



李延隆,王倩,张建森,等.北京地区不同畜禽粪肥对黄瓜种子发芽指标的影响[J].黑龙江农业科学,2025(2):57-65.

北京地区不同畜禽粪肥对黄瓜种子发芽指标的影响

李延隆,王倩,张建森,张闻,陈宜军,石奥,杨帆

(北京市畜牧总站 农业农村部畜牧环境质量监督检验测试中心,北京 100012)

摘要:为促进畜禽粪肥的合理利用与推广,通过采集北京地区畜禽养殖堆沤处理的粪肥,以 1:10 固液比进行浸提,用以培养黄瓜种子。通过测定不同畜禽粪肥的理化指标、不同粪肥培养后黄瓜种子发芽情况和黄瓜幼苗的理化指标,分析不同畜禽粪肥类型对黄瓜种子发芽和幼苗生长指标的影响。结果表明,1:10 固液比的浓度下 3 种畜禽粪肥对幼苗的发芽率、发芽势、种子发芽指数和发芽速度指数的影响均不显著,但鸡粪肥的发芽指数明显低于其他处理,幼苗中钾和总钾的含量明显高于猪粪和牛粪处理,说明此浓度鸡粪对黄瓜种子的发芽存在一定毒性。而 3 种粪肥对幼苗的株高、幼苗长势和活力指数均有显著差异($P<0.05$),均为猪粪肥>牛粪肥>鸡粪肥。通过对黄瓜种子发芽指标进行因子分析和综合评分后可以得出猪粪肥得分最高,因此猪粪肥在此固液比浓度下施用可以提高幼苗株高及长势。

关键词:畜禽粪肥;理化指标;发芽;因子分析

畜禽粪污既含有重金属等污染物又含有可利用的氮、磷、钾等适宜作物生长的成分。畜禽粪污的资源化利用既是循环经济的体现,又可以缓解环境压力,满足农业可持续发展的需要。作为农业生产的重要有机肥源,在提供土壤养分、改善土壤结构和促进农业可持续发展方面发挥着重要作用。然而,随着畜禽养殖业的快速发展,畜禽粪污产量急剧增加,其处理和资源化利用问题也日益凸显。北京市生态环境局发布的数据显示,2023 年北京市畜禽粪污产量为 258.8 万 t,收集量为 257.4 万 t,利用量为 248.6 万 t,综合利用率达到了 96.06%^[1],表明北京市在畜禽粪污的处理和资源化利用方面取得了显著成效。同时,农业农村部办公厅与生态环境部办公厅联合发布的文件强调了加强畜禽粪污资源化利用计划,提高资源化利用的规范化和标准化水平,推动畜禽粪肥就地就近还田利用。北京市在畜禽粪污排放及资源化利用方面采取了积极措施,并通过政策引导和规范管理,有效提高了畜禽粪污的综合利用率,促进了农业可持续发展和生态环境保护。随着政策引导畜禽粪便资源化利用技术不断进步,包括好氧堆肥技术、厌氧发酵技术、水热碳化技术、生物转化技术等,这些技术的发展为畜禽粪便的资源化利用提供了技术支持。尽管畜禽粪污资源化技术很多,但因技术门槛相对较低、成本投入相对较少,普通的好氧堆沤处理仍是养殖场利用率最高

的处理手段。

黄瓜作为百姓餐桌的常见蔬菜,不光有丰富的营养价值,还是重要的经济作物,可以在多种环境条件下生长,适应性较强,在轮作中还可以改善土壤结构减少病虫害,促进农业可持续发展,因此在科学研究中作为模式植物发挥重要作用。有研究表明,有机肥能够提供黄瓜生长所需的多种营养元素,尤其是有机质和微量元素,这些元素有助于提高黄瓜的产量;同时改善土壤结构,增加土壤的保水保肥能力,从而为黄瓜提供更好的生长环境。巩子毓等^[2]研究发现连续施用生物有机肥可以有效提高设施黄瓜产量和品质,并且可以降低土体和根际土壤中病原菌的数量。

因此本研究选用堆沤处理的粪肥,研究常见畜禽种类的粪肥对黄瓜种子发芽指数、发芽率、株高等指标的影响。本研究以基层实际应用为出发点,根据北京地区堆沤处理方法的畜禽粪肥理化情况分布特点,按照畜禽种类高度概括出种植黄瓜过程中简单、有效、易实施的粪肥利用方法,使基层在应用中化繁为简,省略计算、选择比例等问题,为粪肥合理利用推广,以及农业可持续发展提供科学建议。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验畜禽粪肥采自同一年度北京地区堆沤

收稿日期:2024-12-04

基金项目:生态建设(北京市畜牧业生态安全及污染减排监测与评价)项目(11000024Y000002690526)。

第一作者:李延隆(1989—),女,学士,工程师,从事畜牧环境监测及应用研究。E-mail:1503540717@qq.com。

通信作者:石奥(1975—),男,硕士,高级工程师,从事畜牧环境监测方法建立及应用推广。E-mail:1554274918@qq.com。

处理的养殖场,包含9家鸡场(T1)、12家猪场(T2)、13家牛场(T3)。试种黄瓜品种为中寿绿心黄大黄瓜。

1.2 方法

1.2.1 畜禽有机肥理化检测 用取样铲分别从粪肥的表面、中间和底部3个水平位置取样,每个水平位置取4个点充分混合。将样品送回实验室后,取部分鲜样测定含水率、总盐浓度,根据1:10固液比对比鲜样进行浸提用于培养黄瓜种子,取部分样品进行冻干粉碎处理,待后续检测使用,执行标准如表1所示。

表1 样品理化检测项目及方法	
粪肥检测参数	参照检测标准
含水率	GB/T 8576—2010
铜、锌、砷	DB37/T 3937—2020
总氮、总磷(P ₂ O ₅)、总钾(K ₂ O)	NY/T 525—2021
总盐浓度	GB/T 40750—2021

1.2.2 黄瓜种子萌发试验 称取10.00 g粪肥于250 mL锥形瓶,根据每个样品含水率折算后,以1:10的固液比加入相应质量纯水,盖紧瓶盖后垂直固定往复水平震荡,调节频率100次·min⁻¹,振幅大于40 mm,25℃下震荡浸提1.0 h,结束后静止0.5 h。将准备好两层滤纸的培养皿中放入

10粒大小均匀、饱满度基本一致的黄瓜种子,倒入有机肥浸出液的上清液10 mL,以等量纯水处理作为对照(CK)。然后盖上培养皿盖子在(25±2)℃培养箱中培养。每24 h统计1次培养皿中种子萌发数量、生长情况,并根据滤纸湿度适当补充液体,液体深度低于种子一半高度。

1.2.3 黄瓜种子发芽指标及计算方法 待胚根长到与种子长度等长,且胚芽长到种子长度一半以上视为发芽,每天统计到连续3 d不再有新萌发的种子时终止试验,共计8 d。种子发芽第一个24 h至种子达到最大发芽率首日时间的数据计算发芽指标^[3]。

发芽第6天起不再有新萌发种子,因此在第6天测量CK及T1、T2、T3每个幼苗的根长和发芽个数,同时测量每个幼苗的长势,即鲜重(S)、株高(H)、计算发芽率(GP)^[4]、发芽指数(GI)^[4]、活力指数(VI)^[5]、发芽速度指数^[6]。

在发芽过程中日发芽种子数达到最高峰时,统计发芽种子占供试种子数的百分比,计算发芽势(GE)。

特别指出CK相关发芽指标计算中,因重复试样发芽结果符合正态分布,因此以平均值作为单一CK样品的对照组。

$$\text{发芽率(GP)}(\%) = \frac{\text{全部正常发芽的种子数}}{\text{供试种子总数}} \times 100$$

(1)

$$\text{发芽指数(GI)}(\%) = \frac{\text{培养在有机肥浸出液种子发芽率} \times \text{培养在有机肥浸出液种子的平均根长}}{\text{培养在纯水的种子发芽率} \times \text{培养在纯水的种子的平均根长}} \times 100$$

(2)

$$\text{活力指数(VI)} = \text{发芽指数(GI)} \times \text{幼苗鲜重}$$

(3)

$$\text{发芽速度指数} = \text{发芽率} \times \text{发芽指数}$$

(4)

$$\text{发芽势(GE)}(\%) = \frac{\text{正常发芽种子数最大值当日的发芽数}}{\text{供试种子数}} \times 100$$

(5)

$$\text{CK发芽指数(GI)}(\%) = \frac{\text{单一CK样品种子发芽率} \times \text{单一CK样品种子的平均根长}}{\text{CK组平均种子发芽率} \times \text{CK组种子平均根长}} \times 100$$

(6)

1.2.4 黄瓜幼苗植株理化测定 将CK和T1、T2、T3浸出液所培养的植株归类集中,置于烘箱105℃杀青30 min后80℃恒温4 h烘干,取出后在干燥器中放置至室温,检测前用研钵研磨后称取植株干重,参照标准上机检测植株铜、锌、砷、总氮、总磷、总钾含量^[7],测得结果除以场家个数即为该种类畜禽粪肥所养植株的平均理化结果。

1.2.5 数据分析 本试验用Excel 2019对粪肥分布进行处理并作图。使用SPSS 26.0进行数据分析,根据结果分布情况含水率、Cu、Zn、总盐浓度和活力指数使用Kruskal-Wallis检验,其余结果均用方差分析检验,粪肥理化结果用中位数和

四分位间距表示,幼苗发育指标用均值和标准差表示。多重比较均采用Bonferroni法校正后,对参数进行差异性分析、因子分析及综合评价。使用R软件绘制幼苗理化值,由于As含量较低影响读图,幼苗重金属数值用科学计数法表示;同时绘制Spearman相关系数图,分析粪肥理化值与发芽指标之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 不同畜禽粪肥理化结果分析

2.1.1 分布范围 由图1A可知,不同畜禽粪肥中总氮分布比较分散,其中T1分布在0.31%~7.56%,T2分布在1.04%~6.35%,T3分布在

0.30%~5.51%;总体来看 T2 较为集中在 2.07%~3.20%,T3 在 1.15%~2.43%之间。总磷含量 T1 分布在 1.66%~8.30%之间,T2 为 2.60%~12.81%,T3 为 0.43%~2.43%;T1、T2 总磷含量较为分散,而 T3 的总磷含量更为集中,在 0.41%~1.89%之间。总钾含量 T1 分布在 1.85%~4.71%,T2 为 0.09%~1.17%,T3 为 0.25%~2.97%;T1 总钾主要集中在 2.90%~3.88%之间,T2 集中在 0.09%~0.41%之间,而 T3 集中在 2.02%~2.41%之间。

由图 1B 可知,T1 含水率分布在 14.15%~72.79%,主要集中在 25.47%~31.4%;T2 含水率分布在 14.04%~76.09%,主要集中在 64.12%~76.09%;T3 含水率分布在 5.54%~70.49%,主要集中在 12.12%~21.5%。总盐浓度 T1 分布在 0.43~7.79 mS·cm⁻¹,主要分布在 2.57 mS·cm⁻¹以上没有明显的集中;T2 总盐浓度分布在 0.24~4.38 mS·cm⁻¹,主要集中在 0.24~2.53 mS·cm⁻¹;T3 总盐浓度分布在 0.03~12.83 mS·cm⁻¹,相对

集中在 0.03~3.22 mS·cm⁻¹。

由图 1C 可知,重金属方面,T1Cu 含量分布为 2.33~89.59 mg·kg⁻¹也比较集中;T2 为 42.67~725.45 mg·kg⁻¹,主要集中在 42.67~142.15 mg·kg⁻¹;T3 分布为 21.81~118.87 mg·kg⁻¹,主要集中在 21.81~49.16 mg·kg⁻¹。

T1Zn 含量为 435.21~1 123.03 mg·kg⁻¹,主要集中在 435.21~587.67 mg·kg⁻¹;T2 分布在 290.72~3 470.06 mg·kg⁻¹,主要集中在 290.72~704.86 mg·kg⁻¹;T3 分布在 82.63~359.88 mg·kg⁻¹,分布较为集中(图 1D)。

T1As 含量分布在 0.56~2.93 mg·kg⁻¹,主要集中在 0.56~0.83 mg·kg⁻¹;T2 分布在 0.47~3.94 mg·kg⁻¹,主要集中在 0.47~1.13 mg·kg⁻¹;T3 分布在 0.67~4.60 mg·kg⁻¹,少量集中在 1.17~1.58 mg·kg⁻¹之间,总体较为分散(图 1E)。

综上,可以看出同种畜禽,不同养殖场间粪肥理化结果分布较为分散。

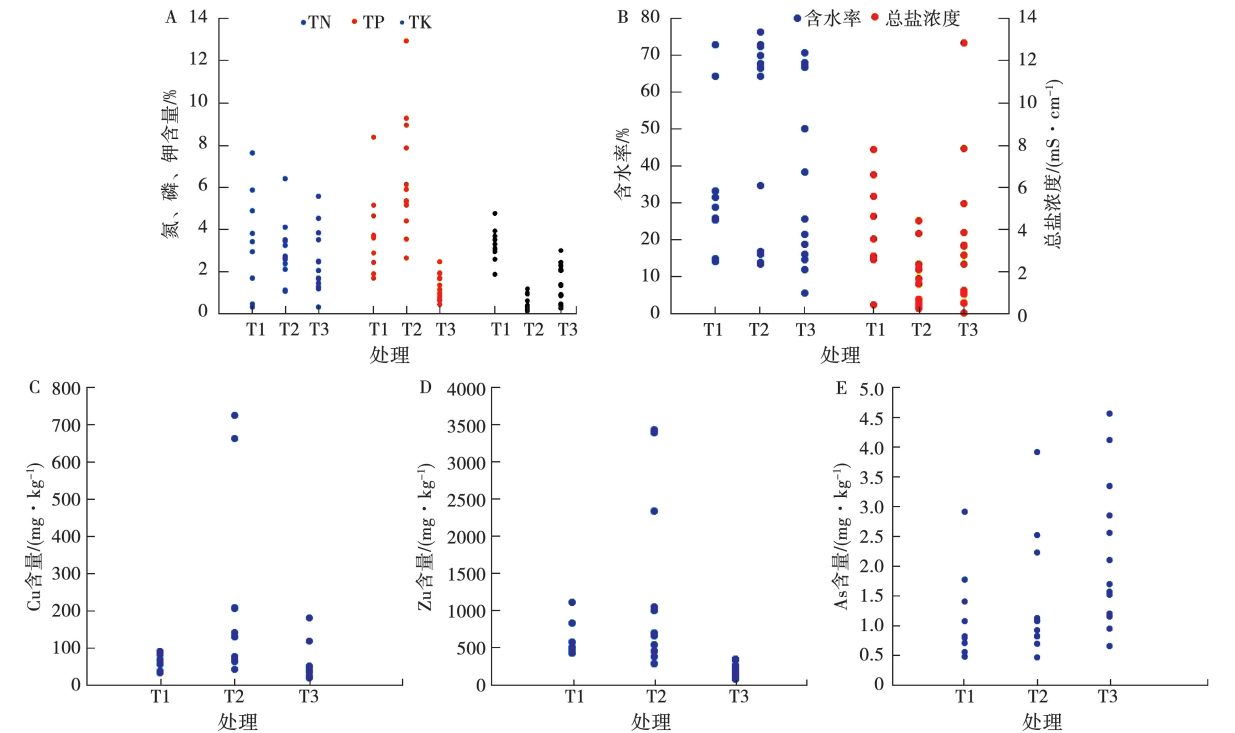


图 1 不同畜禽粪肥理化结果

2.1.2 处理间差异分析 由表 2 可知,不同粪肥中 Cu、Zn、总磷和总钾的理化值有显著差异。再进行多重比较分析发现,T2 的 Cu 含量要显著高于 T1 和 T3;T1 和 T2 的 Zn 含量要显著高于 T3;T2 的总磷要显著高于 T1 和 T3,T1 的总磷

要显著高于 T3;T1 的总钾要显著高于 T2 和 T3,T3 的总钾显著高于 T2。因此可以发现 Cu、Zn、总磷的含量为 T2(猪粪肥)>T1(鸡粪肥)>T3(牛粪肥);总钾的含量为 T1(鸡粪肥)>T3(牛粪肥)>T2(猪粪肥)。

表 2 不同畜禽间粪肥中各理化值的比较

处理	含水率/%	Cu/(mg·kg ⁻¹)	Zn/(mg·kg ⁻¹)	As/(mg·kg ⁻¹)
T1	28.87 a (25.47,33.29)	67.54 b (35.86, 80.54)	509.81 a (446.42, 587.68)	0.832 a (0.718,1.412)
T2	65.25 a (16.76, 70.37)	130.32 a (72.65,207.17)	702.69 a (531.42,1388.09)	1.092 a (0.835, 1.415)
T3	25.73 a (16.13, 66.67)	40.35 b (33.75, 49.16)	161.19 b (126.87, 229.88)	1.708 a (1.215, 2.872)
P	0.467	0.002	<0.001	0.035

处理	总氮/%	总磷/%	总钾/%	总盐浓度/(mS·cm ⁻¹)
T1	3.370 a (1.662, 4.820)	3.570 b (2.410, 4.610)	3.256 a (2.896, 3.655)	3.54 a (2.61, 5.57)
T2	2.662 a (2.279, 3.431)	5.565 a (4.925, 8.055)	0.385 c (0.245, 0.920)	1.05 b (0.62, 2.16)
T3	2.015 a (1.438, 3.471)	1.140 c (0.780, 1.670)	1.350 b (0.830, 2.074)	2.76 ab (0.94, 3.85)
P	0.495	<0.001	<0.001	0.052

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。表中数值为中位数,括号中为四分位间距。

结合图 1 和表 2 来看,T1、T2 含水率范围相似,但 T2 的中位数更高,因此含水率相对 T1、T3 稍高。从总盐浓度来看,T1 的含量范围及中位数均明显高于 T3 和 T2,其中位数是 T2 的 3.4 倍。总氮整体差别不大,但 T2 含量相对集中。总磷 T2 中位数显著高于 T1 和 T3,是 T3 的 4.9 倍。T1 的总钾中位数显著高于 T2 和 T3,是 T3 的 2.4倍,T2 的 8.5 倍。而从 Cu 的中位数及四分位间距来看 T2 明显高于 T1 和 T3,但中位数是 T1 的 1.9 倍。从 Zn 的中位数来看 T3 显著低于

T1 和 T2。相较于其他金属,As 的含量非常低,其中 T3 的中位数、含量范围和四分位间距结果均大于 T1 和 T2。

2.2 不同粪肥对黄瓜幼苗理化指标的影响

由图 2 可知,黄瓜幼苗中铜含量表现为 T1 略低于 CK,T2、T3 略高于 CK,但总体差距不大,同时 T1 的 Zn 也略高于其他 3 组。3 种粪肥处理下黄瓜幼苗中 As 与 CK 相比均有所升高,但 T1 含量明显高于其他组。

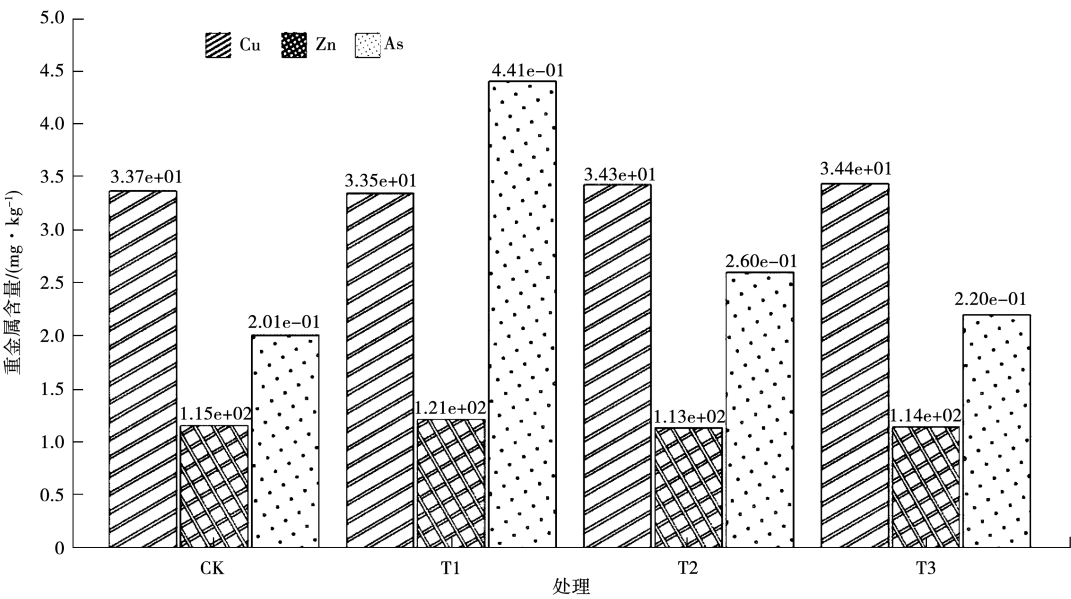


图 2 不同粪肥对黄瓜苗重金属含量的影响

注:各处理中重金属含量数据以科学计数法表示。

由图 3 可以看出,在黄瓜幼苗中,CK 中的总钾含量明显低于 3 种粪肥处理,T1 培养出来的幼苗钾含量最高,为 $24.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。幼苗中总磷的

含量差别不大,为 $13.7\sim 14.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。幼苗中的总氮 T3、T1 略低于 T2 和 CK,整体范围为 $72.3\sim 76.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

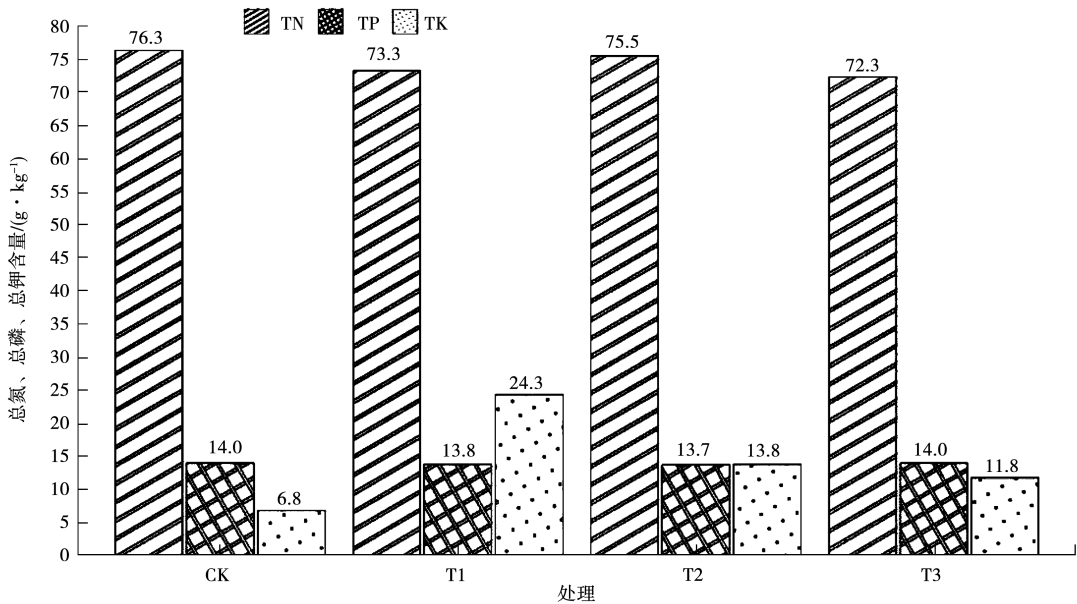


图 3 不同粪肥对黄瓜苗中氮、磷、钾含量的影响

2.3 不同粪肥对黄瓜种子发芽指标的影响

由表 3 可知,3 种粪肥对幼苗的发芽率、发芽势、发芽指数和发芽速度指数的影响均不显著,说明各类粪肥对幼苗发芽情况影响差异不大,但可以看出 T1 的发芽指数明显低于其他处理,说明其对黄瓜种子的发芽还是存在一定毒性,可能是由于 T1 整体腐熟度不够。而幼苗的株高、单株

鲜重(即长势^[8])和活力指数均存在显著($P<0.05$)差异,活力指数越高说明种子活力强长势好,T2 处理活力指数最高,与 CK 和 T3 处理差异不显著,但显著高于 T1 处理。T1 组和 T3 组的株高要显著低于 T2 组;T1 组和 T3 组的单株鲜重要显著低于 CK 组,T2 组显著高于 T3 组。

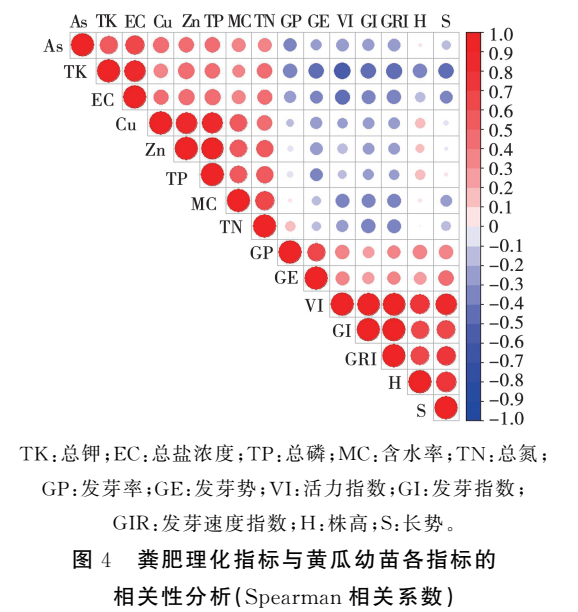
表 3 不同畜禽粪肥对幼苗各发芽指标的影响

处理	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数/%	发芽速度指数	株高/cm	单株鲜重/g	活力指数
CK	0.978±0.044 a	0.956±0.073 a	1.004±0.172 a	0.987±0.199 a	4.204±1.514 ab	2.362±0.144 a	2.372±0.427 ab
T1	0.944±0.073 a	0.811±0.162 a	0.536±0.265 a	0.504±0.254 a	2.471±1.835 b	1.421±0.730 bc	0.873±0.781 b
T2	0.967±0.065 a	0.858±0.090 a	1.192±0.994 a	1.157±0.984 a	6.127±1.794 a	2.238±0.680 ab	2.857±2.462 a
T3	0.877±0.271 a	0.831±0.275 a	1.065±1.228 a	1.041±1.234 a	3.625±2.930 b	1.387±0.887 c	2.329±3.648 ab

2.4 粪肥理化性质与黄瓜幼苗指标相关性分析

由图 4 可以看出,黄瓜幼苗发芽率与粪肥中 As、总钾、总盐浓度、Cu、总氮有相关性,其中与 As、总钾、总盐浓度、Cu 负相关,与总氮正相关。发芽势、活力指数、发芽指数、发芽速度指数与

As、总钾、总盐浓度、Cu、Zn、总磷、含水率、总氮均为负相关。株高与总钾、总盐浓度负相关,与 Cu、Zn、总磷为正相关。而幼苗长势只与 As、总钾、总盐浓度、含水率、总氮有相关性且均为负相关。



2.5 黄瓜幼苗指标的因子分析及综合评价

对幼苗的株高、发芽率、发芽势、幼苗长势、种子发芽指数、活力指数和发芽速度指数等7个指标进行探索性因子分析(KMO统计量值为0.745>0.6;Bartlett球形检验结果为 $\chi^2=479.47$, $P<0.001$,满足进行因子分析的条件)。

由表4可知,前2个主因子的累计贡献率为85.48%,表明前2个因子能解释幼苗发育指标总体85.48%的变异,可以用前2个主因子对其进行综合评价。

表4 幼苗各指标的因子分析		
发芽指标	因子载荷系数	
	因子1	因子2
株高	0.723	0.390
发芽率	0.200	0.902
发芽势	0.217	0.914
幼苗长势	0.687	0.498
种子发芽指数	0.972	-0.007
活力指数	0.982	0.017
发芽速度指数	0.972	0.005
特征值	4.378	1.606
贡献率/%	62.54	22.94
累计贡献率/%	62.54	85.48

注:采用主成分分析法得到因子载荷系数。

如图5所示,因子1是横轴,因子2是纵轴。越靠近因子1正的方向表示和因子1是正相关,

靠近负的就是负相关,越集中在哪个轴的方向,表示这些指标和这个因子的关联性很高,就属于该因子。可以看到发芽速度指数、活力指数和种子发芽指数几乎就是落在因子1上面,表示它们属于因子1;发芽率和发芽势更多靠近纵轴且是正方向,也就说明和因子2更相关;幼苗长势和株高虽然在因子1和因子2之间,但更靠近因子1,所以应归到因子1中。

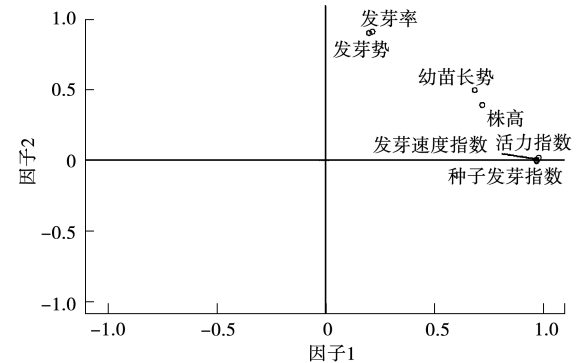


图5 旋转空间中的成分图

第1主因子的特征值为4.378,贡献率为62.54%,决定第1主因子的主要是株高、幼苗长势、种子发芽指数、活力指数和发芽速度指数,称之为生长发育活力因子(F1);第2主因子的特征值为1.606,贡献率22.94%,起决定作用的是发芽率和发芽势,称之为发芽效率因子(F2)。

借助回归法对特征根和旋转后的因子载荷系数进行计算,估计2个主因子在不同处理组中的发育指标的因子得分,将每个处理组的样品因子得分取平均得到表5的结果。由表5可知,T2组的F1最高,T1组的F1最低;CK组的F2最高,T3组的F2最低。以各主因子的贡献率为权重进行线性加权求和,可得到各样品发育指标的综合得分,表达式 $F=\frac{62.54}{85.48}\times F1+\frac{22.94}{85.48}\times F2$,可以从综合得分看出 $T2>CK>T3>T1$,说明与猪粪相比,鸡粪更适宜黄瓜生长。

表5 不同处理组的幼苗发芽指标的综合得分						
组别	F1	排序	F2	排序	综合得分	综合排序
CK	0.173	2	0.647	1	0.300	2
T1	-0.551	4	-0.463	3	-0.527	4
T2	0.382	1	0.442	2	0.398	1
T3	-0.092	3	-0.535	4	-0.210	3

3 讨论

3.1 不同畜禽粪肥理化性质分析

氮、磷、钾作为养分物质,对植物生长发育具有重要作用,最新的农业行业标准《有机肥料(NY/T 525—2021)》中明确规定,总养分的质量分数需 $\geq 4.0\%$,本研究发现3组粪肥中,牛粪肥的总氮、总磷整体含量最低,这与李书田^[9]等分析结果一致,而总钾含量并不是最低的,这可能与反刍动物饲料以秸秆类为主,钾在秸秆中含量较高,反而氮、磷含量较低,因此,反刍动物粪便中总钾含量较单胃动物更高^[10-11]。

适当的含水率有助于维持堆肥中微生物的活性,这些微生物负责分解有机物并释放植物可吸收的养分,含水率过高可能导致变质,而含水率过低则可能减少养分的有效性。有研究发现含水率在65%时有助于提高堆肥过程中细菌丰富度与多样性,利于有机物的分解和利用^[12-13]。本研究中发现猪粪肥的含水率中位数即为65.25%,全组样品主要集中在64.12%~76.09%。而总盐浓度参照《农用沼液(GB/T 40750—2021)》中规定在土壤施用的非浓缩沼液肥料中总盐浓度最大限值为 $3.0 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$,显然在本研究的样品中鸡和牛的粪肥超出限值更多,这与饲料添加有一定关系,除此之外与鸡、牛的生理特性也有关,鸡粪中的盐分还包括代谢产生的尿酸盐。尿酸盐是鸡排泄氮的主要形式,这些尿酸盐在鸡粪中以白色晶体的形式存在。牛的消化系统对饲料中盐分的利用率相对较低,因此会有更多的盐分通过粪便排出。因此可能造成鸡、牛的粪便总盐浓度偏高。

重金属方面,根据标准要求As的含量需 $\leq 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[4],本研究中所有样品均符合标准要求,同样余垚等^[14]分析发现我国含磷肥料中砷含量相对较低,对土壤累积的环境污染风险较小。Cu、Zn的含量要求在《有机肥料(NY/T 525—2021)》中未涉及,但因Cu、Zn在饲料中的大量使用使畜禽体内大量积累远超自身代谢能力,造成95%以上的Cu、Zn随粪尿排出^[15],随后作为有机肥进而造成土壤污染^[16-18],因此也作为粪肥重点关注的理化参数,本研究中Cu、Zn含量表现为猪粪肥>鸡粪肥>牛粪肥,这也与许俊香等^[19]对畜禽粪便Cu、Zn含量特征研究结果一致。畜禽

粪便经过堆沤后的粪肥在Cu、Zn含量特征上仍有明显的畜种特征。同时本研究还发现同种畜种在不同养殖场间差异较大,结果普遍比较分散,这与每个养殖场饲料配比,堆沤程度都有一定关系。

3.2 不同畜禽粪肥对黄瓜种子发芽指标的影响

粪肥的理化含量直接影响所种植的作物,是反映植物毒性的重要因素。作物对粪肥的利用是一个多面且复杂的过程。在种子发芽指标中,发芽率用来反映种子的总发芽能力。发芽势用来衡量种子集中发芽的能力。种子发芽指数反映了堆肥的植物毒性,是堆肥的评价指标。发芽速度指数表示种子的发芽速度。发芽指标可以直观简便地反映粪肥对植物生长的影响,根据黄瓜种子萌发及生长情况来看,猪粪肥培养的幼苗株高最高,有研究表明黄瓜在发芽和幼苗生长阶段对Cu和Zn的浓度有一定的耐受性。在Cu和Zn的浓度分别达到20和 $80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄瓜的根芽长会受到显著抑制,在低浓度下,可能对黄瓜种子的萌发有一定的刺激作用^[20-21]。本研究通过相关性分析发现Cu、Zn、总磷与株高成显著正相关,这可能与猪粪肥在1:10固液比浓度下Cu、Zn、总磷含量在耐受范围并且较高有关。试验发现总氮与发芽率呈正相关,而氮可以显著增加植物的整体长势,在粪肥理化值中鸡粪的总氮含量相对较高,但鸡粪肥的发芽率与其他组相比没有明显差异,鸡粪肥、牛粪肥与CK相比对长势有明显的抑制作用,这可能与此两组整体的总盐浓度相对较高有关,总盐浓度会干扰种子的渗透压平衡,影响种子的发芽率、根长和发芽指数,对植物生长发育有较大影响^[22]。相关研究表明,总盐浓度大于 $4000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时,会对种子的发芽产生抑制作用^[23]。同时可以发现粪肥中总盐浓度高低关系为鸡粪肥>牛粪肥>猪粪肥,而发芽指标中,发芽势、发芽指数、活力指数、发芽速度指数均符合鸡粪肥<牛粪肥<猪粪肥,说明鸡粪肥的高总盐浓度影响到了种子萌发及根的生长,印证了上述观点。

3.3 不同畜禽粪肥对黄瓜幼苗理化指标的影响

本研究中与CK对照相比,鸡粪肥培养出的黄瓜幼苗Zn、As高于其他粪肥,尤其As的含量明显高于其他,有研究发现低浓度的As可以促进某些水稻品种的发芽率和幼苗的生长,而高浓

度的 As 则会显著抑制发芽率和幼苗的生长。As 胁迫会影响种子的发芽率、根长和芽长,对根的抑制作用比对芽的抑制作用更为明显^[24-25]。但在粪肥中鸡粪肥的 As 含量反而低于其他粪肥,这可能与鸡粪肥整体高氮和中磷水平,利于环境中 As 形态的转化有关^[26],同时鸡粪肥普遍 pH 较高、微生物含量较高,也可能影响植物对 As 的吸收,进而抑制了幼苗的萌发生长。而黄瓜幼苗中仍是鸡粪肥培养的幼苗中钾含量明显高于其他,说明黄瓜幼苗在 As 和钾的吸收上可能存在一定相关性,但具体机理原因需要进一步研究。

3.4 不同畜禽粪肥对黄瓜种子发芽指标的因子分析及综合评价

本研究中粪肥理化单一指标与发芽指标之间相关性无法直观的表达不同畜禽粪肥对发芽指标的影响,因此需要进行因子分析,这与张帆等^[27]认为的基于主成分分析的综合评价与单一指标评价方法相比,更适合判断事物内在本质,更为科学、可行。本研究的 7 个萌发指标存在显著相关性,在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转换为新的个数少而彼此独立的综合指标,从而简化多指标分析^[28-29]。因此本研究利用因子分析将 7 个发芽指标转化为 2 个的主因子,即发芽效率因子和生长发育活力因子,累计贡献率达到 85.48%,对主因子进行加权计算得分后进行综合评价。

通过因子分析和综合评分得出结果为猪粪肥(T2)>纯水空白(CK)>牛粪肥(T3)>鸡粪肥(T1),分析中可以看出 CK 在发芽率及发芽势的发芽效率因子上得分最高,而 1:10 固液比浓度下的猪粪肥在株高、幼苗长势等其他方面的生长发育活力因子上得分最高,发现在利用北京地区畜禽粪肥种植黄瓜过程中,宜用纯水对黄瓜种子进行发芽,猪粪肥在 1:10 固液比的浓度下可以起到促进植株生长提高长势的作用,而同比例浓度的鸡粪肥综合评分最低,显著抑制黄瓜种子的萌发及生长,此浓度鸡粪肥不适宜在黄瓜种植中使用。

4 结论

最后,综合以上分析讨论可以得出,在 1:10 固液比的浓度下不同畜禽粪肥理化结果较为分散,3 种畜禽粪肥对黄瓜种子的发芽率、发芽势、

种子发芽指数和发芽速度指数的影响均不显著,对株高、幼苗长势和活力指数均有显著差异($P < 0.05$)。整体而言在黄瓜出苗后将简单堆沤过的猪粪肥以 1:10 固液比稀释后施肥即可促进植株生长。

参考文献:

- [1] 北京市生态环境局.北京市 2023 年固体废物污染环境防治信息的通告[EB/OL].(2024-06-06)[2024-09-12].<https://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718883/436464376/index.html>.
- [2] 巩子毓,高旭,黄炎,等.连续施用生物有机肥提高设施黄瓜产量和品质的研究[J].南京农业大学学报,2016,39(5):777-783.
- [3] 王朔楠,孙静,郭嘉莹,等.种子发芽指标及其测算方法[J].麦类作物学报,2023,43(2):190-196.
- [4] 国家技术监督局.农作物种子检验规程发芽试验:GB/T 3543.4-1995[S].北京:中国标准出版社,1996.
- [5] LIN W X, KIM K, SHIN D. Rice allelopathic potential and its modes of action on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*)[J]. Allelopathy Journal, 2000,7: 215-224.
- [6] STEINMAUS S J, PRATHER T S, HOLT J S. Estimation of base temperatures for nine weed species[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(343): 275-286.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中对元素的测定:GB/T 5009.268-2016[S].北京:国家标准出版社,2016.
- [8] 王玉娇,吴薇,郭忠军,等.小麦种子老化处理对发芽指标及根系的影响[J].核农学报,2018,32(12):2423-2430.
- [9] 李书田,刘荣乐,陕红.我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J].农业环境科学学报,2009,28(1):179-184.
- [10] 彭丽,孙勃岩,王权,等.陕西杨凌规模化养殖场饲料及粪便中养分和重金属含量分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(5):123-129,138.
- [11] 陈芬,余高.晋北地区规模化养殖场畜禽粪便中养分和重金属含量分析[J].河南农业科学,2019,48(5):143-148.
- [12] 周亚文,张宇航,沈玉君,等.初始含水率对人粪污好氧堆肥腐熟及微生物群落结构变化的影响[J].环境工程学报,2022,16(12):4108-4120.
- [13] 李丹阳,马若男,亓传仁,等.含水率对羊粪堆肥腐熟度及污染气体排放的影响[J].农业工程学报,2020,36(20):254-262.
- [14] 余焱,朱丽娜,郭天亮,等.我国含磷肥料中镉和砷土壤累积风险分析[J].农业环境科学学报,2018,37(7):1326-1331.
- [15] 闫秋良,刘福柱.通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染[J].家畜生态,2002,23(3):68-70.
- [16] 何梦媛,董同喜,茹淑华,等.畜禽粪便有机肥中重金属在土壤剖面中积累迁移特征及生物有效性差异[J].环境科

学,2017,38(4):1576-1586.

[17] 孙国峰,陈虞雯,盛婧,等. 稻麦农田土壤 Cu 累积条件下猪粪安全施用量[J]. 农业环境科学学报,2016,35(12):2361-2366.

[18] 宋姿蓉,俄胜哲,袁金华,等. 不同有机物料对灌漠土重金属累积特征及作物效应的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(19):3367-3379.

[19] 许俊香,邹国元,孙钦平,等. 畜禽粪便 Cu、Zn 含量特征研究[J]. 江苏农业科学,2024,52(11):254-259.

[20] 李淑艳,郭微. Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国种业,2006(1):33-34.

[21] 华玉丹,王晓芬,李娟,等. 铜锌及其复合污染对西瓜种子萌发的影响[J]. 环境科学与技术,2011,34(12):71-73,100.

[22] 龚小强,孙向阳,田赞,等. 复合型有机改良剂对园林废弃物堆肥基质改良研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(2):196-201.

[23] GARCÍA C, HERNÁNDEZ T, COSTA F. The influence of composting and maturation processes on the heavy-metal extractability from some organic wastes [J]. Biological Wastes, 1990, 31(4): 291-301.

[24] 李仁英,沈孝辉,张耀鸿,等. 无机砷对不同水稻品种种子萌发和幼苗光合生理的影响[J]. 农业环境科学学报,2014,33(6):1067-1074.

[25] 翟伊然,李仁英,张婧,等. 温度和砷对不同品种水稻幼苗生长和砷吸收的影响[J]. 土壤学报,2024,61(4):1156-1165.

[26] ZHAO Y, ZHEN Z, WANG Z H, et al. Influence of environmental factors on arsenic accumulation and biotransformation using the aquatic plant species *Hydrilla verticillata*[J]. Journal of Environmental Sciences, 2020, 90: 244-252.

[27] 张帆,付锦涛,陈梦茹,等. 基于主成分分析和聚类分析的 14 份马铃薯种质资源的品质评价[J]. 种子,2022,41(12):85-92.

[28] 袁志发,宋世德. 多元统计分析[M]. 北京:科学出版社,2009.

[29] 刘龙江,吴之坤,任得强,等. 基于因子分析和聚类分析的红花龙胆种子质量评价[J]. 种子,2023,42(6):19-25.

Effects of Different Livestock and Poultry Manure Fertilizers on Cucumber Seed Germination Index in Beijing Area

LI Yanlong, WANG Qian, ZHANG Jianmiao, ZHANG Wen, CHEN Yijun, SHI Ao, YANG Fan
(Animal Husbandry Environmental Quality Supervision, Inspection and Testing Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing Animal Husbandry General Station, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to promote the rational utilization and popularization of livestock and poultry manure, this experiment collected manure from composting treatment of livestock and poultry breeding in Beijing Area, and extracted with 1:10 solid-liquid ratio to cultivate cucumber seeds. The effects of different livestock and poultry manure types on cucumber seed germination and seedling growth indexes were analyzed by measuring the physical and chemical indexes of different livestock and poultry manures, as well as the germination of cucumber seeds and the physical and chemical indexes of cucumber seedlings after different manure cultivation. The results showed that the effects of three kinds of livestock and poultry manure on the germination rate, germination potential, seed germination index and germination rate index of seedlings were not significant at the concentration of 1:10 solid-liquid ratio, but the germination index of chicken manure was significantly lower than that of other. The content of arsenic and total potassium in seedlings was significantly higher than that of pigs manure and cattle manure, indicating that this concentration of chicken manure had certain toxicity to the germination of cucumber seeds. There were significant differences in plant height, seedling growth and vigor index among the three manure treatments ($P<0.05$), and showed as pig manure treatments> cow manure treatments> chicken manure treatments. After factor analysis and comprehensive score of cucumber seed germination index, it can be concluded that pig manure had the highest score. Therefore, the application of pig manure at this solid-liquid ratio concentration can improve the plant height and growth of seedlings.

Keywords: livestock and poultrymanure; physical and chemical criterion; germination; factor analysis