



## 粪水转化和土壤修复\*

文 / 曹志强<sup>1,2</sup> 杨秀平<sup>3</sup> 张伟<sup>4</sup>

1 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101

2 北京云农场科技股份有限公司 北京 100020

3 济宁医学院 济宁 272067

4 济宁神农画圆生态系统模式推广公司 济宁 272000

**【摘要】** 粪水转化是实施微生物农业和修复土壤的一种较好方法: 精心选择合适的微生物群和繁育技术将粪水转化为高效的液体肥料和菌剂, 利用转化后粪水中的有益微生物及其代谢物, 为农作物提供营养, 对土壤和土壤微生物系统进行修复。通过对粪水转化的技术可行性和经济可行性分析, 和其转化过程、目的意义的分析, 论述了粪水作为一种在农村广泛分布的资源, 具有较好的产业前景。最后对长期、深入开展粪水转化相关研究的必要性以及粪水转化利用所需防范的风险进行了阐述。

**【关键词】** 微生物农业, 粪水, 面源污染, 土壤修复, 土壤微生物

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.Z1.013

2011年,《自然界最基本循环和微生物农业》一文发表后,“最基本循环”和“微生物农业”等理念得到广泛认同。在此理念基础上,如何推动微生物农业,如何能够使微生物农业大规模地、快速地发展起来,是需要进一步解答的问题。

对这个问题,中国传统农业中蕴含着原始、朴素的答案。我们的祖先最早创造了生态循环农业的耕作方法,正是这种耕作方法

保护了土壤中的微生物系统,使之不断改善和发展,使得中国的农田成功地保持活力数千年,成为中华民族繁荣昌盛的有力农业保障。40多年前,农民依然通过珍惜和收集粪便与河泥,使之用于土壤的培肥与改良。由此启示我们,能不能用新的科学技术重新启用粪水——这一曾经沿用了几千年的宝贵资源呢?按这一思路,我们将研究方向确定为:

精心选择恰当的微生物群和繁育技术将粪水和其他有机废水转化为富含有益微

\* 修改稿收到日期: 2015年6月15日

生物群及其代谢物的基本原料,把这种原料调制和精炼成为高效的液体肥料和菌剂,用来修复土壤。让修复后的土壤展示微生物农业的优势和可持续发展的强大生命力。这样做,既彻底消除了粪水污染,又获得了可持续实施微生物农业和持续修复土壤的工具。它既可以实现减少化肥使用量和降低病虫害,又可以提高农作物品质和产量。

为了检验这个思路的正确性,探索粪水转化的具体方法及其在技术和经济两方面的可行性,作者连续几年专门从事粪水转化相关的研究,经过大量的小试、中试和规模化生产,逐步形成了一整套粪水无害化处理、转化和调制等工艺,生产出性能稳定的产品。每批产品的种植实验都取得了一致的、明显的效果。

通过本文的论述,希望能让越来越多的人理解和重视这一极其重要的研究方向,让更多的专业技术人员和科学家投身到这个方向的研究中来。可以预见,粪水和其他有机废水的转化和精制必将发展成为一个产业,这个产业也将成为农业生产的一个基本组成部分。只有当这个产业兴起了,微生物农业也就真正发展起来了。

## 1 将粪水转化为微生物菌剂和肥料的技术可行性

### 1.1 粪水是微生物的培养基

中国农业发展史充分证明,土壤是能够有效管理并持续地为人类提供衣食需求保障的。传统农业中,养殖业的粪水一直是农民珍贵的肥料。化肥进入中国以后,农作物主要依靠化肥来提供养分。农作物的产量有了大幅度的上升,但却也出现了土壤板结、土壤有机质含量下降、农产品品质下降、过度使用化肥农药引起的面源污染、病虫害越来越严重等一系列严重问题。与此同时,在人类历史上曾经担当过肥料重任的养殖业粪水却从肥料变成了有机污染物,直接污染水资源和生态环境。在养殖业发达的地区,养殖业粪水成了当地的灾难。

在土壤、农作物和环境等多个方面同时出现

这么多灾难性问题,究其原因,都源自于一个共同的、根本的改变:土壤微生物系统被破坏,自然界最基本循环被切断了。

从微生物的角度来观察存积在养殖场周围的大量粪便和粪水,它们是营养丰富的培养基,但由于没有及时得到正确的利用,很快成了有害微生物的繁育场,造成了污染和疾病。于是,粪水和粪便就被看作高浓度污染,要求养殖方进行污染治理。但是,治理这样的高浓度废水成本很高,远远超出了养殖业的承受能力。因此,养殖场和养殖户就把这些粪便和粪水搁置在周围。而这样的搁置恰恰为有害微生物创造了大量繁育的机会,环境污染的灾难就这样形成了。

解决这些问题的关键在于要认清粪水的本质:它是微生物的培养基,由于有害微生物侵占这种资源,使得有害微生物大量繁育,从而造成污染。如果能把养殖业的新鲜粪水,作为有益微生物的培养基,及时把它们转化成为肥料送回农田,就能使其从污染物变成资源,成为进行土壤修复和重建土壤微生物系统的有效工具,使整个生态系统又可以循环起来,其造成的环境污染和灾难同时也就得以彻底解决。

### 1.2 粪水中含有丰富营养

我们选择了一个养猪场,对粪水中所含营养进行了检测。该猪场年出栏 12 000 头左右,每年排放粪水 25 000 立方米(每天 60—70 吨)。粪水组成不仅有猪尿,还包括不可避免的冲洗猪舍粪便用水和自动饮用水系统的溢出,新鲜猪粪就浸泡在这样的粪水中,许多营养就在这个过程中溶解到了粪水中。通过简单的离心技术将粪水分离并进行检测,结果显示:这个养殖场的粪水中干物质含量在 5% 左右,即一年的粪水中约含 1 250 吨干物质。该养猪场每年以粪便形式出现的湿粪大约 1 000 立方米,其中干物质 400—500 吨,有农民愿意用这些湿粪作肥料。两个数据清楚地说明,猪的排泄物中的干物质,绝大部分在粪水中,而不在湿粪中。从这些干物质的品质来说,粪水中的干

物质绝大多数是溶解于水的。它们是在动物消化系统和消化系统中的微生物合作分解饲料的过程中产生的代谢物,很容易被其他微生物和植物利用,因此,其营养利用效率非常高。

### 1.3 粪水本身就含有许多微生物

粪便来自动物的消化系统,它们本身就含有非常丰富的微生物,其中也包含对人类有害的致病菌,因此,直接用粪水浇地是不可取的。但是,粪水中还有许多对土壤、植物和人类有益的微生物,它们不仅曾经帮助动物将饲料转化为动物能够吸收的营养,也帮助动物抵御有害的微生物,是动物健康生长不可缺少的。从生态系统的角度来判断,这些微生物中绝大部分对于植物生长是有益的,如果它们绝大多数是有害的,自然界就不可能让这些动物和他们需要的植物食品长期和谐共存。因此,动物粪便带来的微生物是重要的资源。在设计粪水转化工艺时,我们采取了严格的无害化处理,防止有害微生物影响粪水转化产品品质。同时,保留了粪水中绝大多数有益微生物,将其作为资源。

### 1.4 粪水转化的核心困难

为什么长期以来没有人把粪水看作资源?根本原因是不知道如何利用它。换句话说,把粪水转化为一种有益的产品是非常困难的。其核心困难在于:很难找到合适的微生物对粪水进行转化。对粪水中已经存在的大量微生物,如何去除有害微生物,筛选、保留有益微生物,并且让它们来利用粪水中的营养物质进行繁育和扩大,面对这么复杂的培养基如何设计发酵工艺?

面对这些难题,我们过去几年耗费了大量的精力和资金,经历了数不清的发酵失败。目前,本文作者及其团队培育出了稳定的菌种,形成了稳定的工艺,能够生产出大

批稳定、高效的产品,并在农业和土壤实验中获得了稳定的效果。但是,这些成功只是证明了:把如此复杂的粪水转化为一种高效、稳定的微生物产品是可行的。在这条艰难的征途上,只是刚刚迈出了第一步。

## 2 将粪水转化为微生物菌剂和肥料的经济可行性

### 2.1 粪水原料的价格

我们在研究启动大规模修复土壤微生物系统的方法时,考虑过利用秸秆和养殖业粪便生产大量的固体有机肥。但是,这条途径存在着两个难以解决的困难:(1)需要大量秸秆和粪便时,它们的价格立即飙升;(2)收集秸秆需要花费大量的劳动力和运力,直接提高了固体有机肥的成本。因此,如果依靠固体有机肥大规模修复土壤和发展微生物农业,就需要巨大的资金量,这是难以实施的。这种方法可以用在少数高档经济作物的农田里,不适合在粮食作物的农田里大规模使用。如果不能解决种粮大田的土壤修复,我们的方案的意义就变得非常小。要治理和修复大规模的农田,首先无法找到这么多固体有机肥,其次也无法把这些固体有机肥的成本降低到可以接受的程度。

而粪水的情况完全不同,粪水对于养殖业来说是一种难以治理的污染,是养殖场里令人头痛的灾难,因此以粪水作为推动微生物农业的基本原料,其价格可以长期保持在较低水平。

### 2.2 粪水的数量

2014年4月17日,环保部和国土资源部发布《全国土壤污染状况调查公报》。调查结果显示,全国土壤环境状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较重,土壤安全堪忧。全国土壤总超标率为16.1%,从土地利用类型看,耕地土壤点位超标率为19.4%,需要修复的土壤数量巨大,因此用于土壤修



中国科学院



复的产品的数量也必须非常大才能满足要求,而且,也不会是一次使用就一劳永逸,必须长期使用。大量的、源源不断的养殖业粪水正好符合这一要求。在我们的种植实验中,每亩农田每年的粪水使用量大约50公斤,而一个年出栏12 000头猪的养殖场产出的粪水可以持续地为大约50万亩农田进行土壤修复。借此粗略估算,18亿亩农田需要年出栏4 000—5 000万头猪的养猪场的粪水,占2014年全国生猪出栏量73 510万头的6%左右。除养猪粪水以外,还有牛粪水、鸭粪水和粮食加工行业的有机废水也可以作为原料。因此,粪水是一种可以持续提供的、极其丰富的资源。

这种资源的丰富性也正在推动我们开展另外一项研究:如何让农田能够接受更多的液体微生物肥料和菌剂,实现更好的品质和更大的丰收。

### 2.3 粪水的分布

在研究启动大规模修复土壤微生物系统的方法时,我们也曾研究过把粮食加工业的有机废水作为有益微生物的培养基,将其转化为微生物肥料的方法。研究结果证明,这些废水是可以转化成为优秀的菌剂和肥料的。但是,这类有机废水从个体上看数量很大,但其分布很不均匀,无法满足全国绝大多数地方就近使用的要求。而养殖业粪水的分布情况令人振奋,它们遍布在全国绝大多数省、市和县,可以避免远距离运输带来的高成本。即使在拥有其他有机废水的地区,也可以把当地的有机废水和当地的粪水结合起来进行转化,为当地土壤提供更好的微生物肥料。

### 2.4 粪水转化产品的成本

成本是农业物资的核心要素之一。每一次我们应用粪水转化产品进行种植试验时,都把实际生产成本告诉直接参与试验的农民,所有了解价格情况的农民都非常满意。但是,如果加上我们已经花费的研发费用,价格就会使农民犹豫。

所以,在开始阶段,不能让农民过多地承担研发费用。环保部门应该鼓励这样的研发,因为,这种产品本身就是对粪水污染的彻底治理。长远来

看,摊薄研发成本最好的办法就是让越来越多的农民大量使用这个产品。随着中国这个巨大市场逐步启动,粪水转化研发费用摊入对价格的影响会越来越小,因此,从长远来看,粪水转化产品的价格对于它的普及推广不是问题。

综上所述,以转化后的粪水为原料生产的微生物菌剂或肥料产品在经济上也是完全可行的。

## 3 粪水转化的全过程

粪水的本质是一种含有丰富营养的有机废弃物,我们把它看作是一种原料,根据实际需要添加其他物质共同组成某种专用的培养基,以此来培养我们精心选择的一些微生物群。于是,粪水就被转化成为一种全新的液体,这种液体的主要特点是:粪水中原来含有的有害微生物和其他有害物质得到了处理和抑制,粪水中原来的营养被转化成了农田需要的微生物及它们的代谢物。

转化了的粪水仍然还是一种液体原料,但是,它的本质已经完全变了。它具备两个非常重要的特色:(1)含有大量的活的微生物;(2)含有按照设计意图形成的、大量的、复合在一起的、稳定的、多种有机物质。

我们可以针对这种液体的特性再次添加其他物质,进行调制和其他处理,最后成为一种内涵一致、性能稳定的产品。这种产品具备了我们需要的功能,可以去完成特定的任务。

这就是完整的粪水转化过程,这种转化过程当然也适用于其他有机废水。

## 4 粪水转化的用途和目的

研究粪水的转化归根结底是为了把所谓的废弃有机物质转化为其他形式的有机物质,形成有机物质的循环。因为,这种形式的有机物质之间的转化是自然界最基本循环的基础。

譬如,人们可以非常粗略地说:羊群吃了草,繁育了羊群,也产生了粪便;而粪便会变成肥料,养育草原,粪便没有成为污染;羊死后最终也变成了肥料,也肥沃了草原。草原和羊群可以组成一个简单的良性循环的生态系统。但是,这样的描



述忽略了一个非常重要的角色——微生物。没有微生物,粪便和尸体是不可能繁育草原的;也忽略了一个非常重要的现象:实际系统不是这样安全和孤立的,为了能够平安持久地维持这个生态循环系统,需要有很好的保护和防范。

因此,我们研究粪水转化的目的和用途,归根结底就是要建成这样简单完整的生态循环系统,同时,要设立保护机制和修复机制。其中包括利用微生物技术和材料来遏制各种破坏因素,一旦遭受破坏,必须能够利用微生物技术和材料修复系统。在当前情况下,我们推动发展粪水转化产业是想用微生物技术完成以下用途:

- (1)修复土壤的微生物系统;
- (2)提高土壤的有机质含量;
- (3)提高土壤中生物的多样性;
- (4)改善土壤的物理性能和化学性能;
- (5)降低化肥对土壤的伤害;
- (6)治理土壤的连作障碍;
- (7)降低化肥造成的面源污染;
- (8)抑制农作物的病害和虫害;
- (9)高效地补充农作物需要的中微量元素;
- (10)提高农作物的品质和产量。

过去的40多年人们集中精力提高农产品的产量,把注意力和希望全部放在了化肥和农药上,忽略了微生物,造成了整个生态系统受到伤害,才有这么多灾难同时发生。上面列出的10个内容都是和忽略微生物密切相关,因此,目前亟需找到一个能够快速、高效地解决微生物补充和使用的方法,而粪水和其他有机废水的转化恰恰可以帮我们做到这一点。

在作者进行的粪水转化产品的应用实验中,在这10个方面都显示出了效果,有些效果甚至令人吃惊。因此,也希望更多的农

业专家来参与这样的研究和实验。

## 5 粪水转化需要长期深入的研究

在粪水转化研究和工程实践中我们深刻体会到,这一新的领域有大量的课题需要尽快启动研究,而且需要长期坚持下去,才能真正缔造出一个粪水转化产业。这个产业将伴随着农业生产一起,成为农业的一个有机组成部分。

为什么我们要如此强调粪水转化的研究?因为,土壤永远需要一个健康的微生物系统,就像我们每个人需要一个健康的消化系统一样重要。我们希望土壤能够为农作物提供健康的环境和充足的营养,就必须关注土壤微生物系统的健康状况,而且,当土壤微生物系统失调时,人类一定要有各种各样对症的“药”、“营养”和“理疗方法”来帮助它调理和修复。其中一个重要的措施就是给土壤补充恰当的微生物肥料或菌剂。我们研制的各种粪水转化产品,以及将来出现的更多新技术和新材料,实际上就是土壤和农作物需要的“药”、“营养”和“理疗方法”。我们不仅要生产制造出这些“药”、“营养”和“理疗方法”,还必须研究清楚它们的成分、机理、毒理和如何进一步提高效果。这些都和我们人类医学研究一样。

所以,粪水转化的研发是一项要持续下去的科学研究。

## 6 风险和防范

化肥的发明和使用给农业生产带来了极其重要的影响,在未来相当长的历史时期里,化肥仍将是人类不可缺少的农业生产资料之一。同时,人类也已看到了化肥过量使用所带来的灾难。尤其在中国,化肥减施已经成为迫切的任务和要求。关于本文提出的发展微生物农业,也要清醒地认识到,滥用微生物同样也可能给人类带来灾难和危险,必须提前研究防范风险的科学方法和措

施。

(1)注意土壤中微生物的多样性。真正优秀的土壤微生物系统绝不是由几种或几十种微生物组成,更不可能仅依靠只用两三种菌生产出来的菌肥和菌剂去解决农业问题。片面地、长期重复使用简单几种微生物来转化粪水,并把这样做出来的产品反复地送到土壤中去,这种做法本身也是对土壤微生物系统的破坏和污染。人的肠胃中有多达1 000多种微生物帮助人进行食物消化和健康保护,土壤中微生物的多样性也是土壤微生物系统健康的基本条件。

(2)建立国家层面可能有害微生物的预警机制;严格实施对产品中有害微生物的监控。

(3)尽可能优先选择已经广泛分布和应用在我国养殖业和农业中的微生物作为粪水转化的基本菌群。

(4)企业和国家都要严格监控粪水原料中的重金属、农药残留和其他有害残留,严格检测相应产品的有害物质含量。

粪水转化产业即将在中国诞生。

**致谢** 原中科院副院长胡启恒院士和山东省济宁市市长梅永红长期关注、积极支持本项研究;中科院地理科学和资源所及欧阳竹、刘长生研究

员给予了具体的指导;北京天辰云农场公司董事长王书平和王建成博士倾力支持本项研究;美国HT Lab实验室朱建雄博士检测出实验产品直接从空气中吸收氮气和氧气的数量;济宁医学院委派朱友双博士帮助检测和识别产品中的微生物;济宁市畜牧局委派朱文渊博士参与了粪水原料的基础数据检测;济宁神农画圈生态系统模式推广公司张群、张峰、王忠伟和王传岭实际操作粪水转化生产;济宁市市政府帮助解决研究和实验中遇到的许多具体困难;济宁市畜牧局张京跃局长和济宁嘉鸣养殖公司王东领直接参与本项目实施;济宁市农科院、汶上、金乡、兖州、嘉祥等县农民、农业技术人员和政府工作人员参与实验产品的农业试验。特此致谢。

#### 参考文献

- 1 曹志强. 自然界最基本循环和微生物农业, 中国科学院院刊, 2011, 26(5): 570-576.
- 2 荆光军, 李登煜, 朱波. 环境微生物资源与农业的可持续发展. 第一届全国农业生物资源与环境调控学术研讨会, 2006-10, 厦门.
- 3 章家恩, 刘文高. 微生物资源的开发利用与农业可持续发展. 土壤与环境, 2001, 10(2): 154-157.
- 4 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报. 2014-04-17.

## Manure Water Conversion and Soil Remediation

Cao Zhiqiang<sup>1,2</sup> Yang Xiuping<sup>3</sup> ZhangWei<sup>4</sup>

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 Beijing Yunnongchang Science and Technology Co. Ltd. Beijing 100020, China;

3 Jining Medical University, Jining 272067, China;

4 Jining Shennonghuayuan Ecological System and Application Co., Jining 272000, China)

**Abstract** Manure water conversion is a good method in microbial agriculture and remediation of soil. It is a process of using well-selected microbiota and breeding technology to convert manure water into liquid fertilizer and bacteria agent, which then contains beneficial microorganisms and their metabolites. The converted manure water nourishes crops as well as remedies the soil and its microbial system. Manure water is a rich and sustainable resource that is widely available in agricultural areas. The conversion of manure water will certainly become an industry which serves as a basic segment of agriculture. Therefore, it

is necessary to carry out a series of further scientific research in this field.

**Keywords** microbial agriculture, mature water, non-point source pollution, remediation of soil, soil microorganism

**曹志强** 中科院地理科学与资源所客座研究员,北京云农场科技股份有限公司创办人之一。从事系统科学研究,“坡代数”的创始人。1983年在中科院系统科学研究所获博士学位。曾任中科院自动化所副研究员,美国东西方中心高级客座研究员,美国佛罗里达州立大学客座教授,澳大利亚CSIRO研究员。1993年后,在基层专注研究生态循环系统。2011年被聘回中科院从事微生物农业系统研究。E-mail:zhiqiangcao@yahoo.com

**Cao Zhiqiang** Ph. D., research professor at Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, one of the founders of Beijing Yunnongchang Science and Technology Co., Ltd. His main area of study is system science. Dr. Cao is the founder of Incline Algebra, a new field of mathematics. In this previous career path, he served as Associate Research Professor at the Institute of Automation, CAS; Senior Fellow at East-West Center, Hawaii, USA; Visiting Professor of Florida State University, Tallahassee Florida, USA; and Researcher of CSIRO, Australia. In 1993 he came back to China and has since focused on the research of the ecological cycle system. In 2011, upon recruitment, he returned to the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS to work on the system science of microbial agriculture. E-mail:zhiqiangcao@yahoo.com



中国科学院