

蚯蚓与土壤肥力

蒋剑敏

(中国科学院南京土壤研究所)

蚯蚓是环节动物门、寡毛纲的陆栖无脊椎动物,是一种土壤生物资源。它对物质循环,土壤肥力,环境保护,畜、禽和水产养殖以及医药、食品等方面都有一定作用。

早在1881年,达尔文在论述蚯蚓在土壤形成中的重要作用时,就指出:“蚯蚓在世界史里所出的一份力量,很重要,远非大多数人们所能料及”^[1]。但是在过去,蚯蚓并没有引起人们的重视和利用。直到二十世纪的六、七十年代,工农业迅速发展,蛋白质饲料日感不足,再加上环境污染日趋严重,单靠自然界的自净能力已无法维持生态平衡,这就迫使人们去寻求各种解决问题的方法。这样,蚯蚓就引起了人们的重视,蚯蚓养殖业应运而生。目前,日本、美国、加拿大、法国、新加坡、缅甸等国家,都已建立了各种规模的养殖公司或养殖场。国际上蚯蚓年贸易额已达数亿美元。

目前我国已有二十八个省、市、自治区,八百多个县、十几万个单位和专业户开展了蚯蚓的养殖利用工作。从事蚯蚓试验研究的科技人员达一千多人,包括农、林、牧、渔、工业、环保、能源、医药、食品等部门十几个学科和专业^①。

蚯蚓养殖业的兴起,必将促使人们更多地研究与认识蚯蚓,也为进一步利用蚯蚓提高土壤肥力创造了条件。

一、我国蚯蚓资源概况

蚯蚓在我国是一种分布广,数量不太多的小动物。据调查,在我国(除荒漠土壤未作调查外)南起海南岛,北至黑龙江,西至西藏高原,无论是高山、平原、林地、农地、果园、菜地、草原的土壤中都有蚯蚓活动。在国际上已知的蚯蚓种有2800多种,我国发现的已有170多种,其中品种最多,分布最广的是巨蚓科环毛属(*Megascolecidae Pheretima*)蚯蚓,其次是正蚓科的异唇属(*Lumbricidae Allolobophora*)和爱胜属(*Eisenia*)蚯蚓,链胃科的杜拉属(*Moniligastridae Drawida*)蚯蚓和正蚓科的双胸属(*L. Bimastus*)蚯蚓,其他如槽蚓属(*Glyphidrilus*),泮蚓属(*A. Pontodrilus*),双胃属(*Dichogaster*),呼噜属(*O. Howascolex*)及线蚓属(*Filodrilus*)也有发现。

蚯蚓在土壤中的数量随地区、土壤、季节和有机物质的改变而有较大差异。农地一般每亩有1—3万条,肥沃地可达3—4万条,菜园地和多年生牧草地可达3—12万条,在人工养殖蚯蚓的土壤中,可高达30—40万条,工厂化养殖最高密度可达1千万条^[2]。和国外报道的各种土壤中的蚯蚓数量比较,我国土壤中蚯蚓数量偏少,因此发展的潜力很大。

① 黄福珍1983,我国蚯蚓养殖利用的进展和展望。全国蚯蚓养殖及综合利用学术讨论会(简称全国蚯蚓讨论会)论文。

二、蚯蚓在土壤肥力中的作用

(一)二十六年前的一个野外观察

1958年曾在湖北省汉水两岸的光化县与谷城县观察到蚯蚓粪在浅色草甸土熟化过程中的明显作用^[3]。例如在光化县汉水旁新淤积的沙洲上,由于汉水的泛滥,淤积起厚达90厘米的新冲积物,把原来一人左右高的近万斤鲜玉米与豆类作物都埋入土中,由于蚯蚓的活动,在新淤积的沙土与壤土相间的土壤中聚积了大量蚯蚓粪。如图1所示。

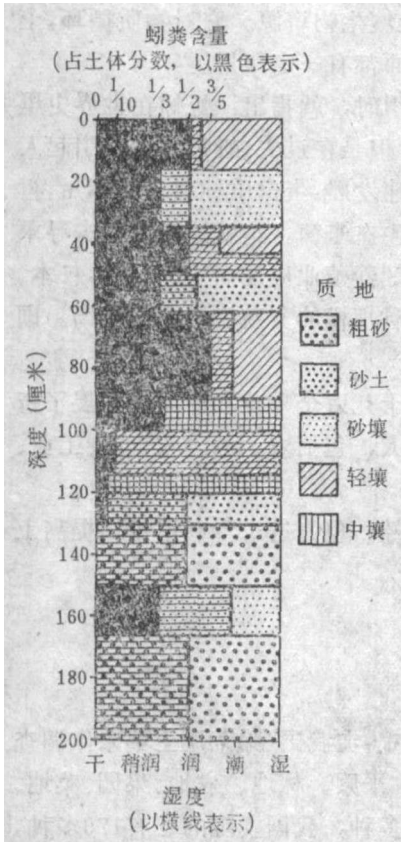


图1 浅色草甸土中蚯蚓粪的分布情况

图中黑色的面积代表蚯蚓粪占该层土体的分数。我们可以根据土壤中蚯蚓粪的多寡大致推测蚯蚓的活动情况。由图1可见,该沉积物是在不同流速下分次沉积而成的,砂、壤相间。一般轻壤质土壤含水较多,蚯蚓粪也较多,可占土体的1/2到3/5,砂壤与细砂土含水较少,蚯蚓粪也较少,一般占土体的1/3,粗砂土湿度虽与细砂土相同,但由于颗粒太粗,不宜蚯蚓活动,故只有个别垂直上下的蚯蚓孔道,100厘米以下的轻壤土及中壤土中,蚯蚓粪并不多,这可能与蚯蚓活动除了要有比较疏松的土层及较湿润的环境外,尚要有充足的有机质作食料有关。在150—165厘米处有较多的蚯蚓粪,这可能与过去的有机质聚积有关。

据观察,小麦根系都喜欢穿入蚯蚓粪层,因此从蚯蚓穴中取出的贯穿着很多根系的蚯蚓粪,犹如一串串小葡萄。这一现象在仔细观察蚯蚓粪多的土壤剖面时都能发现。这说明作物根系喜欢从蚯蚓粪吸取养分。

当时推测,在施有大量绿肥或其他有机肥的土壤中只要质地不是太砂,水分含量又适当时,就会造成蚯蚓良好的生活与繁殖的环境,这时蚯蚓就把半腐有机质作为食料,而排出大量粪便,简称蚓粪。这种蚓粪以团聚体状态存在,故又可称蚯蚓团聚体,简称蚓团。这种蚓团或蚓粪,既可起提供养分的颗粒肥料的作用,又可起改良土壤物理性状的团聚体的作用。

蚯蚓的上述作用,在质地较轻的浅色草甸土中极为明显,而在质地粘重的土壤中,如江汉平原的第四纪粘土上发育的黄棕壤犁底层以下的比较紧实的土层中,蚯蚓粪较少,主要填充在蚯蚓活动形成的孔穴之中,根系就通过这种孔穴而伸入底层。

(二)蚯蚓的增产作用

蚯蚓对农业的增产作用,根据目前搜集到的资料可归纳如下。

1. 对粮食作物的增产作用:表1列举了大田对比试验、小区试验及盆栽试验的结果,都表明有明显的增产效果。这些试验中蚯蚓的增产作用是蚯蚓本身的活动、蚓粪甚至蚓尸共同作用的结果。下述试验可说明蚓粪单独的作用。在玉米盆栽试验中,一个处理是蚓粪与土壤各半混合,另一是不加蚓粪,玉米生长40天后,蚓粪处理的株高比不加蚓粪的增长54%,植株鲜重增加1.5倍,根系长度增加61%,根系鲜重增加1.3倍^[2]。

2. 对金柑苗生长的影响: 蚯蚓与蚓粪对红壤中金柑苗的生长也有良好影响。试验表明, 感染有菌根的金柑嫁接苗, 植株高度显著高于对照, 但叶色较黄, 显缺氮症状; 有菌根且施蚓粪的, 植株生长更好; 加入蚯蚓的金柑苗生长最好(表2)。

3. 对西瓜生长的影响: 试验表明, 在施同样数量蚓粪和羊粪的情况下, 前者可使西瓜增产74%(表3)。

4. 对花卉生长的影响: 杨珍基、谭正英等^②曾对蚓粪在花卉生长中的肥效进行了研究。研究表明, 蚓粪可使月季花枝叶繁茂, 花蕾增加, 花朵大而多, 花色鲜艳。

对文竹的试验表明, 蚓粪使文竹出苗率提高, 生长迅速且健壮^③。

试验也表明, 随着蚓粪与园土之比的增加, 文竹的分枝数、羽叶宽度与长度均增加, 尤以蚓粪与园土之比为2:1时生长最好。

另外对扶桑、菊花、一串红、石榴、复叶海棠、茉莉等也进行了试验, 结果表明, 对扶桑、菊花、蚓粪与园土之比为2:1时, 对一串红、石榴、复叶海棠、茉莉, 在1:1, 海棠在1:2

表1 蚯蚓对作物的增产作用^②(2, 4)

处 理		作物	产 量 (斤/亩)	增产 (%)
大 田 试 验	(1) 对照	玉米	468.5	—
	蚯蚓8.5万条/亩		524.0	11.8
	(2) 对照	玉米	452.0	—
蚯蚓9.5万条/亩	544.5		20.5	
小 区 试 验	(1) 对照	谷子	125.4	—
	蚯蚓0.7万条/亩		130.0	3.7
	蚯蚓3.0万条/亩		154.2	22.2
	(2) 对照	小麦	562.8	—
蚯蚓26.6万条/亩	676.2		20.2	
盆 栽 试 验*	对照	小麦	32.7	—
	蚯蚓3条/盆		43.2	31.9
	蚯蚓6条/盆		51.7	58.1

* 盆栽试验的产量单位为(克/盆)。

表2 蚯蚓与蚓粪对金柑苗生长的影响^④

处 理	主 干 粗 (厘米)	地 上 分枝数	最 长 分 枝 (厘米)	分 枝 平 均 长 (厘米)	叶 片 数 (片)	最 大 叶 片 (厘米)	
						长	宽
菌根加蚯蚓	0.76	17.0	28.0	12.1	120.6	7.5	3.0
菌根加蚓粪	0.72	13.6	29.7	10.5	106.6	6.9	2.7
菌 根	0.70	12.6	25.6	9.1	75.6	6.0	2.8
对 照	0.47	6.3	12.8	6.1	30.0	4.7	2.2

时, 生长最健壮, 叶片大, 叶色浓绿。蚓粪对花蕾形成也有良好作用, 如一串红的花蕾数可比园土多183%^⑤。

国外也曾研究蚯蚓的增产作用。Van Rhee(1965)报道^[5], 在土壤中加入大量蚯蚓可使春小麦干物质增产一倍, 牧草增产四倍, 三叶草增产十倍, 但豌豆却减产。Atlavinyte

表3 蚓粪等对西瓜生长的影响^⑤

肥料	每株 施肥量 (斤)	平均单 株重 (斤)	最大单 株重 (斤)	含糖 量 (%)	皮厚 (毫米)	折合亩 产(斤)
蚓 粪	2	14.3	26.7	12.1	13	11440
羊 粪	2	8.2	15.2	11.5	11	6560
人粪尿	5	12.1	16.7	11.0	11	9682

② 黄福珍等, 1983, 利用蚯蚓变革土地利用方式。全国蚯蚓讨论会论文。

③ 杨珍基、谭正英、郭勤, 1983, 蚯蚓粪对月季花、菊花、鸡冠花和葡萄的肥效。全国蚯蚓讨论会论文。

④ 刘开喜等, 1983, 蚯蚓结合菌根对红壤改良效应的研究初报。全国蚯蚓讨论会论文。

⑤ 孙建国, 1983, 蚯蚓粪等五种肥料对西瓜的肥效对比实验报告。全国蚯蚓讨论会论文。

⑥ 张立民、崔秀芳, 1983, 蚯蚓粪在花卉中的应用效果。全国蚯蚓讨论会论文。

⑦ 杨宏谋、时毓宜、石宝山, 1983, 用蚯蚓粪作花卉基肥的肥效试验小结。全国蚯蚓讨论会论文。

(1971)明确指出, 蚯蚓数量与小麦生长之间有良好的相关性。如每平方米加 400—500 条蚯蚓 (*A. Caliginosa*), 可使小麦生物量增加 78—96%, 产量的增加与加入的蚯蚓数成正比 [6]。

在研究蚯蚓的增产作用时, Russell(1910)[7]为了排除死蚓释放的养分的影响, 曾在加活蚓到试验土壤中去的同时, 加同量死蚓到对照组中。他在每公斤土中加 0.5 克(鲜重)活蚓时, 干物质增产 25%。他把这种增产效果归之于土壤物理性质的改善。在有蚯蚓的小区, 因为土表覆盖着蚓粪, 水分蒸发就减少了。

在结构不良的土壤中, 每平方米加 120 条活蚯蚓, 同时加有机物质, 牧草产量达 3160 公斤/公顷, 而加入死蚓的, 产量只有 280 公斤/公顷 [8]。这说明活蚓有显著影响。

在每公斤含有 30 克干粪肥的土壤中喂饲蚯蚓 (*A. Caliginosa*), 8 周后, 拿掉蚯蚓, 再植入黑麦草, 则喂饲过蚯蚓的土壤中的黑麦草产量可加倍 [6]。

新西兰的田间试验表明, 把欧洲种蚯蚓引入播种牧草的土壤, 可增加收获量。如用石灰把酸性土中和, 加入 25 群 *A. Caliginosa* 蚯蚓, 四年后, 在每个接种点周围, 都变成浓绿色牧草茂密覆盖的地段, 其直径可达几米。八年以后, 蚯蚓的活动面积从接种点向外扩展到 100 米处。

由上可见, 不论是养殖蚯蚓, 还是单施用蚓粪, 对一些作物、牧草、果树、蔬菜、瓜果、花卉等的生长或产量都有程度不同的良好作用。

蚯蚓所以对作物等生长有良好的影响, 除了因蚯蚓的活动改变土壤通透环境和蚯蚓尸体可提供养分外, 还与蚯蚓排泄的蚓粪有关。蚓粪实际上也是一种有机无机复合体 [9], 并且是速成的有机无机复合体, 可在蚯蚓的生活活动中很快地创造出来。因此, 通过养殖蚯蚓促进有机无机复合, 形成团聚体, 也是提高土壤肥力的途径。

(三) 蚓粪的特点

从两个方面来分析蚓粪的特点, 即从颗粒肥料的角度和从团聚体的角度来分析。

1. 蚓粪中的养分:

(1) 自然土中蚓粪的养分含量 根据国内从东北黑土到华南砖红壤等十八个土壤的分析, 土壤中生活的蚯蚓有富集腐殖质与养分的作用。蚓粪与周围的土壤(简称原土)比较, 蚓粪中含有大量腐殖质, 可比周围土壤的腐殖质含量多 31—195%, 平均增加 $93.2 \pm 58.8\%$ 。因之全氮含量一般都比原土高, 可高 17—131.8%, 平均增加 $59.7 \pm 35.3\%$ (表 4)。据国外报道, 全氮可增加 44—91%, 全磷略有增加, 全钾与原土基本一致。蚯蚓在吞食过程中, 除了有富集养分的作用外, 还有使养分有效化的作用, 因而蚓粪中的有效态养分, 如水解氮、硝态氮、氨态氮、速效磷、速效钾都有不同程度的增加(表 5)。

蚓粪的酸碱度往往较原土更接近于中性, 阳离子交换量较原土高, 生物活性也有所增加 [10]⑥。

蚓粪中腐殖质的组成与原土比较有两个明显的变化: 其一, 富里酸和胡敏酸均有所增加,

表 4 蚓粪中的腐殖质与全氮

项 目	腐 殖 质 (%)			全 氮 (%)		
	原土	蚓粪	增加	原土	蚓粪	增加
最大值	5.95	9.17	195.4	0.328	0.463	131.8
最小值	1.06	1.22	30.5	0.045	0.069	17.0
平均	1.81	3.46	93.2	0.103	0.173	59.7
S _x	1.34	2.54	58.8	0.064	0.109	35.3

根据 [2] 和 ⑥ 的资料统计, n=18

⑥ 邓邦权、潘超美、王德琼, 1983; 蚯蚓对土壤生物化学活性的影响。全国蚯蚓讨论会论文。

表 5 蚓粪中的有效养分〔2〕

项 目	水解氮		硝态氮		氨态氮		速效磷(P ₂ O ₅)		速效钾(K ₂ O)		
	毫克/100克	增加 %	毫克/100克	增加 %	毫克/100克	增加 %	毫克/100克	增加 %	毫克/100克	增加 %	
北京	原土	4.90	—	1.55	—	1.92	—	14.26	—	16.72	—
	蚓粪	10.65	117.4	5.96	284.5	3.10	61.4	23.45	64.4	17.53	4.8
武功	原土	5.62	—	1.46	—	1.50	—	1.69	—	32.0	—
	蚓粪	12.0	113.5	7.76	431.5	3.07	104.6	7.33	333.7	43.4	35.5

尤以前者为甚，富里酸增加 2—9 倍，胡敏酸增加 1.3—2.3 倍，因此蚓粪的 $\frac{C_{\text{胡敏酸}}}{C_{\text{富里酸}}}$ 比值较原土下降；其二，在蚓粪的胡敏酸或富里酸的组成中，与钙结合的 I 组与与二氧化物结合的 II 组均有所增加，尤以 I 组增加得较多，因此 I / II 显著增加，这可能与蚯蚓的钙腺的作用有关^②。

在有机无机复合体中，与钙结合的有机质为松结态，比较活泼，易被植物利用，蚓粪中松结态腐殖质含量高，说明蚓粪中除了含有速效养分外，还含有缓效的养分，能起颗粒肥料既集中施肥，又逐渐释放养分的效果。

(2) 人工饲养蚯蚓的蚓粪的养分含量 随着人工饲养蚯蚓事业的发展，蚓粪的产量日增，这种蚓粪的养分含量往往比自然土中蚓粪的养分含量高。蚓粪的养分含量与饲料的质量有很大关系。人工养殖的蚓粪含有丰富的腐殖质及氮、磷、钾(表 6)，全氮量比一般土壤高 10—14 倍，速效磷高 10—17 倍，速效钾高 8—11 倍。另外还含有铁、锰、锌、铜、硼等多种微量元素。因此，蚓粪是花卉、苗木栽培中的优良的有机复合肥料，还有刺激种子发芽生长、提前开花、延长花期的作用。所以蚓粪能给城市绿化带来有利影响。将来蚓粪产量增加以后，还可作农作物肥料，给农业生产带来好处。

表 6 人工饲养蚯蚓的蚓粪的养分含量

粪料来源	有机质(%)	全 氮(%)	全 磷(%)	全 钾(%)	碱解氮(ppm)	速效磷(P ₂ O ₅ , ppm)	速效钾(K, ppm)
③	20—30	0.9—1.2	0.72—1.10	0.4—0.5	400—500	170—200	300—340
⑩	15.5—39.2	1.31—2.13	0.86—1.72	1.62—2.01	—	200—400	—
⑦	—	0.32	0.80	0.44	—	—	—

2. 蚓粪的结构性：

蚓粪也是一种团聚体，大多为 0.5—3 毫米粒径的椭圆形及长圆形的团聚体，尤以 1—2 毫米者为多，有时也可再粘结成团块状。

蚓粪(即蚯蚓团聚体)的水稳性往往比非蚯蚓形成的团聚体高。图 2 为粒径 2—1 毫米的蚓粪与土壤非蚯蚓团聚体的水稳性的比较。

蚓粪水稳性较高的原因，可能与蚯蚓富集的有机物质与土壤矿物部分相结合(增值复合度较高，可达 85%)有关。其中由蚯蚓分解形成的钙-腐殖质在有机-无机复合作用中可能起

② 张与真、李香兰、黄福珍，1980：蚯蚓对土壤腐殖质含量和组成的影响。中国土壤学会有机质专业会议报告。

⑩ 张与真、赵世伟资料。

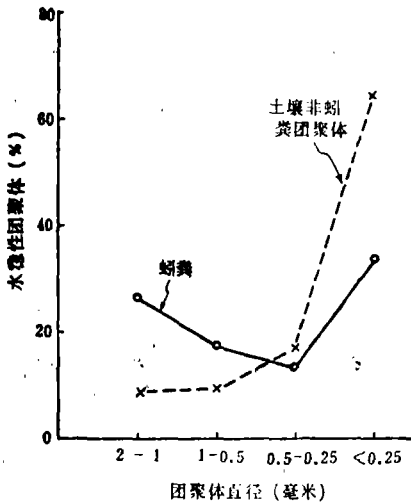


图2 2—1毫米蚓粪与土壤非蚓粪团聚体的水稳性 [11]

重要作用^[12]。但并不是所有的蚯蚓形成水稳性团聚体的能力都是相等的。蚯蚓形成团聚体的水稳性在很大程度上决定于蚯蚓的食料种类和蚯蚓的特性。例如在表面摄食的 *Allolobophora longa* 与 *Lumbricus terrestris* 在土中形成的团聚体最大，而不在表面排粪的品种 *Lumbricus rubellus* 和 *Dendrobaena sub-rubicunda* 只形成少量小团聚体^[6]。加入多汁的物质如紫花苜蓿干草到土中时，可显著增加形成的团聚体数量^[13]。牧草或森林下的蚓粪的稳定性比谷类作物下的稳定性大。

由于蚓粪的水稳性较高，所以能使土壤保持良好的透水性和透气性，提高肥性，并且土表不易板结，土壤疏松，便于耕作。

蚓粪除了具有上述养分和水稳性的特点外，还具有不易发霉，无臭味，并能吸收臭味及颜色的能力，因此具有抵抗环境污染的作用。

力，因此具有抵抗环境污染的作用。

(四)影响蚓粪形成速度与质量的因素

据目前了解，蚯蚓每天排粪的数量一般为其体重的0.9—3倍。在同一个属中，似有蚯蚓体重越大，蚓粪数量越多的趋势(表7)。排粪的数量也受气候、食料、土壤质地、水分等外界条件的影响。

据黄福珍估计，每亩如有蚯蚓十万条，一年内形成的蚓粪团聚体可达2—6万斤，约相当于0.3—1寸土层的全部土壤经过蚯蚓肠胃的加工改造。本文开始时引用的光化县的例子中，在淹水淤积不到一年以后，蚯蚓就把被泥沙掩埋的大量玉米植株与泥沙混合，加工成占土体30%左右的蚓粪团聚体。可见只要条件适宜，有充足的食料和适宜的水分，蚯蚓就能对土壤改良作出巨大的贡献。

蚓粪中腐殖质的含量受植被类型，有机残落物的品种，以及蚯蚓种属的影响。通常林地中蚓粪的腐殖质含量高于菜园地，菜园地蚓粪的腐殖质含量又高于农地(图3)。

有机残落物的品种也影响蚓粪中腐殖质的含量。如用不同的树叶饲养背暗异唇蚓，发现喂洋槐叶的蚓粪中的腐殖质含量最高，喂冬青叶、核桃叶、杨树叶者次之，喂榆树叶者最低^⑩。

不同蚯蚓吞食同一土壤中等量半腐解玉米秸秆后排泄的蚓粪中腐殖酸的含量也不同(表8)。由表可见，赤子爱胜蚓与背暗异唇蚓的蚓粪中腐殖质含量最高，湖北环毛蚓(巨蚓科)次之，杜拉蚓(链胃科)与微小双胸蚓(正蚓科)最少。

表7 蚓粪的形成速度^[11]

蚓属	土壤	蚓体重(克/条)	形成蚓粪重(克/天)	蚓粪重/蚓体重
环毛属	淮河冲积土	0.52	1.06	2.04
	淮河冲积土	0.54	0.88	1.63
	线色草甸土	1.20	3.50	2.91
	红壤	0.91	1.44	1.58
	壤土	0.47	0.62	1.32
杜拉属	壤土	1.05	1.64	1.56
异唇属	壤土	1.30	1.10	0.85

表8 不同蚯蚓蚓粪中腐殖质含量(%)^⑩

蚯蚓品种	赤子爱胜蚓	背暗异唇蚓	湖北环毛蚓	杜拉蚓	微小双胸蚓
	胜蚓	唇蚓	毛蚓		胸蚓
原土	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
蚓粪	2.51	2.12	1.83	1.73	1.70
增加%	105.7	73.8	50.0	41.8	39.3

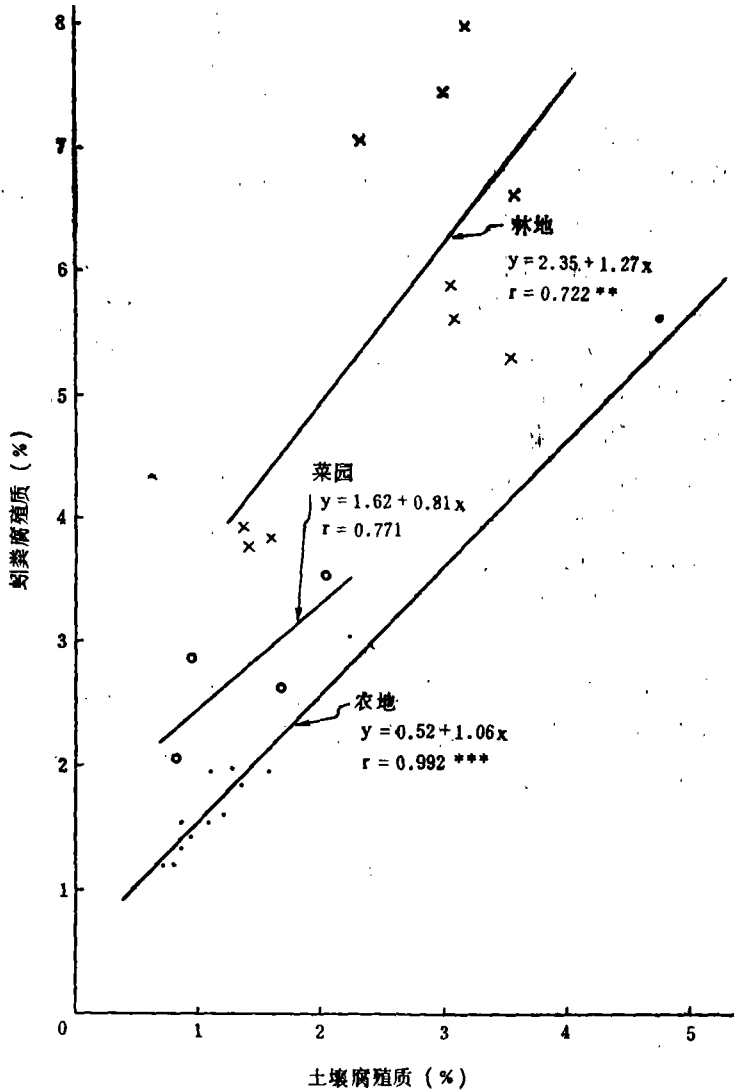


图3 植被对蚓粪中腐殖质含量的影响
(根据②的数据统计作图)

由上可见，无论是蚯蚓排粪的数量或蚓粪的质量，都受一系列因子的影响。为了迅速生产大量优质蚓粪，提高土壤肥力，促进生产，就要注意这些影响因子，充分利用有利条件。

三、蚯蚓与养殖业、环保及土壤肥力的关系

在养殖业中，饲料问题是一个突出的问题，开辟优质价廉易得的饲料来源，对养殖业的发展有很大影响。

蚯蚓能为养殖业提供大量廉价的动物性蛋白质，是重要的饲料来源。蚯蚓的干重约为鲜重的12—21%。干体的组成中主要为蛋白质(53.8—65%)，脂肪(4.4—17.4%)，碳水化合物(11—17.4%)，和灰分(7.8—23%)。蚯蚓蛋白质的组成中含有18—20种氨基酸，同时还有某些激素，因此蚯蚓具有较高的营养和药用价值，是一种可与秘鲁鱼粉媲美的动物性蛋白质饲

料，可用以饲养家禽，家畜与水产。近年来在这方面进行了不少试验。

已试验成功用蚯蚓代替其他动物蛋白质作为鸡、鹌鹑、猪、奶牛、鱼、对虾、幼鳖等的饲料。因此，随着养殖业的发展，蚯蚓饲养业也必将大大发展。在条件成熟时，也可以饲养一些适宜于田间生长的蚯蚓，把它引入没有蚯蚓或蚯蚓数量不够的土壤中，如牧草地中，以提高土壤肥力，增加牧草量。在国外，已有投放蚯蚓的机械化设备，可大面积地投放蚯蚓^⑭。蚯蚓增加后，蚓粪的产量也必然随着增加。由于蚓粪具有颗粒肥料和团聚体的特点，因此可用作肥料和结构改良剂，在目前产量尚少的情况下，可先用于经济价值高的花卉和林木上。由于蚓粪还能除臭脱色，因此可用于环境保护工作中，如日本已建成圆柱形蚓粪除臭塔，用于肉联厂，皮革厂，水产加工厂，造纸厂，粪尿处理场等^{⑮⑯}。如果由此吸附的物质对农业无害或者是有利的(如吸附氨气后的蚓粪)，则仍可作为肥料施用于土壤中。

蚯蚓可以利用粗有机物质，因此可以把蚯蚓养殖业与环保工作结合起来，利用蚯蚓处理生活垃圾及工厂的某些有机废物。这样，既可利用有机废物中的碳、氮能源，构成蚯蚓本身的优良动物蛋白，又可迅速处理污染环境的废物，如美国加利福尼亚州的一个蚯蚓养殖公司，利用五亿条蚯蚓，每天可以处理200吨有机废物，生产100吨有机肥料。

由上可见，通过养殖蚯蚓，既可供应家禽、家畜、水产以优质蛋白质饲料，发展养殖业，又可处理生活垃圾等有机废物、废水、废气，促进环境保护工作的开展。最后，蚯蚓、蚓粪以及家禽、家畜的粪便都可进入土壤，提高土壤肥力。它们之间的关系，如图4所示。因此我们要重视蚯蚓的作用，积极开展蚯蚓的养殖工作，并通过蚯蚓，把养殖业、环保和土壤培肥的工作联结起来，这样，对提高土壤肥力、促进生产、对四化建设将会作出一定的贡献。

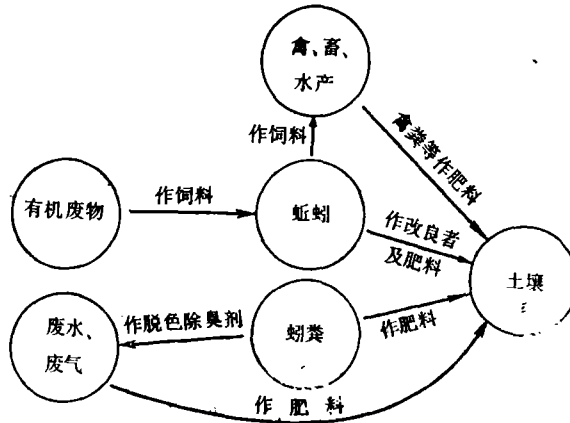


图4 蚯蚓在养殖业、环保与提高土壤肥力中的作用

参 考 文 献

- [1] 达尔文学(舒贻上译)，植物壤土和蚯蚓，第141页，中华书局，1954。
- [2] 黄福珍编著，蚯蚓，第32、37、104页，农业出版社，1982。
- [3] 黄福珍、蒋剑敏，湖北谷城、光化小麦丰产区土壤——浅色草甸土水分性状及蚯蚓的作用，土壤，3:24—25，1958。

(下转第181页)

⑭ 罗仁学，1983，养殖蚯蚓与保护环境。全国蚯蚓讨论会论文。
 ⑮ 黄福珍，1983，蚯蚓在环境保护中的作用，全国蚯蚓讨论会论文。

酸钙。若按秧田与大田比1:6计算,移栽一亩水稻相当于秧田中施入磷肥11.5斤,能增产74—162斤/亩,折每斤磷肥增产6.4—14.1斤稻谷。大田施磷50斤/亩,增产89—182斤/亩,折每斤磷肥增产1.8—3.6斤稻谷。就每斤磷肥增产的稻谷数量而言,秧田施磷的经济效益比大田施磷高2.5—3倍。所以为了更有效地利用磷肥应该首先满足秧田用磷的需要。

当然,秧田适量施磷,育成含磷量适宜的秧苗,若移栽到缺磷的大田中,大田施磷50斤/亩,仍有6.6—9.0%的增产效果。说明秧苗期充裕的磷素供应,不能完全解决水稻移栽后对磷素的需求〔2〕。生产上必须根据具体的秧田和大田土壤磷素状况,决定两者的磷肥分配量。

三、小结

1. 在生态条件基本相似的苏南丘陵地区

下蜀系黄土母质发育的水稻土(黄白土、马肝土)上,附合经济学观点的水稻施磷临界值是5.3ppm(P),小麦施磷临界值是9.3ppm(P),土壤有效磷低于此值时就应该使用磷肥。

2. 有效磷在12.5ppm(P)以下的土壤,小麦施磷增产效果大于水稻,所以,磷肥应该优先分配在小麦上施用。当肥料较充裕时,全年磷肥分配在各季的最佳方案,可根据本工作得到的水稻、小麦各季的施磷指标和具体的土壤磷素状况来拟定。

3. 秧田用磷和秧苗体内磷素含量直接影响到大田施磷效果,呈一直线负相关。秧田用磷的经济效益大大超过大田用磷,所以为了磷肥的有效利用,应该首先满足秧田用磷的需要。而当磷肥充裕时,必须分别根据具体的秧田和大田磷素状况,决定两者的磷肥分配量。

表3 秧田施磷和大田施磷效果的关系

秧田施磷量(斤/亩)	秧田含磷量(%)	秧田百株干重(克)	田间产量(斤/亩)	
			施磷肥50斤	未施磷
0	0.264	9.00	1010	810
25	0.286	10.0	1061	912
50	0.489	13.7	1059	1005
75	0.643	11.8	1080	963
100	0.682	12.5	1083	986
125	0.719	15.6	1063	1034
150	0.736	20.0	996	997

参 考 文 献

〔1〕南京农学院主编,田间试验和统计方法。第206—208页,农业出版社,1979。

〔2〕万传斌、邱嘉璋,水稻不同生育时期对磷的吸收利用。江苏农业科技,第8期,第27页,1982。

(上接第176页)

〔4〕黄福珍,论蚯蚓在土壤肥力中的作用。土壤通报,4:40—42,1964。

〔5〕Van Rhee, J.A., Plant and Soil, 22: 45—48, 1965.

〔6〕Edwards, C.A. and Lofty, J.R., Biology of earthworms, Second edition, p. 197, 192, John Wiley and Sons, New York, 1977.

〔7〕Russell, E.J., J. Agric. Sci., 3: 246—257, 1910.

〔8〕Hopp, H. and Slater, C.S., Soil Sci., 66: 421—428, 1948.

〔9〕蒋剑敏、熊毅,土壤有机无机复合体。土壤胶体的物质基础(熊毅等编著), 326—420页,科学出版社,1983。

〔10〕CSIRO division of soils, Earthworms for gardeners and fishermen. Commerical Printing House, Adelaide, 1978.

〔11〕黄福珍,论蚯蚓对土壤结构形成及性态的影响。土壤学报,3:2211—217,1979。

〔12〕Greenland, D.J., Soil Sci., 111: 34—41, 1971.

〔13〕Dutt, A. K., J. Am. Soc. Agron., 40: 407, 1948.

〔14〕Stockdill, S. M. J., Soil and Ferts., 46: 43, 1983.