

玉米酒精生态工程结构设计

卢兵友¹, 付以彬²

(1. 中国科学院自然资源综合考察委员会, 北京 100101; 2. 北京市农垦缘种子中心, 北京 100101)

摘要:从结构元、结构链和结构网 3 个层次对生态系统结构进行设计是生态工程设计的新思路。利用这一设计方法, 依据生态工程和产业生态学原理, 对黑龙江省肇东市玉米酒精生态系统的设计和试验研究表明, 该设计方法简单, 具有一定可操作性, 是解决在维护环境基础上, 提高系统整体效益的良好途径。但它同时又需要多学科、多部门的协作。因为只有企业之间和企业内部彼此形成一个资源互用, 利益共享, 拥有相互联系的共同体, 系统才能共同解决面临的不同问题。肇东市金玉公司就是这样一个良好的典型。

关键词:玉米酒精; 结构元; 结构链; 结构网; 生态工程; 结构设计

Structural desing for corn eco-engineering

LU Bing-You¹, FU Yi-Bin² (*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research CAS, Beijing 100101, China; 2. Beijing Nuken Yuan Seed Centre, Beijing 100101, China*)

Abstract: A new ecological engineering model to design the structure from three parts, structural element, chain and web was developed. The experiment in Zhaodong city, Helongjiang Province, where principles of ecological engineering and industrial ecology are based, proved that this method is simple and has some maneuverability. This is a good way for the promotion of integrated efficiency and for environment protection. The cooperation among different subjects and sectors is needed. Because the problem solution must depend on the construction of a community among enterprises or departments in one enterprise and the resources can be used, the benefit can be shared by every part.

Key words: corn alcohol; structural element; chain; web, ecological engineering; structural design

文章编号: 1000-0933(2001)04-0608-05 中图分类号: X171 文献标识码: A

人工生态系统是由多种结构单元组成, 各结构单元通过不同的组合方式, 形成了长短不一、功能各异的结构链, 结构链又通过相互组合形成了结构网。目前许多系统发展不可持续的关键就是因为系统结构不合理。这种不合理性一方面表现为结构单元的选择不当, 另一方面表现为单元之间构成的结构链及由此组成的结构网关系不协调。不仅导致系统生态平衡的失调^[1], 而且, 还有可能造成系统能流受阻, 物质循环中断^[2], 影响系统功能正常发挥。解决问题的关键是针对不同系统的不同情况, 对系统结构进行设计。本文以黑龙江省肇东市玉米酒精生态工程为例, 从结构元、链和网 3 个方面对系统结构设计的效果进行了研究。

1 肇东市玉米酒精生产概况

黑龙江省肇东市是我国玉米主产区, 玉米常年播种面积占全市耕地总面积的 68%, 总产 100 多万 t, 占粮食总产量的 80% 以上。为实现玉米资源利用的规模化和产业化, 提高生产效率, 1994 年肇东市建立了以金玉公司为龙头的玉米加工企业, 加工生产食用酒精, 年加工能力 45 万 t。但在产出酒精的同时, 又伴生了如 CO₂、酒糟、玉米胚和废水等多种副产品。这些产品都具有一定利用价值, 但直接排放会给环境带来很大危害。因此, 实现资源综合利用, 提高经济效益, 减轻环境压力, 就成了企业和当地政府的重要目标。这一目

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (农业生态经济系统主产品生命周期管理研究 No. 79970072)

收稿日期: 1999-10-25; 修订日期: 2000-06-20

作者简介: 卢兵友 (1964-), 男, 山东人, 博士, 副教授。主要从事农业和产业生态工程研究。

标准靠传统思路和方法已经无法解决,必须寻求新的突破。生态工程和产业生态学理论为这一问题的解决提供了良好的理论基础和方法论指导^[3,4]。

2 玉米酒精生态工程结构设计

对人工生态系统结构研究表明,系统功能是由结构元、结构链和结构网等多级结构关系共同完成。因此,进行生态工程结构设计也必须从这 3 个层次上进行。结构元是组成系统的基本单元或元素,是系统组分结构化概念;结构链是结构单元通过一定联系形成完成一定功能的基本结构关系;结构网是不同结构链以一定方式联合形成的网络状结构关系。

2.1 结构元的设计

结构元的设计是在主要目标确定后,对系统生产结构单元的独立设计过程。它主要包括对产品种类、规模和相伴而生的相关产品利用方式的设计。按照现有的运行规模,肇东市年加工 45 万 t 玉米粒可以产生酒精 13 万 t,CO₂ 11.3 万 t,干酒糟 7 万 t,玉米胚 7 万 t,酒糟废液 180 万 t。CO₂、干酒糟、玉米胚和酒糟废液等都属于构成玉米加工系统的结构单元,需要进行设计。

2.1.1 玉米胚综合利用 酒精生产过程中年可产玉米胚 7 万 t,根据玉米的出油率,设计利用 7 万 t 玉米胚可以生产食用玉米油,设计产量为 1.34 万 t。

2.1.2 CO₂ 综合利用 根据全国醋酸供需形势分析,2000 年全国大约需要 60~70 万 t 醋酸。目前,全国醋酸的实际产量只有 40~50 万 t,有一定缺口。同时,根据肇东市具有丰富的天然气资源的优势,设计利用 CO₂ 生产甲醇或醋酸。按 CO₂ 年产量 11.5 万 t 计,设计到期可以生产醋酸 15~20t,剩余部分 CO₂ 生产干冰。目前该项目的干冰生产部分已经实施。

2.1.3 酒糟废渣综合利用 由于酒糟废渣产量高,难贮存。因此,设计将其与玉米粕联合生产便于贮存运输的颗粒饲料,设计规模为 12 万 t。产品分别供给周围农民和本公司的饲养场。其中饲养场的生猪设计规模为年出栏 20 万头。目前已建成面积 3.5 万 m²,1997 年生猪存栏量达到 1.4 万头,母猪 2500 头。

根据公司电厂粉煤灰处理难,公司猪粪含水量大,气味浓,运输和使用不方便,农民使用的积极性不高的状况,通过对复合肥生产市场的调查研究,设计将猪粪、无机肥和粉煤灰配合生产一种新型有机无机复合肥,以进一步实现产品的增值和物质的充分合理利用。目前该项目已经投入生产。

2.1.4 酒糟废液利用设计 (1)生产单细胞蛋白 根据化验,酒糟废水中含 COD 2500mg/L,含氮 112mg/L,含磷 30mg/L,总固形物 2.5%~3.0%,其中悬浮的不溶固体物约占 2.0%~2.5%,可溶性固体物 0.5%左右。由于其中含有大量有机物质,可以作为单细胞蛋白的培养基。该菌菌丝体含粗蛋白 55%~56%,是一种优质蛋白,与一般酵母相当,可作为饲料添加剂,并且仅需过滤就可收获产品。对酒糟废液进行的单细胞蛋白培养试验表明,酒糟废液的单细胞蛋白收率一般可达 1.5%~2%以上。这一方法对 COD 为 30000~40000mg/L 左右废水的去除率达 83%,处理后废水的 COD 和 BOD 均有大幅度降低。(2)废液贮存暴气 经过上述处理后废水的 COD 浓度仍在 6000mg/L 左右,根据肇东土地丰富,且盐碱地比重比较大的现状,为实现废水的综合治理,并获得相应效益,按照实际地形,设计了总容积为 78.66 万 m³ 的 8 个 4 级废水贮水池(表 1)。贮水能力近 80 万 m³,贮水量占公司废水年总排放量的 44.44%,相当于接纳并处理全公司近半年的生产废水。贮存的目的是高温季节通过生物化学过程,降低其中有机物质的含量和浓度。低温季节贮存待温度适宜后再进行生物处理,从而达到回用和减少环境负荷的目的。吉林省果树厂利用同样的方法取得了比较理想的效果^[5]。(3)养鱼金玉公司以北的土地全部为盐碱地,地势平坦,土质细密,抗渗漏性能好,极易改造成鱼池。结合公司发展规划,1996 年设计筹建了面积约 1.3 万 hm²,池深 2~3m 的 4 个养鱼池,总容积为 26 万 m³。为探讨利用废水养鱼,将鱼作为系统结构单元的可能性,1997 年 8 月中旬到 9 月下旬在该公司进行了试验。根据不同技术处理要求,设计了 6 个处理,每个处理有 1 次重复。试验池水深 120cm,半径 47.5cm。除特别说明外,各处理添加的废水浓度皆为 60000mg/L,添加量占总水量的 1%,每天添加 1 次,主要检测指标为 COD、生物量、溶解氧。其中,COD 和生物量每天测 1 次,溶解氧隔 5d 测 1 次,另外 4 个处理还包括:对照(1 号,加入与其它处理相同数量的清水)、纯酒精废水(2 号)、引入菌种(菌种的添加比例为占水池容积的 2%,3 号)、开增氧机(4 号)、添加化肥(0.3mg/L,尿素为主,5 号)和发

酵后的酒精废水(COD<3000mg/L,添加比例为 2%,6 号)。试验结果见表 2 和表 3。

表 1 废水贮水池的结构

Table 1 Stored ponds structure for wastewater

项目 Items	1 级池 First pond			2 级池 Second pond		3 级池	4 级池	总计
	1 号	2 号	3 号	1 号	2 号	Third pond	Fourth pond	Total
面积(10 ⁴ m ²)Area	1.93	2.02	1.95	1.42	1.83	13.60	14.80	37.55
容积(10 ⁴ m ³)Volume	3.86	4.24	4.10	2.98	3.84	28.56	31.08	78.66

表 2 试验期内各处理 COD 及生物量(BIO)(mg/L,10⁷/ml)

Table 2 COD concentration and biomass quantum in the experimental time

日期	Data	8/15	8/20	8/25	8/30	9/5	9/10	9/15	9/20
1	COD	54.05	9.17	57.14	85.48	93.22	127.29	106.79	25
	BIO	0.96	1.63	1.27	1.075	—	3.9	21.2	14.6
2	C	53.4	28.03	104.7	123.8	161.01	427.3	533.94	487.5
	B	0.78	1.03	1.4	0.93	—	5.65	22.0	22.4
3	C	29.12	37.38	85.7	144.29	118.64	409.1	339.78	587.5
	B	0.86	9.3	1.9	2.25	—	3.55	19.2	20.3
4	C	29.4	32.7	123.8	94.08	152.54	336.4	310.66	450
	B	0.65	1.07	1.65	2.52	—	3.0	16.0	18.4
5	C	77.66	27.53	114.3	102.58	144.1	354.6	320.36	437.6
	B	1.01	1.44	1.27	2.96	—	4.0	13.4	18.0
6	C	9.07	56.06	104.5	97.6	142	272.76	533.8	274.7
	B	0.95	1.59	1.50	3.5	—	5.37	36.0	19.0

表 3 试验期内各处理平均溶解氧(DO)含量

Table 3 Average concentration of dissolved oxygen in each treatment in the experimental time

处理	8 月中旬	8 月下旬	9 月上旬	9 月中旬	9 月下旬
Treatments	Middle ten days	Last ten days	Tirst ten days	Middle ten days	Last ten days
1	6.72	4.39	4.57	—	—
2	0.49	1.70	3.42	2.68	1.69
3	0.75	2.05	1.12	0.93	0.15
4	5.97	2.78	8.29	9.93	10.30
5	0.86	2.50	0.98	0.62	0.34
6	0.94	1.96	2.19	1.40	0.06

结果表明,每天加入占总水量 1%的酒精废水后,各处理 COD 和生物量没有太大区别。除对照外,经过 20d 后,各池中 COD 含量都将超过 200mg/L。说明这种方法作为处理废水的一种有效途径,废水的添加周期以不超过 20d 为宜。就 DO 来看,开增氧机与不开增氧机的池子,DO 含量差别十分明显。每天开增氧机的处理池中 DO 平均都能保证在 2 以上,基本能够保证养鱼之需。说明增氧有利于保证添加废水情况下鱼的正常生长。

总之,结构元的设计实际上是一个资源利用途径的设计,也是一种生态位设计,是系统适应环境要求,寻求最佳效益的第一步。

2.2 结构链设计

根据结构元之间的相互关系,并按市场发展和实际生产的可能,将结构元按一定比例组合,构成结构链。根据设计,可以将多种结构元组合成 5 条相互联系的产业结构链,多条结构链分别实现多种生产目的。

5 条结构链包括酒精生产主导链、玉米胚综合利用链、CO₂ 综合利用链、酒糟综合利用链和酒精废水综合利用链。各结构链的结构关系和数量关系如下:

(Ⅰ)玉米粒(45 万 t)—玉米粉(38 万 t)—食用酒精(13 万 t),

(Ⅱ)玉米粒(45 万 t)—胚(7 万 t)—玉米油(1.34 万 t)+玉米粕(5 万 t)—玉米粕(5 万 t)—颗粒饲料(12 万 t)—猪(7 万头)—粪便—复合肥(2 万 t),

(Ⅲ)玉米粒(45 万 t)—玉米粉(38 万 t)—CO₂(11.5 万 t)—甲醇—醋酸(20 万 t),

(Ⅳ)玉米粉(38 万 t)—干酒糟(7 万 t)+玉米粕(5 万 t)—颗粒饲料(12 万 t)—猪(7 万 t)—粪便+化肥+粉煤灰—复合肥(2 万 t),

(Ⅴ)玉米粉(38 万 t)—酒糟废液(180 万 t)—分离废液(150 万 t)—饲料蛋白(0.77 万 t)+废水(51 万 t)—废水(51 万 t)—土地处理系统+4 级氧化塘—鱼池。

设计后的酒精生产主导链,玉米 1 次转化利用率达到 3.46,高于 3.5 的全国平均水平。食用玉米油生产链的出油率为 19.14%,实现了玉米胚的 2 次利用。计划实施的醋酸生产链,若能投入运营,将会成为该公司的第二大支柱产业,对进一步开拓玉米资源的利用途径具有重要意义。复合肥生产链利用酒糟和玉米粕利用后产生的粪便,和电厂生产的粉煤灰作原料,生产有机无机复合肥,其产品的转化利用率达到 100%。由于酒糟废液所含的污染物浓度大,单个组分或少数组分无法起到对废液的良好处理作用。因此,需要通过组分多样性开发,将这一过程分为几个连续的步骤和环节,每个步骤或环节又包含几种结构单元,每种单元完成特定的功能,最后实现对废液较为完全的处理和利用。第一步是通过分离蒸发掉 30 万 t,再通过工艺措施回用掉 99 万 t,剩余废液的含量只有 51 万 t,到此酒糟废液的利用率已达 72.22%。再通过工程、土地、氧化塘及生物处理,废水处理率将达到设计要求。

2.3 结构网的设计

结构元和结构链的设计是结构设计的关键,将耦合关系合理的结构链通过适当连接,就可以组合成一个比较完整的结构网(图 1)。结构网的形成使系统构成了一个完整的整体,对于从系统水平上提高物质的循环利用效率,实现增产增效,具有良好作用。其设计效果可以从系统的运行情况得到反映。1998 年金玉公司生产玉米油 1.34 万 t,生产颗粒饲料 22 万 t,生产干冰 200t,生产杂醇油 6000t,开发利用养鱼水面近 1.3 万 hm²,出栏生猪 6 万多头,实现总产值近 10 亿元,利税 1.5 亿元,利税占全市总额的 56%,成为肇东市第一支柱企业。废水基本实现内部大循环,废渣资源得到综合利用,系统对外部环境的压力大大减轻。同时,企业的发展还为 11 个乡镇的 1.5 万农户的 1.3 万 hm² 农田找到了稳定的销售途径,并为社会新增就业机会近 4000 个,系统运行的生态、经济和社会效益明显。

3 结论

3.1 对于类似于玉米酒精生态系统的人工产业生态系统,其结构不仅包括在系统中独立起作用的结构单元,而且包括反映各单元之间关系的结构链和结构网。因此,对系统结构的设计就应从结构元、结构链和结构网 3 个方面来进行。它体现了人类主观能动地从单个组分入手,从整体改造和建设系统,获得全面综合效益的良好愿望和正确思路,是人工生态系统保持可持续稳定发展的根本。

3.2 从结构关系的 3 个方面对人工生态系统进行的分类设计,是生态系统结构关系设计的新思路,也是生态工程研究的新发展,它的出现会对正在发展中的生态工程建设起到很大的促进作用。其优点在于使设计更简单易学,更具可操作性。但是,由于这种分析方法和设计思路要求设计者不仅要熟悉种类繁多、特性各异的结构单元,而且要熟悉对各结构元进行适宜链状组合的技术,同时,要具有良好的系统观,对系统组分进行网络化管理。因此,其设计的难度将更大,更需要多学科、多部门的充分协作,并充分考虑现实可能性,因地、因时制宜,使设计具有较高的可行性。最佳的协作模式是由企业主持,组成多学科组合的课题组,以方便系统的设计和实施。

3.3 对肇东市产业生态系统的研究表明,任何单一系统要想在不危害环境的基础上,获得比较高的效益,就必须与其他相关系统进行合理组合,使之彼此形成一个资源互用,利益共享,拥有相互联系的共同体。

