

吴华山,赵 慧,黄红英,等. 喷淋条件下打捆秸秆吸附养殖污水物理特征[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):273-276.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.064

# 喷淋条件下打捆秸秆吸附养殖污水物理特征

吴华山<sup>1</sup>, 赵 慧<sup>2</sup>, 黄红英<sup>1</sup>, 常志州<sup>1</sup>, 徐跃定<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院循环农业研究中心/江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 江苏南京 210014;

2. 江苏省淮安市淮阴区农业技术推广中心, 江苏淮安 223300)

**摘要:**实际生产中,在喷淋条件下打捆秸秆吸附污水的操作方法主要是打捆秸秆的堆放方式和污水喷淋方法,如何使秸秆快速、高效地吸附养殖废水。研究结果表明,为使污水/秸秆质量比达到 2:1,单层喷淋情况下,水稻秸秆单位面积最小喷淋量为 18.4 L/(m<sup>2</sup>·h),平均吸水速度约为 5.90 L/h,需要连续喷淋至少 4 h;小麦秸秆单位面积最小喷淋量约为 12.9 L/(m<sup>2</sup>·h),平均吸水速度约为 4.13 L/h,喷淋至少 5 h。水稻打捆秸秆的通透性相对较小麦秸秆差,且大部分污水会在边缘渗漏;在多层秸秆捆堆砌时,应采取交错堆砌方式,或每堆放 1 层需要喷淋 1 次,确保底层秸秆吸附污水。

**关键词:**喷淋;打捆秸秆;吸附;养殖废水

**中图分类号:** X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)01-0273-04

秸秆是种植业生产中的一大废弃物源头,每年的“秸秆焚烧”问题困扰着中国很多地区。随着养殖业的规模化和集约化不断提高,畜禽粪污已成为主要的污染源,严重影响着生态环境安全。秸秆吸收污水后,利用秸秆自身的生物能蒸发污水,秸秆最终转化为肥料,也是一种行之有效的办法。秸秆木质纤维素含量高,具有较强吸水能力,生物质瞬间完全燃烧

释放约 15 000 kJ/kg 热能,如果缓慢氧化也会释放相同的能量,利用堆肥过程产生的生物缓释热可以实现其生物干燥。相关学者已有大量研究,汤国辉提出,利用秸秆生物质热能加热地温构建生物热温室<sup>[1]</sup>,陈立平等利用生物缓释热处理糖蜜乙醇废液<sup>[2]</sup>。Papadimitriou 等开发了利用厕所黑水添加有机物的液态堆肥装置<sup>[3]</sup>。邓良伟等以玉米秆、稻草、麦秆为载体吸收猪场废水的堆肥发酵试验,结果表明,秸秆与猪场废水联合堆肥发酵可以有效地处理利用猪场废水,秸秆吸收利用粪水的比例为 1:5.94~1:6.65<sup>[4]</sup>。此后,邓良伟等又进一步优化其堆肥工艺,在夏季可使玉米秆吸收猪场废水达到 1:9.43,即 1 t 玉米秸秆可处理污水 9.43 t,堆肥处理后,其产品完全符合国家有机肥料质量标准<sup>[5]</sup>,表明通过秸秆吸附污水,不仅可以大量吸附污水,也能得到优质有机肥,是一种

收稿日期:2017-09-19

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0501401);江苏省农业三新工程(编号: SXGC[2016]333)。

作者简介:吴华山(1978—),男,江苏如皋人,硕士,副研究员,从事农业废弃物资源化方面的研究。E-mail:13667130@qq.com。

通信作者:黄红英,硕士,研究员,从事农业废弃物资源化方面的研究。E-mail:sfmicrolab@aliyun.com。

[35]齐瑞环,李兆君,龙 健,等. 土壤粉碎粒径对土霉素在土壤中的吸附的影响[J]. 环境科学,2011,32(2):589-595.

[36]王立果,钟金魁,赵保卫,等. 水中镉和砷在核桃壳生物炭上的吸附行为及其交互作用[J]. 农业环境科学学报,2017,36(9):1868-1876.

[37]邓建绵,米 晓,赵 艳. 硅藻土对腐殖酸的吸附动力学研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2016,29(2):185-188.

[38]Naiya T K, Bhattacharya A K, Das S K. Adsorption of Cd(II) and Pb(II) from aqueous solutions on activated alumina[J]. Journal of Colloid & Interface Science, 2009, 333(1):14.

[39]Gupta K, Ghosh U C. Arsenic removal using hydrous nanostructure iron(III)-titanium(IV) binary mixed oxide from aqueous solution[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 161(2/3):884.

[40]孙 航,蒋煜峰,石磊平,等. 不同热解及来源生物炭对西北黄土吸附敌草隆的影响[J]. 环境科学,2016,37(12):4857-4866.

[41]Hadgu F, Gebrekidan H, Kibret K, et al. Study of phosphorus adsorption and its relationship with soil properties, analyzed with

langmuir and freundlich models[J]. Agriculture, Forestry and Fisheries, 2014, 3:40-51.

[42]Ahmad M, Moon D H, Vithanage M, et al. Production and use of biochar from buffalo-weed (*Ambrosia trifida* L.) for trichloroethylene removal from water[J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2014, 89(1):150-157.

[43]Zhang J Y, Wu C D, Jia A Y, et al. Kinetics, equilibrium and thermodynamics of the sorption of p-nitrophenol on two variable charge soils of southern China[J]. Applied Surface Science, 2014, 298:95-101.

[44]Lützenkirchen J. Ionic strength effects on cation sorption to oxides: macroscopic observations and their significance in microscopic interpretation[J]. Journal of colloid and interface science, 1997, 195(1):149-155.

[45]Campinas M, Rosa M J. The ionic strength effect on microcystin and natural organic matter surrogate adsorption onto PAC[J]. Journal of Colloid & Interface Science, 2006, 299(2):520-529.

[46]罗雪梅,刘昌明. 离子强度对土壤与沉积物吸附多环芳烃的影响研究[J]. 生态环境学报,2006,15(5):983-987.

一举两得的方法。

在生产实际中,秸秆和污水产生量非常大,根据已有研究计算,一个万头猪场(存栏),每天的污水排放量会超过  $100\text{ m}^3$ ,大约需要  $15\text{ t}$  的秸秆才能充分消纳。怎样使秸秆更简单快速吸附养殖废水,如何进行相应的工程建设和人工操作,还没有相应的研究。常规操作中,秸秆吸附污水主要采用 2 种方案:一是利用污水池浸泡秸秆,充分吸附污水后再打捞静止;二是将秸秆堆放后进行污水喷淋,在一定频率和流量的喷淋下,秸秆也会充分吸收污水。由于秸秆密度远低于水,因此浸泡法在实际应用中困难较大,选用第 2 种方法可以更为简便地使秸秆吸收养殖废水后续发酵,但在喷淋条件下秸秆的吸水情况还没有相关资料可供参考,本研究获得打捆秸秆在喷淋条件下的各种参数,期待开发出操作更简单、成本更低的秸秆吸附养殖粪污水与资源化技术体系。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

用打捆的小麦和水稻秸秆,打捆麦秸和稻秸的体积为长  $80\text{ cm}$ 、宽  $40\text{ cm}$ 、高  $40\text{ cm}$ ,密度分别为  $80.7$ 、 $92.2\text{ kg/m}^3$ 。为接近吸附污水效果,污水采用调制的猪粪水,用纱布滤去杂质后,供雾化喷淋使用,化学需氧量(COD)含量约为  $400\text{ mg/L}$ 。试验时间为 2016 年 8 月,试验地点在江苏省农业科学院院内。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 秸秆喷淋流量确定** 利用单捆水稻和小麦秸秆,采用雾化喷淋的方法进行试验。用带流量控制的小水泵控制喷淋速度,喷淋水滴平均直径大约为  $1\text{ mm}$ 。控制喷淋头的高度,喷淋直径约为  $90\text{ cm}$ ,喷淋面积为  $0.636\text{ m}^2$ 。秸秆置于喷淋范围内,秸秆上表面面积为  $0.32\text{ m}^2$ ,为使喷淋到秸秆表面的流速控制在  $10$ 、 $20$ 、 $30$ 、 $40\text{ L/h}$ ,喷淋头实际流速大约为秸秆吸收流速的 2 倍,共喷淋 2 h,计算不同处理秸秆的污水/秸秆比,得到合理的喷淋速度。

**1.2.2 秸秆喷淋时间确定** 利用单捆秸秆进行喷淋试验,同样采用雾化喷淋的方法,为符合实际操作需要,选用一定的喷淋速度,以确保有足够的渗漏水进入下一层秸秆。测试单个秸秆捆吸水速度,即在将秸秆捆放在镂空板上,确保将未经吸附的水渗滤出去,上方用喷淋头喷淋,每隔一段时间测试秸秆的重量,计算污水/秸秆比,即秸秆的吸水速度。

**1.2.3 秸秆渗漏试验** 在秸秆下面垫上  $9 \times 5 = 45$  个方盒,每个方盒外径的长、宽均为  $9.5\text{ cm}$ ,高  $6.0\text{ cm}$ ,容积(去掉厚度  $2\text{ mm}$ ),约为  $0.52\text{ L}$ ,盒子排布见图 1,用以收集喷淋后的污水,分析在不同喷淋量的情况下秸秆的污水渗透率。秸秆上面用可以调控流速的小型雾化喷淋头进行喷淋。排布的盒子总长约为  $85.5\text{ cm}$ ,总宽为  $47.5\text{ cm}$ ,正好能将 1 捆秸秆放置上面。利用收集盒,对秸秆吸附污水的渗漏总量和分布点进行分析,得到秸秆的渗漏及渗漏点分布情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆喷淋养殖废水过程中的吸附特征

**2.1.1 秸秆吸水量随喷淋流量动态变化** 以打捆麦、稻秸秆为材料,将秸秆放在镂空板上,采用喷淋方法,水滴平均直径

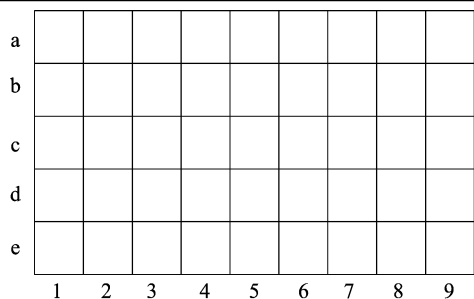


图1 渗漏收集盒排布示意图

大约为  $1\text{ mm}$ ,以单捆秸秆面积计算,将喷淋到秸秆上的流量分别控制在  $10$ 、 $20$ 、 $30$ 、 $40\text{ L/h}$ ,喷淋 2 h,分析不同秸秆污水吸附量动态变化结果见图 2。

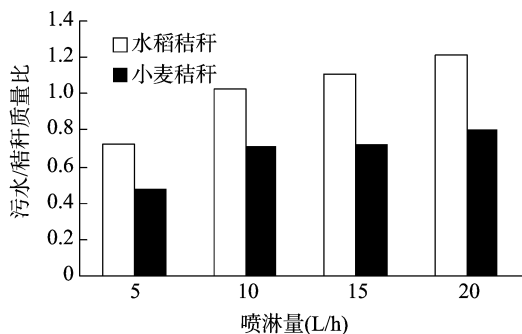


图2 不同喷淋量下污水/秸秆质量比

从图 2 可以看出,秸秆吸附养殖污水量随着喷淋量增加而提高, $5\text{ L/h}$  处理喷淋 2 h 条件下,秸秆污水吸附量最少,当喷淋速率为  $10\text{ L/h}$  时,秸秆污水吸附量明显增加,随着进一步提高喷淋速率,秸秆污水吸附量呈缓慢增加趋势,表明秸秆吸附污水的能力不会随着喷淋流量增加而成倍增加。单捆秸秆选用  $10\text{ L/h}$  的喷淋流量较为适宜,即喷淋通量为  $31.25\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;实际操作中,秸秆要堆砌  $2\text{ m}$  高以上,即至少堆砌 5 层打捆秸秆,为确保 5 层秸秆的需水量,应采用 5 倍喷淋通量,即为  $156.25\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

**2.1.2 秸秆吸水量随喷淋时间动态变化** 将打捆秸秆放在镂空板上,确保渗滤水能及时排出,采用喷淋头喷淋,喷淋通量设置为  $156.25\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,每隔一段时间测量 1 次秸秆质量,计算污水/秸秆质量比,观察秸秆吸水速度(图 3)。

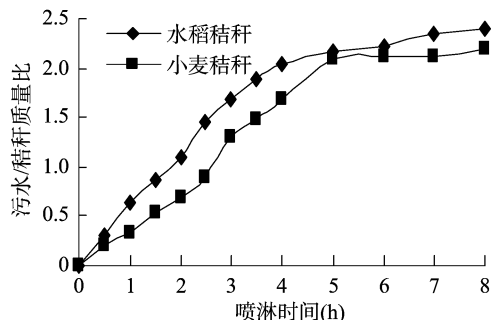


图3 污水/秸秆质量比随喷淋时间动态变化

从图 3 可以看出,稻麦秸秆吸附污水量随着喷淋时间延长而增加,喷淋开始 5 h 内,秸秆吸附污水速度较快,5 h 时污水/秸秆质量比达到 2 以上,此后增加速度降低,逐渐趋平

衡。稻麦秸秆比较,喷淋前 5 h,稻秸的吸水速率大于小麦秸秆,可能原因是水稻秸秆捆的密度大于小麦秸秆,稻草之间的空隙相对较小,容易吸持污水;由于小麦秸秆表面有腊质,污水吸附效果较差。单捆秸秆进行喷淋吸附时,若以秸秆吸附污水量达到其自身质量 2 倍为目标,水稻秸秆需要连续喷淋 4 h,小麦秸秆需要喷淋 5 h 以上。

2.2 秸秆喷淋养殖废水过程中的渗透特征

在实际应用中,秸秆需要多层堆放,下层的秸秆吸附的污水是通过上层秸秆渗透而来。因此,需要确保一定的渗透率才能使下层秸秆充分吸附水分。为探明养殖污水渗滤特征与动态变化,在秸秆捆下面垫上  $9 \times 5 = 45$  个方盒,每个方盒外径长、宽均为 9.5 cm,高 6.0 cm,有效容积为 0.52 L,通过观察方盒内收集水量来判断污水在秸秆捆中的渗透特征。

2.2.1 稻秸的渗透特征

以稻秸为材料,采用喷淋方式,喷

淋通量为  $156.25 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,连续运行 4 h,收集每 1 h 最后 6 min 的渗滤水,分析秸秆吸附污水质量及渗滤水量(表 1)。

表 1 单捆水稻秸秆在额定流量喷淋下吸附和渗漏污水的情况

喷淋时间(h)	秸秆吸附总水量(L)	单位时间内吸水量(L)	最后 6 min 收集污水量(L)
1	7.40	7.38	4.36
2	13.10	5.67	4.42
3	20.00	6.91	4.47
4	24.00	3.99	4.73

从表 1 可以看出,稻秸吸水量随喷淋时间延长而增加,这与上述结果相同,而吸水速度则随喷淋时间延长而下降,与此相对应的是污水渗滤量逐渐增加。为进一步分析污水渗滤平面分布情况,将每个盒子的收集水量 0~0.5 L 分为 10 个等级,每 0.05 一个等级,用不同灰度进行区分,结果见图 4。

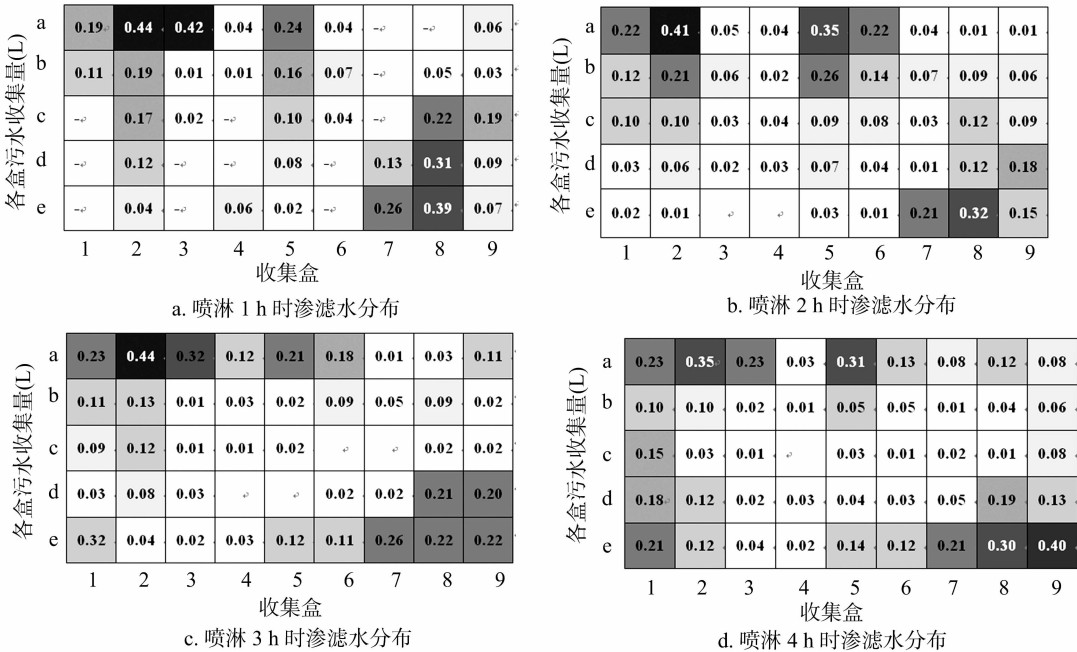


图4 喷淋不同时间水稻秸秆渗滤水分布比较

从图 4 可以看出,秸秆渗滤水并未呈现平均分布,而是相对集中在 3 个区域,且均靠近秸秆捆边缘,同时,秸秆两端区域的下渗点也不在同一侧,在不同纵剖面上,其渗滤点位置存在差异。表明污水在下渗过程中,基本是垂直向下,较少横向渗滤,即便是同一捆秸秆,污水向下渗滤的路径也不完全相同,这可能是受秸秆打捆工作方式影响。秸秆打捆时,是通过打捆机逐层数次冲压而成,秸秆捆内部秸秆呈现片状,且秸秆中心的密度相对于周边较高,因而造成了渗滤水路径呈不规则特征。

通过对不同时间段渗滤水收集量及分布情况观察,随着喷淋时间延长,横切面上水分向下渗滤范围逐步扩大,喷淋 4 h 后,底部每个方盒内均收到了渗滤水,且秸秆捆边缘渗滤水量逐步增加,在 3 h 结束时,从边缘 24 个方盒中收集的渗滤水量占总渗滤水量的 81%。

2.2.2 小麦秸秆污水的渗漏特征

用水稻秸秆的分析方法同样对小麦秸秆进行污水吸附和渗漏分析(表 2)。

表 2 单捆小麦秸秆在额定流量喷淋下吸附和渗漏污水的情况

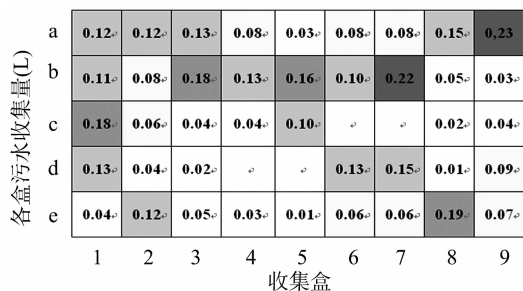
喷淋时间(h)	秸秆吸附的总水量(L)	单位时间内吸水量(L)	最后 6 min 收集污水量(L)
1	3.50	3.47	3.53
2	7.00	3.56	4.27
3	13.30	6.29	5.43
4	17.40	4.12	4.88

与水稻秸秆相反,初始 1 个小时吸水量最少,后期逐渐升高,第 3 个小时吸水能力最强,每个小时的渗漏水分布情况见图 5。

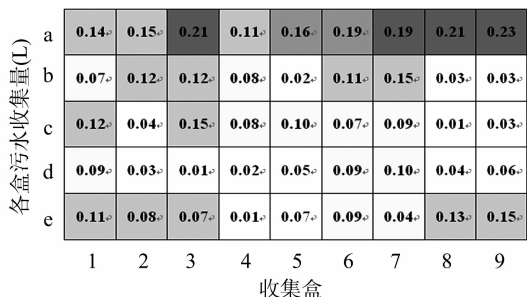
通过分析,小麦秸秆的污水渗透与水稻秸秆不同,水稻秸秆开始主要分布在周边几个点,而小麦秸秆整个区域都有渗透,但起始 1 h,渗透水主要集中在一侧。一方面因为小麦秸秆相对比水稻秸秆平滑,且由于小麦秸秆表面有蜡质层,容易导致污水顺着所有空隙渗透;另一方面由于小麦秸秆在打捆的时候不一定垂直,呈一定的斜角,水流顺着秸秆走向流动,

导致水流主要流向一侧。4 h内,小麦秸秆渗漏点的分布总体上没有太大的变化,说明小麦秸秆渗漏相对水稻秸秆较为稳定。与水稻秸秆不同,小麦秸秆不仅仅边缘有大量渗漏,中

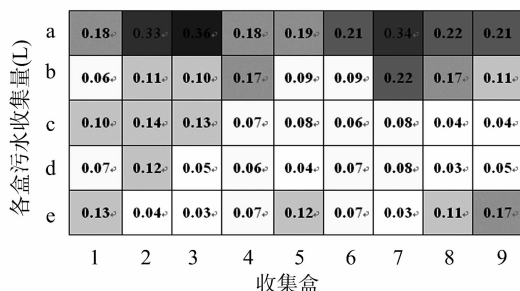
间也有一定渗漏,第4小时内,除去边缘24个盒子,中间21个盒子的污水收集占总渗漏量的27%,远远超过水稻秸秆的19%,表明小麦秸秆对于污水的通透性要比水稻秸秆强。



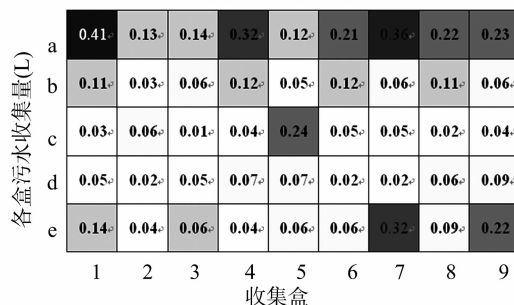
a. 喷淋1 h时渗滤水分布



b. 喷淋2 h时渗滤水分布



c. 喷淋3 h时渗滤水分布



d. 喷淋4 h时渗滤水分布

图5 喷淋不同时间小麦秸秆渗滤水分布比较

### 2.3 打捆秸秆吸收污水堆放设计

通过前面的研究,秸秆吸附污水是可行的,但多层秸秆吸附,一定要注意堆放的问题。据研究单层秸秆喷淋的时候,大部分水都是通过边缘渗漏,如果堆放秸秆按照常规顺序堆放,大部分污水会直接因为“短路”从秸秆边缘缝隙处流出,因此该堆放方法不管喷淋多久,只要下方没有积水,最下面几层很难吸收到污水(图6),相对比较理想的是交错堆放方式(图7),一定程度上能缓解秸秆的渗漏。

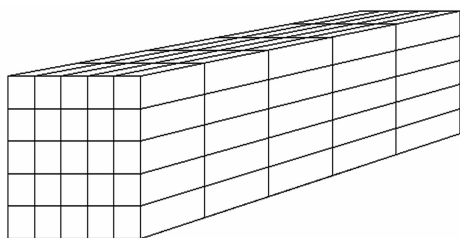


图6 秸秆顺序堆放方式示意

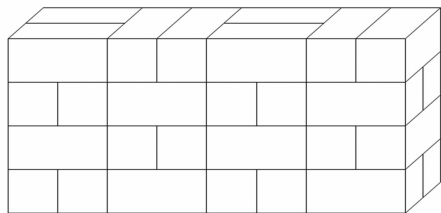


图7 秸秆交错堆放方式示意

根据前面的试验,水稻秸秆的通透性相对较差,且大部分渗漏水会在边缘渗漏,为确保水稻秸秆能充分吸水,可以每铺设1层就喷淋4 h污水,待秸秆含水量的污水/秸秆比达到2:1时,再向上铺设,这样可以保持每1层秸秆有一定的含

水量,保证底层秸秆也能更快地吸附污水。小麦秸秆的通透性相对于水稻秸秆要好得多,可以每2层喷淋4~5 h污水,能确保小麦秸秆有一定的含水量。秸秆堆放宜采用交错堆放方式,可以截留更多的水分以便吸收。

### 3 结论

(1)单层水稻秸秆和小麦秸秆单位面积吸附污水的最小喷淋量分别为18.4、12.9 L/(m<sup>2</sup>·h);单捆水稻秸秆和小麦秸秆平均吸水速度分别约为5.90、4.13 L/h,水稻秸秆需要4 h污水/秸秆比例达到2:1;小麦秸秆需要5 h污水/秸秆比例达到2:1。(2)水稻秸秆的通透性相对较差,大部分污水是通过边缘渗漏,最下面几层很难吸收到污水。可以每铺设1层就喷淋4 h污水,再往上铺设。小麦秸秆的通透性相对于水稻秸秆要好得多,可以每2层喷淋4~5 h污水。(3)常规堆放方法容易导致大量污水从边缘渗漏,下方的秸秆很难吸附到污水,建议采取交错堆放方式,能一定程度上阻止污水从边缘渗漏。

### 参考文献:

- [1] 汤国辉. 生物能温室温度及其影响因素研究[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(2): 17-22.
- [2] 陈立平, 陈开正, 吴鸿翔, 等. 采用生物热能蒸发处理糖蜜酒精废水[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 60-62.
- [3] Papadimitriou E K, Chatipavlidis I, Balis C. Application of composting to olive mill wastewater treatment[J]. Environmental Technology, 1997, 18(1): 101-107.
- [4] 邓良伟, 谭小琴, 李 建, 等. 利用秸秆堆肥过程处理猪场废水的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 255-259.
- [5] 邓良伟, 李 建, 谭小琴, 等. 秸秆堆肥化处理猪场废水影响因子的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 506-511.