

湖南洞口县猪粪基质养殖蚯蚓以及蚯蚓土壤种植黑麦草测产试验

刘红军

湖南省洞口县杨林镇农业综合服务中心, 湖南 邵阳

收稿日期: 2024年1月23日; 录用日期: 2024年2月22日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

在洞口县杨林镇进行猪粪基质养殖蚯蚓和蚯蚓土壤种植黑麦草测产试验。试验结果: 1) 养殖蚯蚓试验: 60天猪粪基质pH 8.77, 碱解氮0.71 g/kg, 有效磷1.02 g/kg, 速效钾1.92 g/kg, 有机质22.32%, 有效活菌数量 5.21×10^8 个/g。90天猪粪基质pH 8.87, 碱解氮0.58 g/kg, 有效磷0.91 g/kg, 速效钾1.73 g/kg, 有机质20.93%, 有效活菌数量 5.14×10^8 个/g。60天猪粪基质比90天猪粪基质分别减少1.1%、增加22.4%、12.1%、11.0% (这3项差异显著 $P < 0.05$)、6.6%、1.4%。2) 蚯蚓土壤种植试验: 试验I组(60天猪粪基质)每667 m²黑麦草鲜草最高产量达24,811 kg, 较对照组(一般土壤种植)增产10,738 kg, 增产76.3%, 1 kg猪粪基质增产黑麦草鲜草10.47 kg。试验II组(90天猪粪基质)每667 m²黑麦草鲜草产量22,147 kg, 较对照组增产8074 kg, 增产57.4%, 每667 m²施入猪粪基质1025 kg, 1 kg猪粪基质增产黑麦草7.88 kg。60天猪粪基质较90天猪粪基质种植的黑麦草的产量高12.1%。结论: 养殖蚯蚓60天猪粪基质较90天猪粪基质肥力高, 其土壤种植的黑麦草的产量也高。并对培养蚯蚓土壤、蚯蚓改良修复土壤作用机理和用途进行了有益探索, 为农业同行养殖蚯蚓和蚯蚓土壤利用方面提供参考。

关键词

蚯蚓, 养殖, 氮磷钾值, 蚯蚓土壤, 黑麦草测产, 试验

Cultivation of Earthworms and Earthworm Soil Using Pig Manure Substrate in Dongkou County, Hunan Province Yield Measurement Experiment of Planting Ryegrass

Hongjun Liu

Yanglin Town Agricultural Integrated Service Center, Dongkou County, Hunan Province, Shaoyang Hunan

Received: Jan. 23rd, 2024; accepted: Feb. 22nd, 2024; published: Feb. 29th, 2024

文章引用: 刘红军. 湖南洞口县猪粪基质养殖蚯蚓以及蚯蚓土壤种植黑麦草测产试验[J]. 农业科学, 2024, 14(2): 203-211. DOI: 10.12677/hjas.2024.142026

Abstract

An experiment was conducted in Yanglin Town, Dongkou County to measure the yield of pig manure substrate for breeding earthworms and planting ryegrass in earthworm soil. Experimental results: 1) Farming earthworm experiment: 60 days of pig manure substrate pH 8.77, alkaline hydrolyzed nitrogen 0.71 g/kg, available phosphorus 1.02 g/kg, available potassium 1.92 g/kg, organic matter 22.32%, effective viable bacterial count 5.21×10^8 pieces/g. 90-day pig manure substrate pH 8.87, alkaline hydrolyzed nitrogen 0.58 g/kg, available phosphorus 0.91 g/kg, available potassium 1.73 g/kg, organic matter 20.93%, effective viable bacterial count 5.14×10^8 pieces/g. The 60-day pig manure substrate decreased by 1.1%, increased by 22.4%, 12.1%, and 11.0% compared to the 90-day pig manure substrate (significant $P < 0.05$), 6.6%, and 1.4%, respectively. 2) Earthworm soil planting experiment: In Experiment Group I (60-day pig manure substrate), the maximum yield of fresh ryegrass per 667 m² reached 24,811 kg, which increased by 10,738 kg or 76.3% compared to the control group (general soil planting). The yield of fresh ryegrass increased by 10.47 kg with 1 kg pig manure substrate. Experiment Group II (90-day pig manure substrate) produced 22,147 kg of fresh ryegrass per 667 m², an increase of 8074 kg compared to the control group, an increase of 57.4%. 1025 kg of pig manure substrate was applied per 667 m², resulting in an increase of 7.88 kg of ryegrass per 1 kg of pig manure substrate. The yield of ryegrass grown on 60-day pig manure substrate is 12.1% higher than that grown on 90-day pig manure substrate. Conclusion: The 60-day pig manure substrate for raising earthworms has higher fertility than the 90-day pig manure substrate, and the yield of ryegrass planted in its soil is also higher. And beneficial explorations were conducted on the cultivation of earthworm soil, the mechanism and application of earthworm improvement and soil remediation, providing reference for agricultural peers in the cultivation of earthworms.

Keywords

Earthworm, Aquaculture, Nitrogen, Phosphorus and Potassium Value, Earthworm Soil, Ryegrass Yield Test, Test

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

从2016年开始,湖南省洞口县进行蚯蚓养殖和蚯蚓粪对土壤结构和肥力作用、蚯蚓干品替代鱼粉豆粕蛋白质进行畜禽鱼饲养对比试验和蚯蚓养殖对粪污治理和改善生态环境作用三项课题研究[1]。

大家知道,养殖蚯蚓后,土壤肥力提高。但蚯蚓土壤中氮、磷、钾究竟提高多少呢,就要对猪粪、牛粪、禽粪、废弃物垃圾各类作为培养蚯蚓基质做试验,并进行理化检测,作为科学施肥和种植作物的依据。如王昊,杨波[2]等试验,养殖蚯蚓90天猪粪基质碱解氮0.56 g/kg,有效磷0.88 g/kg,速效钾1.68 g/kg。养殖蚯蚓90天牛粪基质碱解氮0.65 g/kg,有效磷0.89 g/kg,速效钾1.19 g/kg。猪粪基质和牛粪基质养殖蚯蚓90天这三项较接近。

另外在畜牧业在蚯蚓土壤种草和种植青绿饲料方面效果如何呢?能否高产?也有待进行种植试验来证实。

所以，洞口县 2016 年最初的养殖蚯蚓和种草测产的 2 个试验在杨林镇进行，为养殖蚯蚓和蚯蚓土壤利用提供指导。

2. 试验一：猪粪基质养殖蚯蚓试验

2.1. 试验地点和时间

试验地点：湖南省洞口县杨林镇破刀村。

试验时间：在 2016 年 3 月 1 日至 5 月 30 日。

2.2. 试验材料

供试蚯蚓品种为太平 2 号。供试物料为未发酵的猪粪和玉米秸秆，购买于附近的养猪场。

2.3. 试验设计

试验设 2 个蚯蚓养殖池(蚓床)，每个养殖池为宽 2.8 m、长 12 m、深 0.3 m，为 10.08 m³。室外养殖池底部用无纺布、侧面用废旧薄膜作隔离，以防蚯蚓逃逸。

2.4. 试验方法

2.4.1. 猪粪 + 玉米秸秆基质制作

把玉米秸秆打碎或切为 1 cm，然后猪粪秸秆混合均匀。每个养殖池放猪粪 2.52 m³ + 玉米秸秆 2.52 m³。

2.4.2. 蚯蚓投放量

每个养殖池均蚯蚓投放量为 1 kg/m²。

2.4.3. 室外养殖方法

蚯蚓生长最适宜温度为 20~25 度，湿度为 70%。因此在温室好调节温度，蚯蚓培养繁殖和生长率高[3]。在温室里每星期加一次水以保持湿度。可以在温室养殖，也可选择在 4 月至 6 月室外养殖，因为要进行试验二，要赶上黑麦草春播期(5~6 月)。所以此次试验时间在 2017 年 3 月 1 日至 5 月 30 日，为室内养殖。养殖池每个每次可喷洒水 50 kg，也可喷洒猪尿混合水(猪尿:水 = 1:2)。

2.5. 试验结果和分析

对养殖蚯蚓前和养殖蚯蚓 90 天基质的理化性质进行检测，将检测数据列入表 1。

Table 1. Table of physical and chemical property detection values of pig manure matrix before and after earthworm farming in Dongkou County

表 1. 洞口县养殖蚯蚓前后猪粪基质的理化性质检测值表

项目	pH	碱解氮 g/kg	有效磷 g/kg	速效钾 g/kg	有机质%	有效活菌数量 5.21 × 10 ⁸ 个/g
养殖蚯蚓前的猪粪基质	9.58	6.15	0.58	10.56	9.81	5.16
养殖蚯蚓 60 天的猪粪基质	8.77	0.71	1.02	1.92	22.32	5.21
养殖蚯蚓 90 天的猪粪基质	8.87	0.58	0.91	1.73	20.93	5.14

从表 1 中可得出：① 养殖蚯蚓 60 天猪粪基质 pH8.77，碱解氮 0.71 g/kg，有效磷 1.02 g/kg，速效钾 1.92 g/kg，有机质 22.32%，有效活菌数量 5.21×10^8 个/g，② 养殖蚯蚓 90 天猪粪基质 pH8.87，碱解氮 0.58 g/kg，有效磷 0.91 g/kg，速效钾 1.73 g/kg，有机质 20.93%，有效活菌数量 5.14×10^8 个/g，①与②比较，①分别减少 1.1%、增加 22.4%、12.1%、11.0% (这 3 项差异显著 $P < 0.05$)、6.6%、1.4%。说明养殖蚯蚓 60 天较 90 天猪粪基质肥力水平高，为最高值肥力最好。③王昊，杨波[4]等试验，养殖蚯蚓 90 天猪粪基质 pH 8.68，碱解氮 0.56 g/kg，有效磷 0.88 g/kg，速效钾 1.68 g/kg，有机质 21.65%，有效活菌数量 5.13×10^8 个/g。②与③比较，较接近，相差在 2~4% 以内。

另外，猪粪基质的碳氮比检测值为 23.9，不列入表 1。碳氮比是最常用的腐熟度指标之一，基质的碳氮比对蚯蚓的生长繁殖有很大影响，当基质中的碳氮比过高时，氮元素缺乏，蚯蚓能够利用的蛋白质含量少，其生长发育迟缓；碳氮比过低时，氮元素含量过高，容易引起蚯蚓蛋白质中毒，导致其死亡腐烂。碳氮比在 20~25 内适宜蚯蚓的生长[4] [5] [6]。此次猪粪基质的碳氮比为 23.9，在养殖蚯蚓碳氮比适宜值内。

3. 试验二：蚯蚓土壤种植黑麦草试验

3.1. 试验地点和试验时间

试验地点:湖南省洞口县杨林镇破刀村。

试验时间: 2016 年 6 月 2 日至 11 月 20 日。

3.2. 试验材料

猪粪蚯蚓土壤，黑麦草种子。

3.3. 试验设计和方法

分三组种植黑麦草：一般土壤，为对照组，养殖蚯蚓 60 天猪粪基质土壤为试验 I 组，养殖蚯蚓 90 天，猪粪基质土壤为试验 II 组。

施肥方法：采取小沟条播的方法，相隔 30 cm 挖一条 15~20 cm 小沟，将带有活蚯蚓的猪粪基质均匀地播在小沟里，然后将熟土覆盖平整。这样有利于蚯蚓在土壤中存活繁殖，发挥蚯蚓土壤长久作用，特别是高温的夏季。另外，黑麦草生长起来后有遮阳降低夏季土壤温度作用，也有利于蚯蚓的生长。蚯蚓全生育期 60 天，每 30 天产一次卵，一次 3~4 条小蚯蚓。蚯蚓存活期 1~6 年，性成熟 8 个月。

3.4. 试验结果和分析

对三个组施肥、种植黑麦草情况和每次收割黑麦草鲜草进行称重并统计，计入表 2。

Table 2. Statistical table of planting ryegrass in the soil of earthworm pig manure substrate in Dongkou County
表 2. 洞口县蚯蚓猪粪基质土壤种植黑麦草情况统计表

	施入猪粪基(kg)	面积 m ²	黑麦草播种(kg)	收割黑麦草(kg)	每 667 m ² 黑麦草产量(kg)
对照组	无	3438	61.9	72,543	14,073
试验 I 组	3420	2224	40.1	82,728	24,811
试验 II 组	3452	2246	40.5	73,845	22,147

从表 2 中得出：对照组每 667 m² 黑麦草鲜草产量 14,073 kg，试验 I 组每 667 m² 黑麦草鲜草产量 24,811

kg, 较对照组增产 10,738 kg, 增产 76.3%, 每 667 m² 施入猪粪基质 1026 kg, 因此 1 kg 猪粪基质增产黑麦草 10.47 kg。试验 II 组每 667 m² 黑麦草鲜草产量 22,147 kg, 较对照组增产 8074 kg, 增产 57.4%, 每 667 m² 施入猪粪基质 1025 kg, 1 kg 猪粪基质增产黑麦草 7.88 kg。也说明养殖蚯蚓 60 天较 90 天猪粪基质肥力高, 种植的黑麦草的产量也高, 高(24811 ÷ 22147) 100% = 12.1%。

经网络搜索, 没有蚯蚓土壤种植黑麦草测产的试验报道, 就没有了对比, 因此培育蚯蚓土壤种植黑麦草测产试验, 本文是首次报道。

只有蚯蚓土壤促进黑麦草生长的理论研究。如土壤中木质素显著降低了黑麦草的生物量, 而蚯蚓能够缓解木质素的抑制作用, 促进黑麦草生长。木质素明显抑制了土壤细菌、真菌数量, 并改变群落结构, 木质素和蚯蚓组合处理显著提高细菌、真菌数量, 改变上述降解微生物的丰度[7]。张尊昊[8]在蚯蚓堆制处理花生壳的研究中发现, 接种蚯蚓处理的羧甲基纤维素酶、微晶纤维素酶等酶活力高于未接种蚯蚓对照组, 纤维素、半纤维素、木质素的降解率也明显高于未接种蚯蚓对照组。

但雷小文, 邱静芸, 等[9]试验表明 2 个蚯蚓粪试验组氮、磷、钾含量明显高于对照组, 其皇竹草鲜草产量提高 72.41~79.84%, 显著高于对照组, 与本试验蚯蚓粪试验组种植黑麦草鲜草产量提高 57.4~76.3%, 显著高于对照组, 结果一致。

4. 讨论

4.1. 蚯蚓粪营养丰富

陈宝书, 等[10]检验出牛粪基质养殖的蚯蚓粪氮、磷、钾含量分别为 0.96%、0.36%、0.97%, 有机质 19.47%, pH 为 7.10。Fe、Mn、En、Cu、Mg 含量分别为 3161.0、222.0、3.0、20.4、8336.7 μg/g。风干后粗脂肪、粗纤维、粗蛋白、粗灰分、无氮浸出物、钙、磷分别为 0.49%、4.59%、6.00%、71.84%、13.45%、4.16%、0.36%。

李典友[11]指出: 蚯蚓粪与原土养分相比, 蚯蚓粪养分较原土提高 36%~160%, 全氮增加 75%~105%, 其中速效磷增加 20%~68%, 速效钾增加 19%~36%。

蚯蚓粪也可作为蛋白质原料, 可以解决蛋白质饲料不足的问题[10][11][12]。蚯蚓粪用于养猪、养禽。

4.2. 有机污染物被微生物降解方式

主要通过两种方式: ① 利用微生物分泌的胞外酶降解。② 污染物被微生物吸收到细胞内, 由胞内酶降解。而蚯蚓肠道内微生物数量、活性相对较高, 同时富含多种酶, 此二者均可直接或间接作用于污染物, 使其降解转化[13]。

4.3. 培养蚯蚓土壤的概念

蚯蚓是土壤中生物量最大的无脊椎动物, 具有很强的消化有机质、改善土壤理化性质和促进外源性物质生物降解的能力, 被誉为“土壤生态系统工程师”[14]。蚯蚓可以抵御高浓度土壤污染, 对无机物和有机物污染均有良好的修复效果, 利用其修复污染土壤具有环境友好、高效、低成本等优势[15]。

蚯蚓土壤具有了团粒结构、疏水性、保水性、透气性等物理特性的改性, 见图 1。具有固锁重金属和有机质、并逐步消解有机质的基本特点。能改良土壤, 迅速修复板结土壤, 修复连作障碍[11]。土壤改良后农作物增产 2 倍多, 且品质味道极佳。

① 疏水性: 土微粒被胶联体充分凝聚, 形成更大胶联团, 同时胶联团表面也被胶联包埋, 可有效防止土质扩散, 从而达到疏水性能, 防止水土流失。② 保水保肥性: 小胶联体内多孔性可达到吸水性能, 同时吸附有机物及微生物繁殖代谢物等等, 达到保水保肥性能。③ 透水透气性: 有效防止植物出现窝根、

烂根、土壤板结等现象。更适合土壤微生物菌群生长繁殖。④ 抑臭：通过多层生物材料的胶联质实现土壤微粒的包埋抱团，从而防止有机质和有毒有害气体扩散。

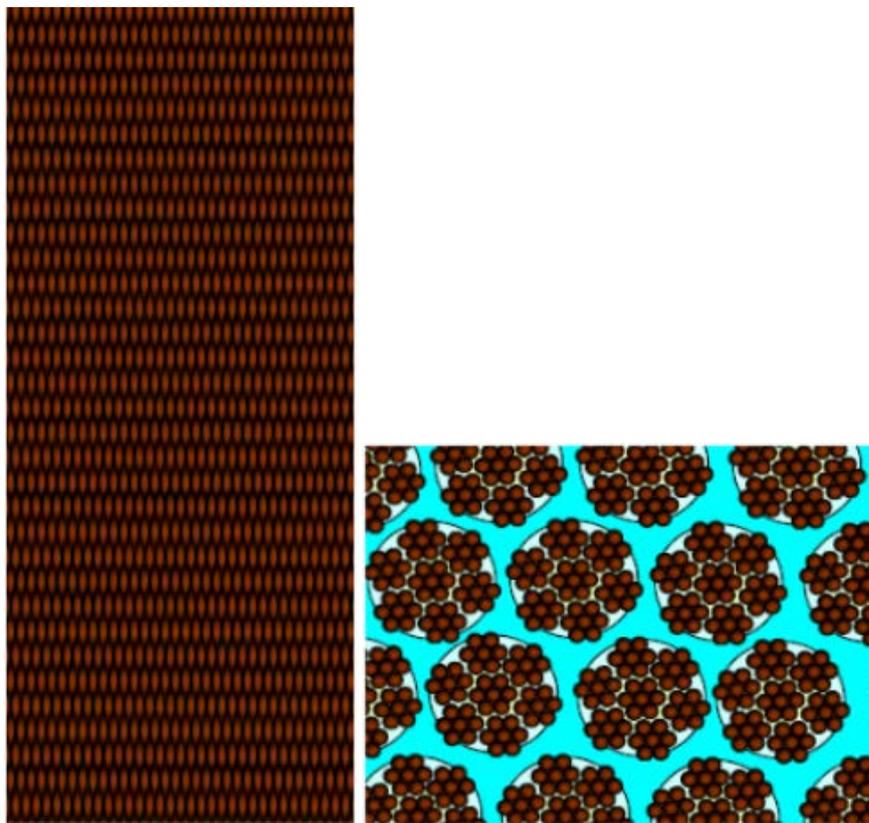


Figure 1. Unrepaired soil structure → map of repaired soil structure (granular soil)
图 1. 未修复的土壤结构→修复后的土壤结构(团粒结构土)图

4.3.1. 蚯蚓土壤的主要功能

① 增肥性：有机质和微量元素等有效成份固锁在多孔结构中不随水扩散而浪费。② 促微生物增长：团粒结构是益生菌定殖和繁殖的载体。③ 高持水性：多孔稳定性结构，持水能力可增强 30%。④ 防止有毒有害成份形成二次污染。有毒有害成份被钝化固锁并不溶于水，避免重金属离子等有害成份污染地下水等而形成二次污染。⑤ 长效性：团粒结构可至少保持 5~6 年，并通过诱导作用产生新团粒结构，有效保持土壤的均衡营养。⑥ 消除异味：臭味减少 90% 以上。

4.3.2. 蚯蚓土壤的应用领域

① 作为花卉栽培用土：蚯蚓土对多肉等花卉的促生作用被证实和应用。② 用于干旱地区的经济作物种植：如青海的枸杞栽培基地，具有突出的抗旱保水增加肥效的效果。③ 修复荒山土质应用于各类种植园：如江苏和湖南用于将荒山开发成茶园、果园和经济林等各类种植园，提高了植物的产量和品质[12] [14] [15]。④ 用于生产高效生物有机肥。蚯蚓粪是一种优质、安全的天然有机肥料，对土壤环境质量和作物生长有明显的改善和促进作用[16]。蚯蚓土壤蔬菜产量较一般土壤蔬菜产量成倍增加，见图 2。⑤ 盐碱地的改良：如天津，潍坊等地，对盐碱地进行改良试验，取得极好效果，且不返盐。添加腐植酸、或蚯蚓粪、或菌肥能够改善盐碱地土壤的性状，促进作物的生长[17]。⑥ 用于生态护坡。高速公路和河道护坡。将疏浚污泥瞬间固化，能将土壤里的重金属和恶臭等物质固锁在土壤中不再随雨水而流

失。蚯蚓土壤固化治理的同时投加各种草种，快速培养出绿色草坪的柔式护坡驳岸。高速公路边坡草坪覆盖率高，见图 3。坡体抗台风暴雨，耐冲刷，耐干旱，使雨季河水不浑浊。施工简单，工期短，能省略大部分水泥拱廓，成本低。大坡度斜面绿化，耐雨水冲刷，土壤不流失不垮塌，植被生长迅速，施工简单，效果显著持久[18][19]。⑦ 用于草坪和绿化带。⑧ 粪污治理和改善生态环境。



Figure 2. Comparison chart of vegetable growth in general soil (left side) and earthworm soil (right side)

图 2. 蔬菜在一般土壤(左侧)蚯蚓土壤(右侧)的生长情况对比图



Figure 3. Sketches of Highway Slope Planting

图 3. 高速公路边坡种草图

4.4. 洞口县蚯蚓养殖→蚯蚓土壤种植模式

洞口县自 2016 年至今，7 年来，推广蚯蚓养殖的家庭农场(户)共有 358 个，建成蚯蚓养殖池 2698 个，面积 29,520 m²，其中室内养殖池 1628 个 16,835 m²，占养殖池分别为 60.3%、57.1%。用牛、羊、猪、家

禽粪污养殖蚯蚓。年培育蚯蚓土壤种植象草、黑麦草、白菜、萝卜等面积 39.5 hm²，种草种菜养牛、养羊、养猪、养鱼。7 年产生直接经济效益 3898 万元，发挥了畜禽粪污治理作用，具有生态效益。

洞口县也对蚯蚓养殖的家庭农场(户)进行奖励扶持。洞口县生猪出口大县奖励项目，量化评分指标中有养殖母猪数量(1 头 3 分)、养殖小、中、大猪数量(每头分别 0.3、0.5、1 分)、猪舍面积(10 m³ 1 分)、养殖档案(20 分)、消毒池、沼气池等 10 多个评分项，根据奖励资金总数和奖励户评分总分累计，细化到每分奖励多少元，再计算出每户奖励金额势[20]。从 2017 年开始，把蚯蚓养殖池项加 20~30 分，蚯蚓养殖畜禽加 20 分，蚯蚓土壤种草加 20 分，6 年奖励蚯蚓养殖户 320 万元。

5. 总结

以上 2 个试验结果：1) 养殖蚯蚓试验：60 天猪粪基质 pH 8.77，碱解氮 0.71 g/kg，有效磷 1.02 g/kg，速效钾 1.92 g/kg，有机质 22.32%，有效活菌数量 5.21×10^8 个/g。90 天猪粪基质 pH 8.87，碱解氮 0.58 g/kg，有效磷 0.91 g/kg，速效钾 1.73 g/kg，有机质 20.93%，有效活菌数量 5.14×10^8 个/g。60 天猪粪基质比 90 天猪粪基质分别减少 1.1%、增加 22.4%、12.1%、11.0% (这 3 项差异显著 $P < 0.05$)、6.6%、1.4%。2) 蚯蚓土壤种植试验：试验 I 组(60 天猪粪基质)每 667 m² 黑麦草鲜草最高产量达 24,811 kg，较对照组(一般土壤种植)增产 10,738 kg，增产 76.3%，1 kg 猪粪基质增产黑麦草鲜草 10.47 kg。试验 II 组(90 天猪粪基质)每 667 m² 黑麦草鲜草产量 22,147 kg，较对照组增产 8074 kg，增产 57.4%，每 667 m² 施入猪粪基质 1025 kg，1 kg 猪粪基质增产黑麦草 7.88 kg。60 天猪粪基质较 90 天猪粪基质种植的黑麦草的产量高 12.1%。结论：养殖蚯蚓 60 天猪粪基质较 90 天猪粪基质肥力高，种植的黑麦草的产量也高。

洞口县进行了蚯蚓养殖→蚯蚓土壤种植模式，种草种菜养牛、养羊、养猪、养鱼，产生较好的经济效益和生态效益，蚯蚓养殖增加一条畜禽粪污治理渠道。

参考文献

- [1] 刘红军, 尹文生. 蚯蚓养殖技术与加工利用[J]. 现代农业科技, 2016(1): 296-297.
- [2] 王昊, 杨波, 等. 不同畜禽粪对蚯蚓生长繁殖的影响[J]. 农业科学研究, 2022, 43(4): 85-89.
- [3] 肖自斌, 刘世伟. 不同接种密度对温室阳畦地养殖蚯蚓效果的影响[J]. 中南农业科技, 2023, 44(11): 65-68.
- [4] 刘婷, 任宗玲, 陈旭飞, 等. 不同碳氮比培养基质组合对赤子爱胜蚓生长繁殖的影响[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(3): 321-325.
- [5] 高娟, 杨京平, 杨虎. 蚯蚓处理猪粪与玉米秸秆的最适碳氮比及混合物腐熟度评价[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 765-771.
- [6] 温凌嵩, 宋立华, 臧一天, 等. 蚯蚓处理畜禽粪便研究进展[J]. 家畜生态学报, 2020, 41(7): 85-89.
- [7] 孙月, 潘彦硕, 等. 木质素与蚯蚓对黑麦草生物量及土壤微生物群落的影响[J]. 2021, 53(2): 313-320.
- [8] 张尊昊. 蚯蚓堆制处理花生壳的技术方法研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [9] 雷小文, 邱静芸, 李建军, 等. 蚯蚓粪及沼液处理对赣南稀土尾矿种植皇竹草及改良土壤的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(11): 191-196.
- [10] 陈宝书, 陈本建, 张惠霞, 罗俊强. 蚯蚓粪营养成分的研究[J]. 四川草原, 1998(3): 22-24.
- [11] 李典友. 蚯蚓在农业生态系统中的应用[J]. 农技服务, 2008(5): 100+109.
- [12] 徐娥, 夏先林. 蚯蚓的养殖及其作为饲料资源加工利用现状概述[J]. 贵州畜牧兽医, 2006(5): 17-18.
- [13] 潘政, 郝月崎, 等. 蚯蚓在有机污染土壤生物修复中的作用机理与应用[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 3108-3117.
- [14] 张池, 周波, 等. 蚯蚓在我国南方土壤修复中的应用[J]. 生物多样性, 2018, 26(10): 1091-1102.
- [15] 杭琼. 蚯蚓粪改良果园底土效果的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2014.
- [16] 单颖, 赵凤亮, 等. 蚯蚓粪对土壤环境质量和作物生长影响的研究现状与展望[J]. 热带农业科学, 2017, 37(6): 11-17.

-
- [17] 王福友, 王冲, 等. 腐植酸、蚯蚓粪及蚯蚓蛋白肥料对滨海盐碱土壤的改良效应[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(5): 89-94.
- [18] 顾浩天, 袁永达, 等. 蚯蚓修复污染土壤的作用与机理研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(20): 30-39.
- [19] 胡成玉, 李文平. 蚯蚓养殖技术的研究进展[J]. 湖南饲料, 2010(4): 25-27.
- [20] 刘建华, 许小桂, 刘兴华, 肖和良, 黄保国. 对洞口县生猪调出大县奖励资金管理工作的探讨[J]. 猪业科学, 2016, 33(11): 120-122.