substrate, Seed germination, Seedling growth

(编辑:郭玥微)