

沼液中磷的去除与回收技术研究进展

周艳伟, 易莹, 谢乔光, 孔伟 (中国电器科学研究院有限公司, 广东广州 510300)

摘要 厌氧消化技术可以有效解决有机废弃物污染问题和实现资源化, 是一种具有广阔应用前景的有机废弃物处理技术。厌氧消化处理的残余物——沼液, 含有大量的磷, 如果直接排放会产生污染问题, 而由于我国农业和城市的特点, 许多厌氧消化工程的沼液并不适合采用土地利用的方式。处理后排放, 沼液中磷的达标处理成为达标处理的瓶颈。介绍了几种除磷和回收磷的方法, 同时认为实现沼液的达标排放处理需要将低耗处理与附加利用技术相结合, 在寻求低成本回收磷的同时, 减轻沼液的后续处理压力。

关键词 有机废弃物; 厌氧消化; 沼液; 除磷; 磷回收

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)30-10701-04

Research Progress of Phosphorus Removal and Recovery from the Digested Effluent

ZHOU Yan-wei, YI Ying, XIE Qiao-guang et al (China National Electric Apparatus Research Institute Co. Ltd, Guangzhou, Guangdong 510300)

Abstract Anaerobic digestion is a technology which has potential application in organic solid waste treatment, which can solve the pollution of organic solid waste and realize the waste reuse and reclamation. The digested effluent, containing high amount of N and P, would cause pollution if it discharge without treatment. Meanwhile, land use is not suitable for the digested effluent of mostly biogas project because of the characteristic of agriculture and city. The concentration of P in treated effluent cannot meet the legal standard, which is a bottleneck for standard discharge. This paper presents several technology about removal and recovery of P, and it is necessary to combine low consumption treatment with utilization technology for standard discharge of digested effluent, P recovery at low cost and reducing the stress of following treatment.

Key words Organic solid waste; Anaerobic digestion; Digested effluent; Phosphorus removal; Phosphorus recovery

厌氧消化技术可将有机质转化为沼气, 作为燃料直接使用, 或热电联产, 或纯化后替代天然气, 同时沼渣可制成高效有机肥, 而沼液作为高效液肥使用, 因此厌氧消化技术是公认有效的有机废弃物稳定化、减量化、无害化和资源化处理技术, 同时也是生物质能源开发利用技术, 在欧美国家得到了广泛的应用。目前, 我国正面临着严重的禽畜粪便、餐厨垃圾、城市污泥等有机废弃物污染问题, 有机废弃物厌氧消化技术在我国有非常广阔的应用前景。

有机质厌氧消化后的残余物包括沼渣和沼液。沼液中含有大量氮、磷等植物营养元素, 可以作为高效液肥使用。欧美国家多采用沼液土地利用方式, 但在我国, 城市集中、规

模大, 有机废弃物产量大, 而且农业生产多为种养分离模式, 城市周边没有足够的种植耕地来消纳有机废弃物厌氧消化过程中产生的大量沼液, 而长距离输运在经济上是不可行的。另外, 有机废弃物中重金属的存在也阻碍了沼液的土地利用。因此, 在现有技术条件下, 我国大部分有机废弃物厌氧消化处理项目产生的沼液采用传统污水处理技术处理后排放, 其中磷的达标处理成为沼液达标处理的瓶颈。

1 厌氧消化沼液特性

表1列举了几种有机废弃物厌氧消化处理后沼液的主要成分。

表1 不同厌氧工程中沼液的特性

序号	沼液来源类型	COD//mg/L	NH ₄ ⁺ -N// mg/L	TP//mg/L	pH
1	禽畜养殖废水 ^[1]	500~1 000	200~260(总氮)	20~50	-
2	猪场废水 ^[2]	2 361	915	315	-
3	餐厨垃圾 ^[3]	10 550	432	85.16	7.32
4	城市生活有机垃圾 ^[4]	30 000~50 000	425.77~645.23	23.99~102.02	6.9~7.5
5	餐厨垃圾 ^[5]	2 915.7~3 426.8	1 352.6~1478.5	36.6~45.8	7.23~7.48

由表1可以看出, 沼液中磷含量非常高, 采用单一除磷技术难以达到排放标准, 需要通过一系列的技术组合来实现沼液中磷的达标处理。同时, 作为不可再生资源, 地球上的磷资源有限, 随着人类的不断开采和利用, 磷资源越来越少, 国土资源部已将磷矿列为2010年后不能满足中国国民经济发展要求的20个矿种之一。因此, 在处理沼液时, 应同时考虑磷元素回收的可行性。

作者简介 周艳伟(1978-), 男, 辽宁营口人, 工程师, 硕士, 从事水污染防治与治理研究。

收稿日期 2014-09-17

2 常见除磷方法

国内外关于污水中磷处理已经开展了大量研究, 去除污水中磷的方法主要包括生物除磷法和化学除磷法等。

2.1 生物除磷 生物除磷是在污水生物处理过程中专性好氧的聚磷菌以聚磷的形式摄取超过生长需要的磷量, 磷酸盐从液相中去除, 产生的富磷污泥, 通过剩余污泥排放, 从而从系统中得以去除。生物除磷工艺的研究主要集中在对聚磷菌种群、工艺影响因素等的研究, 以及如何提高生物除磷效果等方面^[6]。

生物除磷最佳的C/P是100:1, 而沼液C/P适宜但COD/TP比较低, 尤其是禽畜养殖废水厌氧消化后沼液中

COD/TP 仅为 10~20,按照我国《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18586-2001)TP 排放浓度不能超过 8 mg/L 和《污水综合排放标准》(GB 8978-2002)中 TP 排放浓度不能超过 1 mg/L 的标准,生物除磷技术难以实现出水 TP 达标,而且能耗较高,因此,在实际运行中,需先通过有效的预处理技术去除部分磷后,再通过生物除磷技术处理达到排放标准。

2.2 化学法除磷 化学法除磷主要是利用铁盐、铝盐和钙盐等与废水中的磷酸基团反应生成无晶形的磷酸盐沉淀。

铁盐是比较常用的化学除磷剂,但亚铁离子在 pH 为 7.5~8.5 的碱性条件下不易产生沉淀,这在一定程度上限制了 2 价铁盐在废水除磷中的应用。为了改善沉淀性能,常将亚铁盐投加到曝气沉砂池或采用同步沉淀法投加至曝气池使得亚铁离子氧化成铁离子。铝盐可以直接与废水中的磷酸盐作用,产生磷酸盐沉淀。铝盐除磷过程中产生的沉淀物主要为 $Al(OH)_3$ 和 $AlPO_4$ 。 $Al(OH)_3$ 对 PO_4^{3-} 有较强的吸附能力,形成磷酸铝沉淀的反应速度也比较迅速。钙盐除磷一般通过投加石灰,废水中的磷酸盐与钙离子反应生成羟基磷酸钙(HAP)沉淀,反应体系的 pH 越高,磷的去除率越高。

化学沉淀法除磷效率较高且稳定可靠,但药剂费用较高,化学污泥产量大且成分复杂,可能造成二次污染;同时,除了钙盐除磷法,化学沉淀除磷无法实现磷的可持续利用,使得其推广应用受到一定限制^[7]。

2.3 铁碳微电解技术 铁碳微电解技术是在铁屑中加入惰性碳(如石墨、焦炭、活性炭、煤等)颗粒并浸没在废水溶液中,铁屑与炭粒接触构成一个完整的微电池回路,形成一种内部电解反应的污水处理技术,它主要利用了铁的还原性、铁的电化学性、铁离子的絮凝吸附三者共同作用来净化废水。

汤景鹏研究了多种因素对铁碳微电解技术处理猪场沼液效果的影响,得到当 $T=(20 \pm 1)^\circ C$,铁/碳质量比为 1:1, pH 为 3,反应时间为 120 min 的去除效果最合理,此时磷的去除率达到 97.23%^[8]。马焕春^[9]构建了“铁碳微电解-电极 SBBR”耦合新工艺处理沼液,单因素试验结果表明最佳反应条件分别为:15.0 ml/(min·L)沼液(曝气量)、4~5(初始 pH)、1:1(Fe/C)、2.5 h(HRT),其 COD、 NH_4^+-N 、TN、TP 的去除率分别为 37.22%~44.74%、18.47%~30.42%、20.32%~40.75%、66.01%~87.56%,出水水质能够达到《畜禽养殖业污染物排放标准》规定的要求,且稳定性较好。

3 沼液磷回收技术

3.1 鸟粪石沉淀技术 磷酸铵镁($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$, MAP),俗称鸟粪石,在土壤湿环境中仅仅微溶于水,养分比其他可溶肥的释放速率慢,是一种良好的农业缓释肥。磷酸铵镁是无色斜方系晶体或白色结晶粉末。当溶液中的 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 以及 PO_4^{3-} ,并且离子浓度积大于溶度积常数时,会发生反应,生成磷酸铵镁。



通过沉淀或过滤,可获得鸟粪石沉淀。由于该反应工艺简单,不仅可以回收废水中的氮、磷,而且产物可利用性较

高,是一种具有发展前景的、较好的磷回收方法。常见的鸟粪石法有化学沉淀、结晶、电化学法等方法。

3.1.1 化学沉淀法。该方法通过调节废水 pH 并投加 Mg^{2+} 源,反应生成难溶于水的鸟粪石沉淀。

张妍妍^[10]研究了鸟粪石沉淀法处理养猪场沼液的氮、磷去除效果,发现影响氮磷去除率大小的顺序依次为 pH、镁磷摩尔比、氮磷摩尔比、反应时间和水温,在 NH_4^+-N 浓度为 405 mg/L, $PO_4^{3-}-P$ 浓度为 56 mg/L 的实际沼液中,以 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 和 $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 为沉淀剂,在时间为 15 min, pH = 10.5, Mg/N/P = 1:1:0.9 的反应条件下,氮、磷去除率分别为 83% 和 88%,剩余氨氮的浓度为 75.6 mg/L、剩余总磷的浓度为 7.2 mg/L。Yang 等^[11]通过投加 $MgCl_2$ 和 $NaHPO_4$ 从家禽废水中回收鸟粪石沉淀来去除废水中的氨氮和磷,在反应时间为 30 min、搅拌速度为 100 r/min、pH 为 10.5、Mg/N/P = 1.2:1:1 的条件下,氨氮和磷酸盐的去除率分别为 89% 和 88.7%^[11]。

Capdevielle 等在养猪废水生化处理过程中采用鸟粪石沉淀法回收磷的条件优化研究中得到在较低的 Mg/Ca 比(2.25:1)、高 N/P 比(3:1)、适中的搅拌速度(45~90 r/min)、较低的温度($<20^\circ C$)条件下,有最佳的磷回收效果^[12]。该试验研究结果是建立在废水中钙大量存在并且使用廉价的药剂(氧化镁)的情况下。

3.1.2 结晶法。该方法是使废水中的 Mg^{2+} 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 的浓度积达到 MAP 的溶度积,废水中的磷、氨氮以 MAP 晶体形式去除和回收,得到的磷酸铵镁纯度较高。

雷蕾采用 MAP 结晶法处理猪场沼液的试验验证, pH 是制约 MAP 反应效果的最重要因子, P: NH_4^+ 为 1:1 时,磷和氨氮去除率均随 Mg: NH_4^+ 增大而升高^[13]。在只调节 pH 和添加镁源的情况下,鸟粪石结晶反应装置对 TP、TN 浓度分别为 72.53、568 mg/L 的沼液中磷、氨氮的去除率分别在 69% 和 22% 以上。在工艺条件为 pH 9.5、Mg: P = 1.3:1、进水流速为 2 L/h 时,磷去除率为 72.07%,氨氮去除率为 29.88%。Uysal 等从全规模市政污泥厌氧消化反应罐的沼液中进行氮、磷的去除和回收,当 Mg: P: N = 1.5:1:1、pH 为 9.0 时, NH_4^+-N 、 $PO_4^{3-}-P$ 去除率分别为 89.35%、95%^[14]。蒋彬的研究表明,对于磷酸盐、氨氮浓度较高的餐厨垃圾厌氧消化出水,不适宜采用诱导结晶法处理,而采用曝气吹脱结晶法处理,无需投加碱剂,磷回收率可达 83.9%,并可部分去除氨氮,但沉降时间应大于 30 min^[15]。

Guadie 等的研究表明,新型锥形插入式流化床反应器(FBRWC)提高了污水回收鸟粪石的效率^[16]。在 HRT 为 2 h, pH 为 9, Mg/P 为 1.25, N/P 为 7.5 的最佳试验条件下,磷在低浓度(12.5 mg/L)和高浓度(120 mg/L)时, FBRWC 的磷沉淀效率分别为 93% 和 98%;而无锥形流化床反应器(FBRWOC)磷沉淀效率分别为 78% 和 81%。在低钙浓度下,鸟粪石纯度较高($>99\%$)。

鸟粪石结晶法应用到集中型沼液的处理中,不仅可以高效脱除沼液中的氮、磷,为沼液的后续生化处理提供有利条

件,同时又可实现对氮、磷营养元素的高值利用,具有较高的经济和社会价值,简便易行,应用前景广泛。获得廉价的铁源是鸟粪石法实际应用的关键。

3.1.3 电化学法。电解法回收鸟粪石,电解池的阴极为惰性阴极,阳极可采用镁阳极或者向废水中投加一定量的 Mg^{2+} ,电解过程中,阴极附近发生电解水反应,产生 H_2 、 OH^- ,阴极附近的 pH 升高,阳极附近 Mg^{2+} 离子产生,当废水中含有 N、P 时,易产生鸟粪石沉淀。该方法具有设备简单,操作容易,产生的鸟粪石纯度高等优点。

Alexandra 等利用电解法处理尿液,镁板作阳极,不锈钢板为阴极,当溶镁电压大于 $-0.9 V$,电流效率在 100% 以上,反应器运行 2 h 左右就能处理完 95% 以上的尿液,并回收到鸟粪石;从经济角度考虑,与传统投加氯化镁、硫酸镁等镁试剂相比,电解法处理尿液方法更具有竞争力^[17]。

Kruk 等利用高纯度镁合金板作为阳极,从污泥上清液中回收鸟粪石,鸟粪石的纯度受 pH 和电流密度的影响非常大,当 pH 在 7.5~9.3 之间,P:N 为 1:1.9 时,鸟粪石的纯度超过 90%;电流密度增加可以提高鸟粪石的纯度,而且在 0.05~0.20 A 的电流范围内未发现上限值;在 4.0 mg $PO_4^{3-}-P/(cm^2 \cdot h)$ 、电流密度为 45 A/ m^2 时,得到最高的 P 去除率^[18]。

利用电解法回收鸟粪石过程中,水垢形成往往会影响电极活性,从而影响反应进程。为此,Cusick 等设计了带有流化床的微电子(MEC),流化床可以产生悬浮颗粒,防止阴极表面结垢^[19]。在低电流密度($\leq 2 mA/m^2$)下,以 8 d 为一周期,利用悬浮颗粒冲刷阴极防止结垢,试验结果表明,可以去除溶液中几乎等量的溶解性磷和镁,有助于形成鸟粪石沉淀。

3.2 吸附技术 吸附技术是常用的污水处理技术。如果使用具有土壤改良功能的吸附材料作为吸附剂处理沼液,在达到沼液低耗处理的同时,由于富集了氮、磷等营养元素,土壤改良剂的肥效得到提高。因此,利用吸附技术达到沼液低耗除磷和磷的资源化利用的目的具有相当大的可操作性。

沸石除了是一种水处理介质外,还是一种高效廉价的土壤改良剂。邢曌研究了不同类型的沸石材料对养猪场沼液中磷的吸附性能,以及吸附饱和后的沸石材料作为肥料兼土壤改良剂直接投加土壤中对作物生长的影响。结果表明,在投加量为 10 g 沸石/100 ml 时,不同沸石材料对养猪场沼液磷去除率最高可以达到 48.63%。适当地增加沸石柱层高度和沼液浓度、适量地减小进水流量都能够有效地提高沸石吸附容量和利用率,可以提高处理工艺的效率和经济性^[20]。随后,通过盆栽试验,考察沸石吸附沼液后的产物对土壤-冬小麦系统的影响,发现沼液饱和和吸附沸石材料+部分化肥对土壤-植物系统产生了较明显的良性影响,土壤总磷含量增加,但与仅施化肥时的差异并不明显。

刘春力以稻壳-粉煤灰为混合吸附剂对沼液中氮、磷的吸附性能进行研究,在沼液中 $PO_4^{3-}-P$ 、 NH_4^+-N 初始浓度分别为 36.4 mg/L、220.5 mg/L,稻壳粉-粉煤灰质量比 3:7,混合

吸附剂 50 g/L 沼液,吸附时间 180 min,pH 为 8.3 时,混合吸附剂对沼液中 $PO_4^{3-}-P$ 去除率高达 92.4%, NH_4^+-N 去除率为 20.8%^[21]。

吸附处理可以大幅度降低沼液中磷等营养元素的含量,但离达标处理还有很大的差距,必须与其他工艺配合才有可能达到排放标准;另外,吸附处理非定向处理,沼液中含有的大量其他污染物会降低氮磷等营养元素的吸附效率,甚至会影响到吸附材料的二次土地利用,如重金属等的吸附。因此,使用吸附材料处理沼液并将富集营养元素的饱和吸附材料土地利用的技术路线目前还难以实现规模应用。

3.3 生物吸收技术 沼液富含氮、磷等营养元素,是藻类或水培植物良好的培养基。使用沼液培养藻类既能去除沼液中的氮、磷等富营养化元素,又能以藻细胞生物质能的形式被重新利用,从而达到对废弃物资源化利用的目的,降低藻类的生产成本,为沼液的处理提供了一条高效途径。

张国治^[22]等分别采用悬浮藻和固定藻处理鸡粪厌氧消化液(NH_4^+-N 80~380 mg/L,TP 8~20 mg/L)。结果表明,藻类对沼液中的 NH_4^+ 、TP 等污染成分有较高的净化效率。夏季和秋季,悬浮藻对 TP 的去除率分别为 71.5% 和 53.8%,固定藻对 TP 的去除率分别为 83.1% 和 64.4%,且试验结果稳定。夏季温度高时,对氮、磷的去除效果明显好于冬季气温低时^[22]。高婷等研究发现经高温灭菌的沼液中 TN、TP 浓度降低,对微藻生长不利,较高的 pH 对生长不利,而且盐度为 5‰ 时,微藻呈现负增长趋势,使用 100% 的沼液培养,最高 TP 去除率达到 80.63%^[23]。

批次培养周期长,沼液处理能力太小,远远不能满足普通沼气站对沼液排放的需求。高浩峰等采用半连续或连续模式在经过过滤处理的沼液(TN 279.37 mg/L,TP 31.41 mg/L)中培养小球藻,结果表明在半连续培养模式(1 L 光生物反应器)中,当更新率为 30% 时,沼液中的 N、P 质量浓度可分别稳定在 16~18 和 0.4~0.6 mg/L,达到污水二级排放标准,而在连续培养模式(5 L 光生物反应器)中,在相同更新率下,N、P 的去除效率有所下降,但仍能达到排放标准;研究同时发现,大规模培养条件下的光限制是微藻法减排沼液的主要制约因素^[24]。

研究表明,球藻对沼液中的氮、磷等有很好吸收效果,但同时藻类对许多重金属也具有较强的生物富集能力,重金属的存在将影响藻细胞的经济性开发。因此,要实现球藻处理沼液并以藻细胞的形式回收利用沼液氮、磷等营养元素的工程应用,应对球藻富集沼液中重金属的情况进行深入研究。

4 小结

沼液中磷含量较高,若直接排放则会造成环境严重污染,若环保达标处理则会费用高昂,若直接利用则需大量消纳面积。所以,理想的沼液处理方式是将沼液低耗处理与附加利用相结合,在寻求低成本回收有用成分的同时,可以减轻沼液的后续处理工艺压力。

参考文献

[1] 谢勇丽,邓仕槐,段莎丽,等. UASB 的启动及其对禽畜废水处理的试验

- 研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(S1): 423-426.
- [2] 张晓军, 史殿林, 闻世常, 等. 北郎中村沼气工程运行浅析[J]. 中国沼气, 2007, 25(6): 38-42.
- [3] 吴桂菊. 利用小球藻降解餐厨垃圾消化液的试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- [4] 倪骏. 城市生活有机垃圾厌氧发酵后的沼液处理[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2005.
- [5] 蒋彬. 结晶法处理餐厨垃圾厌氧消化出水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(17): 75-77.
- [6] 张华, 黄健, 朱景义. 污水除磷工艺的研究动向[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2006, 29(7): 878-883.
- [7] 王广伟, 邱立平, 张守彬. 废水除磷及磷回收研究进展[J]. 水处理技术, 2010, 36(3): 17-22.
- [8] 汤景鹏. 铁碳微电解处理猪场沼液的试验研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [9] 马焕春. 畜禽养殖场沼液的微电解—电极—SBBR 处理工艺研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [10] 张妍妍. MAP 沉淀法去除养猪场沼液中氮磷的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
- [11] YANG H R, ZHANG Y L, ZHOU U F, et al. Recovering ammonium - nitrogen and phosphorus through struvite from anaerobic digested effluent of poultry wastewater: Effects of reagent ratio and pH[J]. Materials Science and Information Technology, 2012, 433/440: 1253-1259.
- [12] CAPDÉVIELLE A, SÝKOROVÁ E, BISCANS B. Optimization of struvite precipitation in synthetic biologically treated swine wastewater-Determination of the optimal process parameters[J]. Journal of Hazardous Materials, 2013, 244: 357-369.
- [13] 雷蕾. 鸟粪石结晶法去除沼液中氮磷的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [14] UYSAL A, YILMAZEL Y D, DEMIRER G N. The determination of fertilizer quality of the formed struvite from effluent of a sewage sludge anaerobic digester[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 181: 248-254.
- [15] 蒋彬. 结晶法处理餐厨垃圾厌氧消化出水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(17): 75-77.
- [16] GUADIE A, XIA S, JIANG W, et al. Enhanced struvite recovery from wastewater using a novel cone - inserted fluidized bed reactor[J]. Journal of Environmental Sciences-China, 2014, 26(4): 765-774.
- [17] HUG A, UDERT K M. Struvite precipitation from urine with electrochemical Magnesium dosage[J]. Water Research, 2013, 47: 289-299.
- [18] KRUK D J, ELEKTOROWICZ M, OLESZKIEWICZ J A. Struvite precipitation and phosphorus removal using magnesium sacrificial anode[J]. Chemosphere, 2014, 101: 28-33.
- [19] CUSICK R D, ULLERY M L, DEMPSEY B A. Electrochemical struvite precipitation from digestate with a fluidized bed cathode microbial electrolysis cell[J]. Water Research, 2013, 54: 297-306.
- [20] 邢璐. 沼液营养物的沸石吸附回收与利用[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [21] 刘春力. 固废混合物稻壳—粉煤灰处理沼液工艺研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- [22] 张国治, 姚爱莉, 顾蕴璇, 等. 藻类对沼液中氮、磷去除作用的初步研究[J]. 中国沼气, 1997, 15(4): 11-15.
- [23] 高婷, 晏荣军, 裘俊红, 等. 微绿球藻去除沼液氮、磷研究[J]. 浙江化工, 2012, 43(11): 34-37.
- [24] 高浩峰, 李环, 韦萍. 半连续及连续培养小球藻减排沼液及 CO₂ [J]. 生物加工过程, 2012, 10(4): 16-20.

(上接第 10689 页)

牛、山羊、兔、鹅等食草畜禽, 建成规模化的沿海畜牧业养殖基地。在发展沿海畜牧业的过程中, 坚持以科学发展观为指导, 进行科学的规划, 合理充分地利用沿海滩涂的土地资源, 并且在养殖过程中实行科学养殖, 将现代的养殖技术运用到实践中去。另外还可以在种植畜草的同时, 间隔种植树木, 形成林牧、林草立体发展的格局, 最终形成空中有林、地上有畜、地表有草的“三位一体”的资源的可持续开发利用模式。

2.2 非农利用模式

2.2.1 建立沿海工业园区。围绕开发利用港口、沿海滩涂以及海洋资源, 大力发展沿海工业, 比如重点发展沿海风力发电、盐化工等基础的有着地理资源优势的沿海工业。在发展盐业、海产品等传统的沿海工业的基础上, 积极开发医药、海洋化工等新兴产业, 提高沿海工业园区的竞争力, 给沿海工业注入新的血液与提供新的强大的动力。另外, 为提高农产品的经济效益与市场竞争力, 必须挖掘提高农产品的附加值, 所以必须建立发展农产品加工业。经实践证明, 通过加工的农产品, 其市场价值是初级农产品的 7 倍左右, 并且农产品加工企业是农业产业化发展的龙头, 是连接农业生产者和市场的纽带。所以建立一批技术含量高、颇具规模的农产品加工企业对于提高沿海滩涂农产品的竞争力来说, 是大势所趋。同理, 还应该建立畜禽等深加工企业, 改变畜禽以初

级原料的形式进入市场, 将畜禽经过深加工再投入市场, 增加经济效益和市场竞争力。

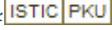
2.2.2 大力发展滩涂旅游。盐城拥有丹顶鹤和麋鹿珍稀走兽自然风景保护区, 另外还有灌河口鲸鱼回游点、中华鲟暂养区以及大丰港等景点, 同时去往这些景点有建成的沿海等级公路, 交通便捷。盐城沿海滩涂形成集观光购物、休闲度假、餐饮住宿等为一体的旅游产业带, 并且还发展了配套的旅游产业, 比如以海产品为主的旅游休闲食品产业, 如海苔、紫菜卷、鱼干等等, 另外还发展了具有地方特色的旅游纪念品的生产, 以及盐城沿海特色的民俗风情等等, 使得盐城沿海滩涂地区的旅游业逐渐开始兴起, 成为盐城沿海滩涂资源开发利用的主要的非农形式。

综合上述, 笔者结合盐城沿海滩涂资源的开发利用现状, 并在盐城市沿海滩涂资源可持续开发利用总战略的指导下, 提出上述两大类 6 个不同的沿海滩涂的可持续开发利用模式。

参考文献

- [1] 赵坚. 策应江苏沿海开发战略实现盐城滩涂利用新突破[J]. 管理科学, 2009(6): 29-31.
- [2] 朱明君. 我国滩涂资源可持续利用战略研究[J]. 中国土地科学, 2000, 14(2): 8-12.
- [3] 张建功. 盐城市沿海滩涂开发战略研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006: 12-18.

沼液中磷的去除与回收技术研究进展

作者: [周艳伟](#), [易莹](#), [谢乔光](#), [孔伟](#)
作者单位: [中国电器科学研究院有限公司, 广东广州, 510300](#)
刊名: [安徽农业科学](#) 
英文刊名: [Journal of Anhui Agricultural Sciences](#)
年, 卷(期): 2014(30)

引用本文格式: [周艳伟. 易莹. 谢乔光. 孔伟 沼液中磷的去除与回收技术研究进展](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2014(30)