

徐文娟,刘丹丹,李吕木,等. 水培豆瓣菜净化猪场沼液的试验研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(14):310-315.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.14.057

水培豆瓣菜净化猪场沼液的试验研究

徐文娟¹, 刘丹丹¹, 李吕木², 沈智¹, 李森², 杨咏³

(1. 安徽农业大学园艺学院,安徽合肥 230036; 2. 皖西北综合试验站,安徽阜阳 236400;

3. 安徽省太湖县农业综合服务中心,安徽太湖 246401)

摘要:为探究沼液在豆瓣菜水培中的有效利用及豆瓣菜净化沼液达标排放的可行性,采用豆瓣菜浮床栽植在不同浓度的沼液中,分析沼液氨氮、TN、TP、TK、COD 的含量变化和豆瓣菜植株相关生长指标及营养指标。结果表明,豆瓣菜水培能明显降低沼液中氨氮、TN、TP、TK、COD 含量,对沼液中氨氮、TN、TP、TK 和 COD 去除率最高的处理组分别是 D4、D4、D4、D3 和 D4,去除率依次为 42.45%、38.91%、33.41%、28.79% 和 87.61%,可见在一定范围内豆瓣菜对低浓度沼液中的氨氮、TN、TP、COD 去除率更高,尤其对 COD 有很强的去除效果。D2 处理水培豆瓣菜 21 d 后氨氮达到我国规定的集约化畜禽养殖业水污染物排放标准,是净化效益最佳处理组。D3 有利于豆瓣菜株高和根部生长,在 21 d 时植株生长最旺盛,42 d 时鲜质量达 4.11 kg/m²,和 D2 差异不显著。高浓度沼液会降低豆瓣菜中可溶性糖含量;D3 中可溶性蛋白含量最高,达 3.97 mg/g,极显著高于 CK1;D2 中维生素 C 含量显著大于其他沼液处理组,达到 256.49 mg/kg;各处理组的豆瓣菜硝酸盐含量和亚硝酸盐含量都符合国家标准。

关键词:净化;沼液;豆瓣菜;水培;畜禽养殖;污染物

中图分类号:X713

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2020)14-0310-06

现阶段畜禽养殖是农业污染的最大来源,也是水体环境治理的重要方面^[1]。畜禽养殖对环境的污染主要来源于畜禽排泄物,畜禽养殖场中高浓度、未经处理的污水和固体粪污以及恶臭气体对水体、大气、土壤、人体健康及生态系统造成了不良影响^[2]。国家对集约化畜禽养殖业水污染物制定了排放标准,因此对猪场沼液进行净化处理尤为重要。目前净化猪场沼液采用的方法包括水生植物水培净化^[3]、絮凝剂净化^[4]、细菌微藻吸收^[5]、水培蔬菜净化^[6]、序列间歇式活性污泥(SBR)处理^[7]等,目的都是通过经济合理的方法净化猪场废水。其中在沼液水培蔬菜是将沼液应用于蔬菜无土栽培中,解决沼液的后处理和蔬菜生产中农业污染的问题,还可以降低无土栽培中营养液配制的成本。

豆瓣菜为十字花科豆瓣菜属多年生水生蔬菜,具有食用和药用价值^[8],同时对富营养化水体具有净化功能^[9]。本研究以小型猪场沼液为营养液进行豆瓣菜水培试验,分析豆瓣菜对沼液稀释液中氨

氮、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)含量的影响。试验选择在大棚中进行,获得的数据能直接应用于生产,以期选择最佳沼液稀释倍数及豆瓣菜适宜水培时间提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试沼液取自安徽省阜阳市临泉县泉优牧业有限公司;豆瓣菜种苗由安徽省六安市舒城县舒丰农业有限公司提供,为广东豆瓣菜。

1.2 试验设计

大棚面积为 750 m²,共开挖 15 个大小相同的水培池,水培池长 15 m、宽 2.4 m、深 0.35 m、面积为 36 m²。池底用耐磨毛毯铺好后再用防水塑料布覆盖,每个水池放置 26 个浮床,浮床大小为 1.0 m × 1.0 m,网面孔径为 2.0 cm × 2.0 cm,在大棚中配备温度计、水管、氧气泵。

试验用的沼液是猪粪充分厌氧发酵后,滤去固体残留物的清液。将沼液原液稀释成氨氮含量为 130、100、70、40 mg/L 共 4 个浓度进行豆瓣菜水培试验,分别标记为 D1、D2、D3、D4,每处理设置 3 个重复,各处理氨氮、TP、TK 含量如表 1 所示,每个水培池中蓄水量为 8.0 m³。以清水处理水培豆瓣菜

收稿日期:2019-07-28

基金项目:安徽省科技攻关项目(编号:1804g07020169);安徽省蔬菜产业技术体系建设项目(编号:11250076)。

作者简介:徐文娟(1966—),女,安徽安庆人,硕士,副教授,主要从事蔬菜品质与安全研究。E-mail:976478297@qq.com。

为植株生长指标测定对照,标记为 CK1,以根据华南农业大学叶菜类 A 配方配制的营养液水培的豆瓣菜为正常植株生长指标测定对照,标记为 CK2;另用空桶存放稀释后的沼液为沼液净化指标测定对照,分别标记为 CK-D1、CK-D2、CK-D3、CK-D4。试验期间根据实际情况每周加水,以补充因蒸发等原因失去的水分。

表 1 不同稀释倍数沼液污染物含量

项目	氨氮 (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TK (mg/L)	COD (mg/L)
原液	664.16	874.49	25.65	675.71	1 548.36
D1	130.00	171.17	5.02	132.26	303.07
D2	100.00	131.67	3.86	101.74	233.13
D3	70.00	92.17	2.70	71.22	163.19
D4	40.00	52.67	1.54	40.70	93.25

注:COD 表示化学需氧量。

2017 年 9 月上旬开始育苗,2017 年 10 月 5 日定植,定植密度为 50 株/m²。定植前将豆瓣菜先在清水中缓苗 1 d,使其根系适应水环境,缓苗结束后定植到不同处理的沼液池中。

1.3 测定项目与分析方法

1.3.1 豆瓣菜生长指标测定 每间隔 7 d 测量 1 次株高、根长,直至采收,采收时统计鲜质量。

1.3.2 豆瓣菜营养指标测定 在豆瓣菜收获时,采用蒽酮比色法^[10]测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝 G-250 法^[10]测定可溶性蛋白含量;采用 2,6-二氯酚靛酚比色法^[10]测定维生素 C 含量;采用原子吸收分光光度法^[11]测定重金属 Cu、Zn、Cd、Cr、Pb 含量;采用紫外分光光度法^[12]测定硝酸盐含量;采

用盐酸萘乙二胺比色法^[12]测定亚硝酸盐含量。

1.3.3 沼液指标测定 每间隔 7 d 测量 1 次沼液指标。采用纳氏试剂光度法^[13]测定沼液氨氮含量;采用钼锑抗分光光度法^[13]测定沼液 TN 含量;采用钼酸铵分光光度法^[13]测定沼液 TP 含量;采用火焰原子吸收法^[13]测定沼液 TK 含量;采用快速密闭催化消解法^[14]测定沼液 COD 含量。

1.3.4 数据处理与分析

沼液污染物去除量、去除率及豆瓣菜对污染物去除能力的计算公式如下:

去除量 = 对照组含量 - 处理组含量;

$$\text{去除率} = \frac{\text{去除量}}{\text{初始量}} \times 100\% ;$$

$$\text{去除能力} = \frac{\text{去除量} \times \text{沼液体积}}{\text{总面积} \times \text{天数}}。$$

运用 Excel 2016 进行数据整理和制图,SPSS 23 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 豆瓣菜生长指标的变化

2.1.1 豆瓣菜株高变化 如表 2 所示,前 7 d 各处理中豆瓣菜生长旺盛,7 d 后 D1 由于高浓度沼液胁迫导致株高降低。D3 在前 21 d 株高持续增长,21 d 后开始下降,但依旧总体显著高于其他沼液处理组,42 d 时比 CK1 高出 66.15%。在整个生长周期中的平均株高由高到低是 D3 > CK2 > D2 > D4 > D1 > CK1,分别为 19.78、19.61、14.33、13.91、13.62、11.27 cm,D3 最有利于豆瓣菜株高生长,沼液浓度过高会抑制豆瓣菜株高的生长。

表 2 豆瓣菜株高动态变化

处理组	株高 (cm)							平均值
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d	
D1	8.02aA	17.33 ± 2.52aA	16.43 ± 0.83bAB	15.33 ± 2.52cdCD	13.07 ± 2.98cC	11.70 ± 1.83cB	13.43 ± 0.76cC	13.62
D2	8.02aA	15.67 ± 4.04aA	16.03 ± 1.21bAB	17.73 ± 0.4bcBC	15.77 ± 0.64cBC	14.00 ± 0.70cB	13.10 ± 1.82cC	14.33
D3	8.02aA	16.67 ± 2.08aA	19.93 ± 1.00aA	25.30 ± 2.46aA	25.10 ± 4.81aA	23.13 ± 0.74bA	20.27 ± 0.95bB	19.78
D4	8.02aA	16.67 ± 0.58aA	12.23 ± 3.19cBC	13.20 ± 0.26dD	19.83 ± 1.47bB	14.30 ± 1.10cB	13.13 ± 1.68cC	13.91
CK1	8.02aA	10.13 ± 1.32bB	9.67 ± 0.15cC	13.10 ± 1.39dD	13.33 ± 3.01cC	12.47 ± 1.00cB	12.20 ± 0.75cC	11.27
CK2	8.02aA	16.00 ± 1.00aA	16.30 ± 0.80bAB	20.26 ± 0.55bB	25.10 ± 4.81aA	26.30 ± 1.91aA	25.30 ± 2.46aA	19.61

注:同列数据后不同小、大写字母分别表示差异显著($P < 0.05$)和差异极显著($P < 0.01$)。下表同。

2.1.2 豆瓣菜根长变化 如表 3 所示,D4 中豆瓣菜根部在前 21 d 持续生长,而其他各沼液处理组在 7 d 后均受到高浓度沼液胁迫,根部腐烂导致根长缩短;D3 在 14 d 后适应沼液环境,根部开始伸长;

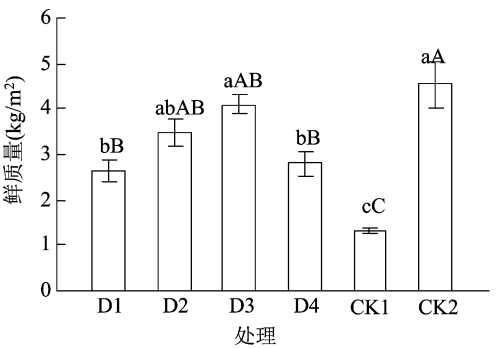
D1 和 D2 由于沼液浓度较高,根部腐烂严重,在 7 d 后根部长度大体持续下降。D1 在 42 d 时根长最短为 4.43 cm,极显著低于其他处理组,说明高浓度沼液会抑制豆瓣菜根部生长。平均根长由高到低为

表 3 豆瓣菜根长动态变化

处理组	根长 (cm)							平均值
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d	
D1	5.98aA	16.57 ± 1.19bAB	11.31 ± 0.67cC	8.17 ± 0.61dC	7.93 ± 0.67dD	5.43 ± 0.55eD	4.43 ± 1.01eE	8.55
D2	5.98aA	15.23 ± 2.48bcB	12.15 ± 1.48cBC	9.43 ± 1.39cdC	6.97 ± 3.84dD	7.17 ± 1.14eD	9.50 ± 0.36dD	9.49
D3	5.98aA	19.33 ± 1.08aA	12.55 ± 2.48bcBC	16.33 ± 1.72bB	17.63 ± 0.21bB	25.00 ± 0.53aA	21.90 ± 0.44bB	16.96
D4	5.98aA	10.60 ± 2.39dC	14.63 ± 1.70abAB	21.77 ± 0.29aA	17.00 ± 0.82bBC	14.10 ± 2.80cC	26.17 ± 3.52aA	15.75
CK1	5.98aA	16.33 ± 1.72bAB	12.80 ± 0.35bcBC	10.69 ± 0.79cC	14.00 ± 0.52cC	11.80 ± 1.71dC	14.57 ± 0.15cC	12.31
CK2	5.98aA	13.57 ± 0.81cBC	16.57 ± 1.19aA	19.77 ± 1.61aA	20.67 ± 0.90aA	21.33 ± 1.27bB	21.00 ± 1.44bB	16.98

CK2 > D3 > D4 > CK1 > D2 > D1, 分别为 16.98、16.96、15.75、12.31、9.49、8.55 cm。

2.1.3 不同处理豆瓣菜鲜质量比较 如图 1 所示, 42 d 后不同沼液处理组中豆瓣菜鲜质量都显著高于 CK1, 其中 D3 鲜质量最高, 显著高于 D1 和 D4, 和 D2、CK2 之间差异不显著, 比 CK1 高出 214.38%, 达到 4.11 kg/m², 其次 D2 > D4 > D1, 分别为 3.48、2.80、2.64 kg/m²。可见 D3 处理产量最高, 沼液浓度过高会降低豆瓣菜产量。



柱上不同小、大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)和差异极显著($P<0.01$)
图1 豆瓣菜鲜质量

2.2 不同处理豆瓣菜营养指标比较

如表 4 所示,D1、D2、D3、D4 豆瓣菜可溶性糖含

量逐渐增加,D4 极显著高于其他沼液处理组,与 CK2 之间差异不显著,D1、D2、D3 可溶性糖含量低于 CK1,说明高浓度沼液会抑制豆瓣菜中可溶性糖的生成。可溶性蛋白含量由高到低为 D3 > CK2 > D1 > D2 > D4 > CK1,说明使用沼液水培能够提高豆瓣菜中可溶性蛋白含量,且 D3 效果最佳,达到 3.97 mg/g,比 CK1 高出 34.12%。沼液处理组维生素 C 含量由高到低是 D2 > D1 > D3 > D4,分别为 256.49、198.48、195.99、78.62 mg/kg,D2 极显著大于其他沼液处理组,和 CK2 之间无显著差异,其中 D1 和 D3 之间差异不显著。

蔬菜是人体硝酸盐的主要来源,占人体总摄入量的 70% ~ 80%^[15],硝酸盐和亚硝酸盐会形成有致癌作用的亚硝胺^[16],过量食用会危害人体健康,我国已对无公害蔬菜中的亚硝酸盐、硝酸盐含量提出明确的限量标准,亚硝酸盐含量≤4.0 mg/kg,硝酸盐含量≤3 000 mg/kg(叶菜类)^[17]。如表 4 所示,不同处理中硝酸盐、亚硝酸盐含量都没有超标,符合我国国家标准,且不同浓度沼液处理组中硝酸盐含量极显著低于 CK1;亚硝酸盐含量最高的是 D2 组,为 3.32 mg/kg,在 D3 组中亚硝酸盐含量最低。

表 4 豆瓣菜营养指标比较

处理组	可溶性糖含量 (mg/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	维生素 C 含量 (mg/kg)	硝酸盐含量 (mg/kg)	亚硝酸盐含量 (mg/kg)
D1	3.88 ± 0.24cD	3.69 ± 0.18abAB	198.48 ± 23.58bBC	261.76 ± 55.45cdBC	2.97 ± 0.64aAB
D2	4.22 ± 0.21cD	3.59 ± 0.12abABC	256.49 ± 26.18aA	416.17 ± 26.05bB	3.32 ± 0.96aA
D3	7.06 ± 0.83bC	3.97 ± 0.10aA	195.99 ± 13.63bBC	145.13 ± 26.23dC	0.89 ± 0.24bB
D4	9.64 ± 0.74aAB	3.23 ± 0.08bcBC	78.62 ± 4.58dD	254.99 ± 82.74cdBC	2.14 ± 0.19aAB
CK1	8.14 ± 1.17bBC	2.96 ± 0.49cC	154.78 ± 23.8cC	582.92 ± 83.79aA	2.09 ± 0.05aAB
CK2	10.72 ± 0.59aA	3.69 ± 0.19abAB	245.83 ± 43.52aAB	368.54 ± 39.17bcB	2.15 ± 0.10aAB

2.3 沼液净化效果分析

2.3.1 沼液氨氮含量动态变化 如图 2 所示,前

21 d 中 D1 氨氮含量持续快速下降,从 130.00 mg/L 下降到 80.90 mg/L,随后出现明显的缺素症,长势

变弱,根系及部分叶片有腐烂发生,导致沼液中的氨氮含量有所上升;如表 5 所示,在整个种植周期内 D1 去除量最高,为 31.07 mg/L,和 D2、D3 之间差异不显著。D4 中氨氮去除率最高,达到 42.45%,和 D3 之间差异不显著,其次为 D3 > D2 > D1,说明沼

液浓度越低,氨氮去除率越高;D1 中豆瓣菜对氨氮的去除能力最高,达 227.60 mg/(d·m²),和 D2、D3 之间差异不显著,其次为 D2 > D3 > D4,分别为 194.90、186.13、124.39 mg/(d·m²)。

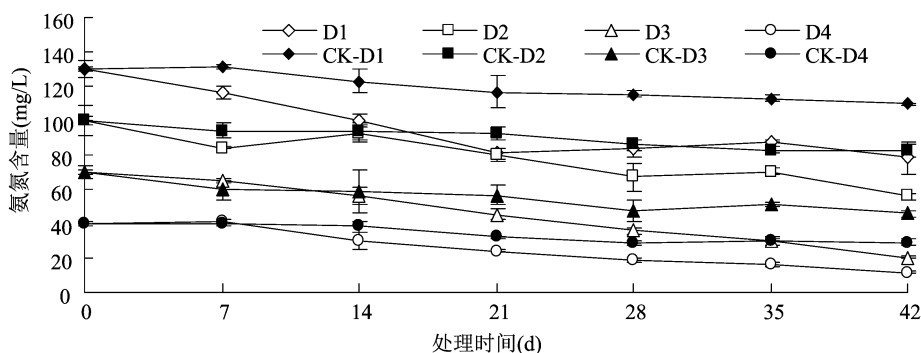


图2 沼液氨氮含量动态变化

表 5 沼液污染物去除情况

项目	处理	氨氮	TN	TP	TK	COD
去除量(mg/L)	D1	31.07 ± 9.43aA	23.18 ± 1.35bAB	1.55 ± 0.24aA	5.46 ± 2.00bB	74.36 ± 3.22cC
	D2	26.60 ± 1.68aA	19.20 ± 4.80bB	1.19 ± 0.08aA	6.97 ± 2.04bB	113.27 ± 8.17aA
	D3	25.41 ± 0.68aAB	30.64 ± 2.00aA	0.81 ± 0.01aA	20.50 ± 1.03aA	86.06 ± 1.76bB
	D4	16.98 ± 0.68bB	20.49 ± 3.26bB	0.51 ± 0.01aA	10.21 ± 2.03bB	81.69 ± 10.24bBC
去除率(%)	D1	23.90 ± 7.25bB	13.54 ± 0.79bB	30.94 ± 4.69aA	4.12 ± 1.51bB	24.54 ± 1.06cC
	D2	26.60 ± 1.68bB	14.59 ± 3.65bB	30.87 ± 1.94aA	6.85 ± 2.01bB	48.58 ± 3.50bB
	D3	36.30 ± 0.97aA	33.24 ± 2.17aA	30.02 ± 0.40aA	28.79 ± 1.45aA	52.73 ± 1.08bB
	D4	42.45 ± 1.69aA	38.91 ± 6.19aA	33.41 ± 0.15aA	25.09 ± 5.00aA	87.61 ± 10.98aA
去除能力[mg/(d·m ²)]	D1	227.60 ± 69.08aA	169.82 ± 9.91bAB	11.38 ± 1.73aA	39.96 ± 14.63bB	544.78 ± 23.59cC
	D2	194.90 ± 12.28aA	140.69 ± 35.17bB	8.73 ± 0.55aA	51.03 ± 14.96bB	829.78 ± 59.83aA
	D3	186.13 ± 4.96aAB	224.48 ± 14.65aA	5.94 ± 0.08aA	150.19 ± 7.58aA	630.45 ± 12.86bB
	D4	124.39 ± 4.96bB	150.15 ± 23.90bB	3.77 ± 0.02aA	74.81 ± 14.90bB	598.49 ± 75.00bBC

我国国家标准规定集约化畜禽养殖业水污染物中氨氮允许日均最高排放含量为 80 mg/L,42 d 时 D1 中氨氮含量为 78.51 mg/L,21 d 时 D2 中氨氮含量为 79.51 mg/L,均达到氨氮排放标准;D3 和 D4 由于沼液浓度较低,试验开始时就已经达到排放标准。

2.3.2 沼液 TN 含量动态变化 如表 5、图 3 所示,豆瓣菜能明显降低沼液中的 TN 含量,其中 D3 中去除量最高,达到 30.64 mg/L,其次为 D1 > D4 > D2,分别为 23.18、20.49、19.20 mg/L,D1、D3 之间差异不显著;D4 中的 TN 去除率最高,达到 38.91%,其次为 D3 > D2 > D1,分别为 33.24%、14.59% 和 13.54%;D3 中豆瓣菜对 TN 的去除能力最高,达

224.48 mg/(d·m²),和 D1 之间差异不显著,其次为 D1 > D4 > D2,分别为 169.82、150.15、140.69 mg/(d·m²)。

2.3.3 沼液 TP 含量动态变化 如表 5、图 4 所示,豆瓣菜在不同浓度的沼液中水培都能明显降低沼液中的 TP 含量,前 21 d 各处理组沼液中 TP 含量下降较快,21 d 后下降速度减慢。D1 中去除量最多,达 1.55 mg/L,其次为 D2 > D3 > D4,各处理组之间差异不显著;D4 中的 TP 去除率最高,为 33.41%,其次为 D1 > D2 > D3,各处理组之间差异不显著;D1 中豆瓣菜对 TP 的去除能力最高,达 11.38 mg/(d·m²),其次为 D2 > D3 > D4,分别为 8.73、5.94、3.77 mg/(d·m²),各处理组之间差异不显著。

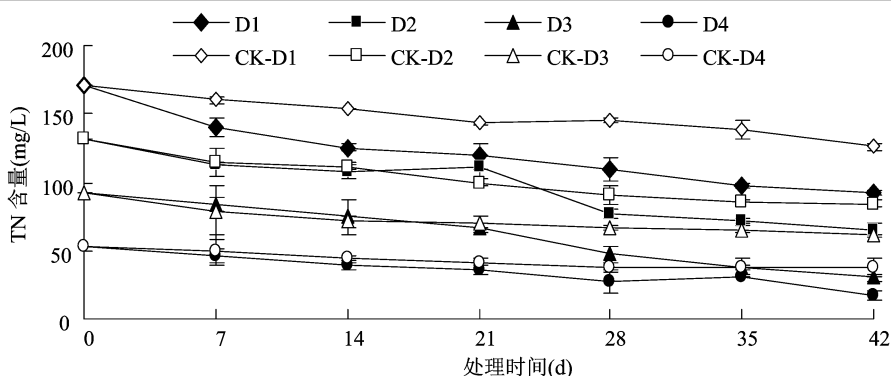


图3 沼液 TN 含量动态变化

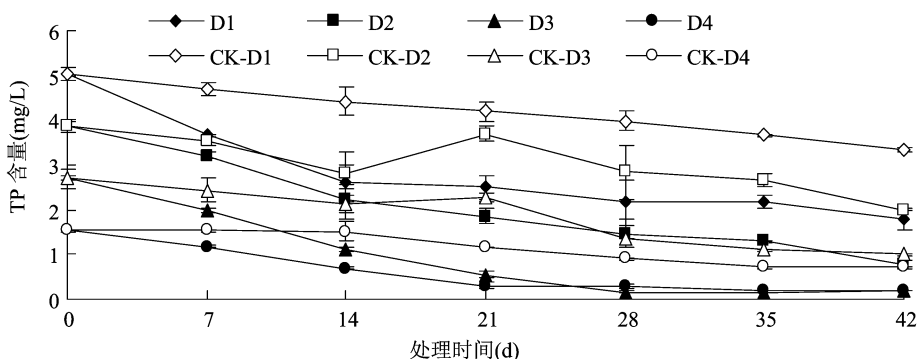


图4 沼液 TP 含量动态变化

2.3.4 沼液 TK 含量动态变化 如表 5 所示, D3 中 TK 去除量最大, 为 20.50 mg/L, 极显著大于其他沼液处理组, 其次为 D4 > D2 > D1, 分别为 10.21、6.97、5.46 mg/L; D3 的 TK 去除率最高, 为 28.79%, 和 D4 之间差异不显著; D3 中豆瓣菜对 TK 的去除能力最高, 达 150.19 mg/(d · m²), 极显著高于其他处理, 其次为 D4 > D2 > D1, 分别为 74.81、50.03、39.96 mg/(d · m²)。

2.3.5 沼液 COD 含量 如表 5、图 5 所示, D2 对 COD 的去除量最高, 为 113.27 mg/L, 极显著高于其他沼液处理组; D4 去除率最高为 87.61%, 极显著高于其他沼液处理组, 其次为 D3 > D2 > D1, 分别为 52.73%、48.58% 和 24.54%; D2 中豆瓣菜对 COD

的去除能力最强, 为 829.78 mg/(d · m²), 极显著高于其他处理组, 其次为 D3 > D4 > D1, 分别为 630.45、598.49、544.78 mg/(d · m²)。我国制定的《畜禽养殖业污染物排放标准》中规定了可排放 COD 含量标准为 400 mg/L, 所有处理均达到排放标准。

3 结论与讨论

3.1 猪场沼液对水培豆瓣菜的生长及营养品质的影响

豆瓣菜植株在清水中缓苗结束后定植于沼液池中, 前期根系未受到伤害, 能够正常吸收养分, 定植后的前 7 d 各处理组豆瓣菜生长旺盛, 7 d 后 D1

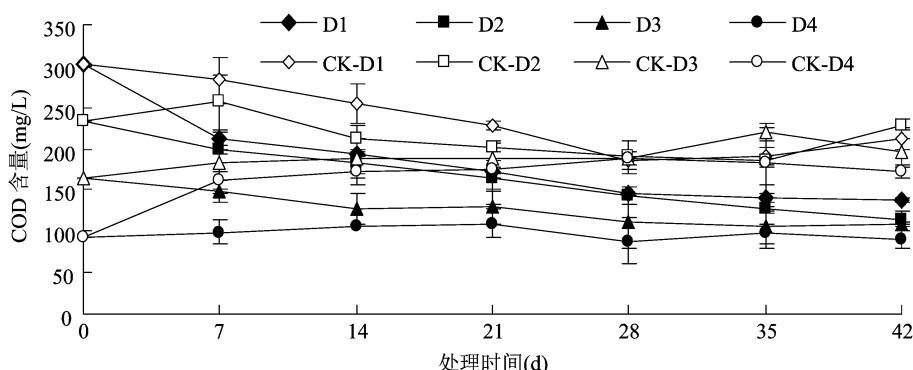


图5 沼液 COD 含量动态变化

中低溶氧量等因素导致根部腐烂,D4 中较少的养分不足以维持植株后期的持续生长;D3 中豆瓣菜在整个生长周期内地上部分和根系生长良好,42 d 后鲜质量可达到 4.11 kg/m^2 ,但与 D2、CK2 的鲜质量无显著差异,D3 是适宜水培豆瓣菜的浓度配比。高浓度沼液会降低豆瓣菜中可溶性糖含量;D3 中可溶性蛋白含量最高,达 3.97 mg/g ,极显著高于 CK1;D2 中维生素 C 含量极显著大于其他沼液处理组,达 256.49 mg/kg ;各处理组豆瓣菜硝酸盐、亚硝酸盐含量都在安全范围内。

3.2 水培豆瓣菜对猪场沼液的净化作用

浮床水培豆瓣菜有助于硝化菌和反硝化菌的生长,微生物通过硝化和反硝化作用将沼液中高浓度的氨氮转化为硝态氮的形式,从而被植物吸收,这是对氮的主要去除机制^[18];氮磷之间的协同作用会促进相互吸收,水生植物根系微生物也能去除部分氮磷;钾可以促进叶片叶绿素的合成,提高叶绿素含量,加强光能利用效率,促进植株生长,进而促进对氮、磷、钾的吸收;蔬菜根系附近的微生物可对有机物进行降解,另外根系的吸附作用以及有机物的物理沉降作用也会使水体中 COD 含量下降。水培豆瓣菜对猪场沼液中氨氮、TN、TP、TK、COD 都有一定的去除效果,对沼液中氨氮、TN、TP、TK 和 COD 去除率最高的处理组分别是 D4、D4、D4、D3 和 D4,去除率依次为 42.45%、38.91%、33.41%、28.79% 和 87.61%,由此可见,在一定范围内豆瓣菜对低浓度沼液中的氨氮、TN、TP、COD 去除率更高,尤其对 COD 有很强的去除效果。试验前,D2 的氨氮、TP、COD 含量分别为 100.00 mg/L 、 3.86 mg/L 和 233.13 mg/L ,而在处理 21 d 时下降到 79.51 mg/L 、 1.85 mg/L 和 163.25 mg/L ,达到国家标准规定集约化畜禽养殖业水污染物中氨氮、TP 和 COD 的排放标准,是净化效益最佳处理组。

在种植期间由于水体富含氮磷,水面易生长出水绵,使得水体氮磷含量下降^[19],在未种植任何蔬菜的空白对照水池中也有下降,在种植前应彻底清扫池底,从源头上杜绝水绵的出现。

参考文献:

- [1] 金书秦,韩冬梅,吴娜伟. 中国畜禽养殖污染防治政策评估[J]. 农业经济问题,2018(3):119-126.
- [2] 宋福忠. 畜禽养殖环境系统承载力及预警研究[D]. 重庆:重庆大学,2011.
- [3] 向天勇,蓝建明,张正红,等. 水生植物的沼液水培及净水作用[J]. 浙江农业科学,2017,58(11):1926-1928.
- [4] 涂特,冉毅,贺清尧,等. CaO/PAC 混合絮凝剂的沼液净化性能[J]. 化工进展,2018,37(6):2392-2398.
- [5] 罗彦章. 气液比与光强对小球藻净化沼气及去除沼液污染物效果的影响[J]. 环境工程,2018,36(5):121-127.
- [6] 叶美锋,吴晓梅,吴飞龙,等. 水生蔬菜对沼液净化效果的研究[J]. 农学学报,2017,7(3):73-76.
- [7] 袁基刚,管秀琼. 混凝-SBR 法对污泥沼液脱氮回用的实验研究[J]. 环境工程,2015,33(10):38-42.
- [8] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 33 卷)[M]. 北京:科学出版社,1999:311-312.
- [9] 刘颖,徐文娟. 豆瓣菜浮床栽培对富营养化水体净化效果的研究[J]. 长江蔬菜,2015(22):88-91.
- [10] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [11] 国家环境保护局. 水质铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光度法:GB 7475—1987[S]. 北京:中国标准出版社,1987.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定:GB 5009.33—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [14] 国家环境保护总局. 水质 化学需氧量的测定 快速消解分光光度法:HJ/T 399—2007[S]. 北京:中国环境科学出版社,2008.
- [15] 宾士友,阮月燕,蔡耕鸣. 广西蔬菜水果硝酸盐含量状况与控制措施[J]. 广西农学报,2006,21(1):23-25.
- [16] 唐爱明. 乳酸菌降解肉制品中亚硝酸盐机理及菌株筛选研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2004.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求:GB 18406.1—2001[S]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [18] Reilly J F, Horne A J, Miller C D. Nitrate removal from a drinking water supply with large free-surface constructed wetlands prior to groundwater recharge[J]. Ecological Engineering,1999,14(1/2):33-47.
- [19] 毛国庆,唐玉华. 蟹池中青苔滋生的原因、危害及防控[J]. 科学养鱼,2016(12):61-62.