【 論 文 】

豚ふん堆肥炭化物による養豚廃水からの アンモニア除去に関する研究

土 手 裕*・関 戸 知 雄*・元 山 健司郎*・上 田 浩 三**
阪 本 亮 一**・鈴 木 敏 征***・佐 野 修 司***

【要 旨】 豚ふん堆肥炭化物によって養豚廃水 1 次処理水中のアンモニアを除去することを目的とし、吸着実験、除去実験を行った。吸着実験結果において、共存する Na, K によるアンモニア吸着への妨害がみられた。Langmuir 型吸着等温線の飽和吸着量 $q_{\max}$ と反応溶液中の Na と K の合計濃度の間には負の相関があった。実廃水を用いた吸着量は、模擬廃水から想定された吸着量より増加した。除去実験において、炭化物添加率 5 % 以上の条件において目標であるアンモニア除去濃度 130 mg/L を達成できた。攪拌方法の改善により炭化物添加率を削減できる可能性が示唆された。以上より、養豚廃水 1 次処理水中のアンモニアを除去する方法として豚ふん堆肥炭化物を用いることは可能であると考えられた。

キーワード：吸着、アンモニア除去、豚ふん堆肥炭化物、養豚廃水

1. は じ め に

養豚廃水には窒素が 2,500 mg/L 程度と高濃度で含まれており、養豚廃水処理水中の換算窒素濃度は平均で 260 mg/L であり、一律排水基準である 100 mg/L を達成できない場合がある¹⁾。そのため、暫定基準が設けられており、2010 (平成 22) 年 7 月～2013 (平成 25) 年 6 月の 900 mg/L が、2013 (平成 25) 年 7 月～2016 (平成 28) 年 6 月の 700 mg/L に引き下げられた²⁾。養豚廃水に対する暫定基準が今後さらに厳しくなっていくことは容易に想定され、養豚廃水からの窒素除去率を向上させる必要がある。

養豚廃水処理プロセスは、1 次処理としての固液分離、2 次処理として生物処理から成っており、2 次処理で硝化脱窒が行われている。脱窒を促進し十分に窒素除去を行うには、養豚廃水の 2 次処理に流入する 1 次処

理水の BOD/N 比が 3 以上といわれているが³⁾、養豚廃水 1 次処理水の全窒素は BOD に比べて大きく平均で BOD/N が 2.7 との報告もあり¹⁾、養豚廃水処理水中の窒素濃度が高くなる原因の一つである。この問題を解決する方法の一つとして、脱窒において BOD を必要としない anammox 反応を用いる方法があり、主に下水道あるいは工場廃水に対して用いられているが、養豚廃水処理への実用規模での適用例はない⁴⁾。また、1 次処理水に含まれる全窒素の 99 % をケルダール態窒素が占め、ケルダール態窒素の 72 % をアンモニアが占めているとの報告があり¹⁾、2 次処理前にアンモニアをある程度除去することができれば、2 次処理における脱窒が十分に進むと考えられる。アンモニアの一般的な除去方法としてアンモニアストリッピング法、吸着がある。中でも活性炭を用いた吸着は、微生物処理法の負荷を軽減できるとして利用されている⁵⁾。

一方、家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律 (以下、家畜排せつ物法) の施行により家畜排せつ物は堆肥化等の適正処理が行われているが、一部の畜産地域では他地域に比べ相対的に耕地面積あたりの家畜排せつ物発生量が大きく、家畜排せつ物の農地還元以外の利用促進の重要性が指摘されている⁶⁾。農地還元以外の利用方法の一つとして炭化があり⁷⁾、養豚堆肥を

原稿受付 2015. 4. 21 原稿受理 2015. 12. 1

* 宮崎大学工学部 社会環境システム工学科

** 日立造船(株) 環境事業本部 新事業・新製品推進室

*** (株)大阪府立環境農林水産総合研究所

連絡先：〒 889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1

宮崎大学工学部 社会環境システム工学科 土手 裕

E-mail: dote@civil.miyazaki-u.ac.jp

炭化した堆肥炭化物を用いて養豚廃水中のアンモニアを除去することができれば、堆肥の新たな利用先とすることができる。

アンモニア吸着用炭化物のバイオマス原料としてココナツ殻⁸⁾、カカオの殻⁹⁾、トウモロコシの穂軸^{9,10)}、ピーナツの殻¹⁰⁾、モミガラ^{11,12)}、木材^{12,13)}が報告されているが、アンモニア水溶液を対象として pH や温度の影響を検討している事例が多い。実際の畜産廃水を対象とした事例としては養豚廃水の嫌気性消化液⁸⁾、乳牛廃液¹²⁾を対象とした報告があり、畜産廃水に比較的多く含まれているナトリウムやカリウム等の陽イオンが、アンモニア除去を妨害する可能性を示唆している。このように、養豚堆肥炭化物を使用したアンモニア除去の研究事例はなく、養豚廃水を対象とした研究事例も少ない。筆者等は豚ふん堆肥炭化物の吸着能に与える pH、温度の影響を検討し、吸着等温線として Langmuir 型が適用できること、吸着パラメータの飽和吸着量は pH の上昇とともに増加し、pH 8 以上で一定になること、温度の影響は小さいことを明らかにした¹⁴⁾。

本研究では、養豚廃水 2 次処理において脱窒を十分行わせるために、1 次処理水中のアンモニアを豚ふん堆肥炭化物によって除去するための基礎的な知見を得ることを目的として、模擬廃水および実養豚廃水を用いて吸着実験、除去実験を行った。また、 NH_4^+ と同じ陽イオンである Na^+ 、 K^+ が養豚廃水に含まれることから、その影響についても検討した。

2. 実験方法

2.1 炭化物および養豚廃水 1 次処理水

炭化に用いた堆肥は、豚ふんを副資材を加えずに密閉縦型攪拌方式で 2 週間 1 次発酵させた堆肥を用いた。この堆肥をロータリーキルン型炭化炉（処理能力 30 kg/hr）で 450℃、1 時間の条件で処理して得られた炭化物をふるい分けして、粒径 1–2 mm の間のものを用いた。また、炭化物を洗浄したもの（以後、洗浄炭化物と呼ぶ）も用いた。炭化物の洗浄方法は、ポリ瓶に炭化物と蒸留水を L/S 比=5 の条件で加え、200 rpm で 6 時間振とうを行った後、ふるい目 1 mm のふるいを通して、ふるい上のものを乾燥させた。炭化物の陽イオン交換能については土壤環境分析法 V.6.A により分析を行い、比表面積は BET 法により分析した。

また、未洗浄炭化物および洗浄炭化物について溶出試験を行った。L/S 比 10 で 200 rpm で 6 時間振とうを行った。振とう終了後、pH、EC の順に測定後 5 分間静置し、0.45 μm のメンブレンフィルターを用いてろ液を

分析用試料として採取した。

養豚廃水は、肥育豚 800 頭である畜産農家から凝集剤を用いて固液分離している 1 次処理水を採取し、5℃のろ紙とプフナーロートで吸引ろ過を行い、その後 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過したろ液を用いた。

2.2 吸着実験

未洗浄および洗浄炭化物によるアンモニアの吸着等温線を求める実験を行った。原水は NH_4Cl を用い、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が 0, 200, 600, 1,000, 1,500, 2,000 mg-N/L となるように調整した。このように、蒸留水に試薬を加えて調整した原水のことを模擬廃水と呼ぶこととする。炭化物 5 g と原水 100 mL を 100 mL のポリ瓶に入れ、200 rpm で 6 時間振とうを行った。振とう終了後、5 分程度静置して 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ液を 25 mL 採取したのち、残液の pH を測定した。原水として養豚廃水 1 次処理水を用いて同様の振とう条件で吸着実験を行った。

また、陽イオンの影響を検討するため、Na, K 濃度を NaCl, KCl を用いて調整した模擬廃水を用いて、洗浄炭化物を用いて同様の吸着実験を行った。

2.3 除去実験

実際の処理を想定してプロペラ式の攪拌装置を用いたバッチ処理によるアンモニアの除去を検討した。1 L ビーカーに未洗浄炭化物を原水重量の 5, 10, 15 % となるように添加し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 1,000 mg/L になるように NH_4Cl を用いて調整した原水を 800 mL 加え、ただちにプロペラ式攪拌機（東京理化工機株式会社、ZZ-1100、攪拌翼直径 73 mm）で 60 rpm で攪拌を開始した。攪拌開始後 10, 30, 60, 120 分にシリンジを用いて約 10 mL 採取し、0.45 μm のメンブレンフィルターを用いてろ過し、分析用試料とした。また、攪拌開始後 180 分にもろ液を採取後、pH を測定した。Na, K 濃度は 180 分に採取したろ液についてのみの分析した。また、原水として養豚廃水 1 次処理水を用いた場合も検討した。

2.4 分析方法

$\text{NH}_4\text{-N}$ の分析には、インドフェノール青吸光光度法（株式会社日立ハイテクサイエンス、U-1800）を用い、Na, K, Mg, Ca の分析にはフレイム原子吸光光度法（株式会社日立ハイテクフィールドインテグレーション、Z-2000）を用いた。P の分析には、ICP-AES（株式会社島津製作所、ICPS-8100）を用いた。全窒素（TN）と TOC は TOC アナライザー（株式会社島津製作所、TNM-1、TOC-V CPH）を用いた。

表 1 炭化物の性状

洗浄の有無	溶出液 pH	溶出量 (mg/kg)						陽イオン 交換能 (cmol (+)/kg)	比表面積 (m ² /g)
		Na	K	Ca	Mg	P	NH ₄ -N		
未洗浄	10.16	4,210	17,200	45	214	475	170	28.7	3.13
洗浄	9.33	2,450	9,480	24	172	892	20	36.6	5.12

表 2 養豚廃水性状 (pH 以外の単位は mg/L)

pH	Na	K	Ca	Mg	P	NH ₄ -N	TN	TOC
8.22	273	978	73	21	42	1,330	1,470	1,380

3. 結果と考察

3.1 炭化物および養豚廃水の性状

表 1 に炭化物の性状を示す。炭化物は洗浄することによって、陽イオン交換能で 1.3 倍、比表面積で 1.6 倍増加した。商業用活性炭で 1,040 (m²/g)¹⁵⁾、バイオマス由来の炭化物では本研究で用いた炭化物とはほぼ同じ炭化温度で処理した場合で 4.9~26.4 (m²/g) が報告されており^{9,10)}、堆肥炭化物の比表面積はこれらと比較すると小さかった。陽イオン交換能については、17.2~37 (cmol (+)/kg) が報告されており^{9,13)}、本研究で用いた炭化物の陽イオン交換能はこれらの値と同程度であった。また、溶出量の多い元素は、Na, K であり、NH₄-N の溶出量は微量であった。炭化物を洗浄することで Na と K の溶出量はともに未洗浄の約 1/2 に減少したが、洗浄炭化物には水溶性の Na, K が残存しており、今回の洗浄方法では十分な洗浄が行われていなかった。また、P については洗浄後の溶出量のほうが洗浄前よりも多くなった。これは、30℃の条件ではあっても、pH が 9.85 から 8.46 に低下すると P の溶出率が 2.3 倍に増加することを著者等は報告しており¹⁶⁾、本実験でも pH が洗浄前の 10.16 から洗浄後の 9.33 に低下したため、P の溶出量が増加したと考えられた。

表 2 に養豚廃水 (1 次処理水) の性状を示す。和木ら¹⁾は養豚廃水の pH は 8.2、TN は 1,300 mg/L、NH₄-N は 927 mg/L と報告しているが (肥育豚換算で 800 から 6,000 頭 (4 県 9 農家) の調査結果の平均値)、本実験で用いた養豚廃水の分析結果をこれらの値と比較すると、pH、TN についてはほぼ同じであるが、NH₄-N はやや高い値であった。

3.2 吸着能実験結果

3.2.1 炭化物洗浄の吸着能への影響

図 1 に Na, K 未添加での模擬廃水を用いた未洗浄および洗浄炭化物の吸着等温線を示す。図中の曲線は式(1)

図 1 陽イオン未添加の模擬廃水を用いた吸着等温線 (□：未洗浄炭化物、○：洗浄炭化物)

の Langmuir 型の吸着等温線を示す。

$$q = \frac{q_{\max} \times C_e}{a + C_e} \quad (1)$$

ここで、 q は吸着量 (mg/g)、 $q_{\max}$ は飽和吸着量 (mg/g)、 C_e は平衡濃度 (mg/L)、 a は定数 (mg/L) である。ただし、表 1 に示すように炭化物からアンモニアの溶出が認められたため、もともと炭化物に吸着されていた量を初期吸着量 q_0 (mg/g) として式(2)により吸着量 q を計算した。

$$q = q_0 + \frac{(C_0 - C_e) \times V}{w} \quad (2)$$

ただし、 C_0 は初期濃度 (mg/L)、 V は吸着液体積 (L)、 w は炭化物重量 (g) である。式中のパラメータ ($q_{\max}$ 、 a 、 q_0) は吸着量の実測値と計算値の残差自乗和が最小になるように求めた。反応終了時の溶液の pH は未洗浄炭化物で 8.7~10.6、洗浄炭化物で 8.1~9.7 の範囲であった。表 3 に得られたパラメータの値を示す。図 1 に示すように吸着量の計算値と実測値は良い一致を示し ($R^2 > 0.98$)、吸着等温線は Langmuir 型で表現できた。炭化物を洗浄した場合、未洗浄の場合より吸着量は増加した。また、

表 3 吸着パラメータ (陽イオン無添加)

	$q_{\max}$ (mg/g)	a (mg/L)	q_0 (mg/g)	R^2
未洗浄	9.67	1,258	0.124	0.99
洗浄	15.0	1,530	0	0.98

a) Na の影響 (添加 Na 濃度: ○: 0 mg/L, △: 500 mg/L, □: 1,000 mg/L)

b) K の影響 (添加 K 濃度: ○: 0 mg/L, △: 1,000 mg/L, □: 3,000 mg/L)

図2 洗浄炭化物の吸着等温線に対する Na, K の影響

未洗浄炭化物を用いた場合の $q_{\max}$ は 9.7 mg/g で、本実験と同じ炭化温度で製造されたトウモロコシやピーナツ殻の炭化物の $q_{\max}$ (それぞれ 1.5, 1.6 mg/g¹⁰⁾) よりも高い値であった。

3.2.2 共存陽イオンの影響

図2に洗浄炭化物を用いた場合のアンモニア吸着における Na, K の影響を示す。反応終了時の溶液の pH は 8.0~9.3 の範囲であった。Na, K 添加量が増加すると吸着量は減少することから、共存する Na, K がアンモニアの吸着を妨害することがわかった。Hale ら⁹⁾が指摘したように、これは NH_4^+ が同じ陽イオンである Na^+ や K^+ と競合するために NH_4^+ が吸着しにくくなったと考えられた。

図3に反応溶液中の Na と K の合計濃度と $q_{\max}$ の関係を示す。図中の横軸は反応終了後の溶液中の Na と K の合計濃度 (mmol/L) を表し、直線はその合計濃度と $q_{\max}$ の回帰直線を表す。Na と K の合計濃度が増加すると $q_{\max}$ は減少し、Na, K の合計濃度と $q_{\max}$ の間には高い負の相関がみられた。また、未洗浄炭化物を用いた吸着実験の反応終了後の溶液中の Na と K の合計濃度 44.9 mmol/L を用いて図3の回帰直線から求めた $q_{\max}$ は 9.64 mg/g であり、表3の未洗浄炭化物の値とほぼ一致した。このように、炭化物の洗浄の有無によらず $q_{\max}$ と溶液中の Na と K の合計濃度との相関が強いことから、炭化物を洗浄することによる $q_{\max}$ の増加は、陽イオン交換能の増加よりも共存する Na, K 濃度の低下による影響が大きいと考えられた。なお、図3中の直線には理論的な裏付けがないことから、共存する陽イオンの影響についてはさらなる検討が必要である。

3.2.3 実廃水を用いたアンモニア吸着実験結果

図4に洗浄炭化物を用いた実廃水吸着実験結果を示す。

図3 溶液中の Na と K の合計濃度と $q_{\max}$ の関係 (洗浄炭化物)

図4 洗浄炭化物を用いた場合の実廃水吸着量と模擬廃水吸着量の比較 (○: 実廃水, 曲線: 図2の吸着等温線。括弧内の値は溶液中の Na と K の合計濃度 (mmol/L))

図中の曲線は、図2で得られた吸着等温線であり、()内は、反応後の溶液中のNaとKの合計濃度 (mmol/L) である。実廃水を用いた場合の吸着量は陽イオン未添加の吸着等温線 (図中のNa, K=0) から予想される吸着量よりも少なかった。また、未洗浄炭化物を用いた実廃水からの吸着実験では吸着量が3.3 mg/gであり、図1の吸着等温線から予想される吸着量4.6 mg/gよりも低い値であった。Kizito ら¹²⁾は木材由来の炭化物を用いたアンモニア除去実験において、本研究と同様にNH₄Cl溶液に対する吸着量よりも畜産廃水に対する吸着量が減少したことを報告しており、その理由として共存陽イオンがアンモニウムイオンの吸着を妨害したと推測している。本研究でも吸着量の減少は共存陽イオンの妨害によると考えられた。

ただし、実廃水を用いた場合の反応終了後のNaとKの合計濃度は56 mmol/Lであるが、得られた吸着量は模擬廃水のNaとKの合計濃度48 mmol/Lの吸着等温線よりも上にあり (図4)、陽イオンを加えた模擬廃水を用いた吸着実験から予想された吸着量よりも高い吸着量が得られた。この理由として、表2に示すように実廃水中にはPが42 mg/L含まれているが、反応後の溶液中のPは2 mg/Lに減少していたことから、一般的に知られているアンモニアを含む難溶性の沈殿物であるMAP (MgNH₄PO₄・6H₂O) が生成したため、見かけ上吸着量が増加した可能性が示唆された。今後、詳細な検討が必要と考えられる。

3.3 除去実験

3.3.1 動力学的検討

図5に除去実験結果を示す。図中の曲線は、NH₄-N濃度変化が式(3)で示す一次反応に従うとして得られた式(4)による濃度の計算線を示す。

a) 模擬廃水

表4 速度パラメータ

添加率 (%)	k (min ⁻¹)		C_{∞} (mg/L)		R^2	
	模擬廃水	実廃水	模擬廃水	実廃水	模擬廃水	実廃水
5	0.051	0.092	796	1,206	0.99	0.91
10	0.036	0.029	737	1,075	0.98	0.94
15	0.051	0.041	654	1,015	0.93	0.88

$$\frac{dC}{dt} = k(C_{\infty} - C) \quad (3)$$

$$C = C_{\infty} - (C_{\infty} - C_0)e^{-kt} \quad (4)$$

ただし、 C (mg/L) は任意の時間の濃度、 C_{∞} (mg/L) は無限時間経過後の濃度、 C_0 (mg/L) は初期濃度、 k (min⁻¹) は反応速度定数を表す。式中のパラメータは濃度の実測値と計算値の残差自乗和が最小になるように求めた。表4に得られた速度パラメータと濃度の実測値と計算値の R^2 を示す。 R^2 はおおむね0.88以上と高いことから、除去速度は1次反応で表現できると考えられた。反応速度定数は、0.018 min⁻¹以上の値を示し、模擬廃水・実廃水の違いによる影響は認められなかった。

図6に模擬廃水を用いた結果について、 C_{∞} から計算で求めた吸着量 q_{∞} と C_{∞} での平衡吸着量 q_{eq} (図1で得られた等温吸着式から計算) の比を示す。炭化物添加率が増加するに従い、 q_{∞}/q_{eq} は81%から67%に減少した。平衡濃度に到達しなかった理由として、除去実験では攪拌翼による攪拌を行っているが、炭化物の摩砕を防ぐために攪拌翼とビーカーの間を1~2 cm程度あけていたため、沈降した炭化物がこの部分で停滞しており、そのため溶液と炭化物の接触が不十分であったことが原因の一つと考えられた。炭化物の攪拌方法の検討が今後必要である。

3.3.2 除去濃度について

除去実験において、NH₄-Nの初期濃度と3時間後の

b) 実廃水

図5 アンモニア除去実験結果 (炭化物添加率: ○: 5%, △: 10%, □: 15%)

図6 q_{∞} と q_{eq} の比

図7 アンモニア除去濃度 (○: 模擬廃水, □: 実廃水)

残存濃度の差を除去濃度として、図7に示す。炭化物添加率の増加に伴い除去濃度は増加した。模擬廃水と実廃水の差はほとんどなかった。和木ら¹⁾の報告からBOD平均値は、3,500 mg/L、TN平均値は、1,300 mg/LでBOD/N比は2.6となっていた。BOD/N比を3以上にするためにはT-N値を1,170 mg/L以下にすればよい。よって目標とする濃度を、1,300 mg/Lと1,170 mg/Lの差を計算して130 mg/Lとすると、図7から、炭化物添加率5%以上で目標を達成することができると考えられた。また、3.3.1で述べたように q_{∞}/q_{eq} が67~81%と吸着量が平衡吸着量に満たないことから、炭化物の混合方法を改善することで必要な炭化物添加率を削減できると考えられた。

4. お わ り に

養豚廃水1次処理水中の窒素濃度が高く、2次処理において脱窒反応が十分に行われていない問題点を解決するために、豚ふん堆肥炭化物によって1次処理水中のアンモニアを除去することを目的とし、そのために模擬廃

水および実養豚廃水を用いて吸着能実験、除去実験を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 洗浄炭化物による吸着実験から、共存するNa, Kがアンモニアの吸着を妨害することがわかった。また、 q_{max} と溶液中のNaとKの合計モル濃度の間に強い負の相関があった。
- (2) 洗浄炭化物による実廃水を用いた吸着実験での吸着量は、模擬廃水の場合よりも減少したが、陽イオンの妨害を考慮した吸着量より増加した。その原因として、実廃水の場合は、共存する陽イオンの妨害により吸着量が減少する現象と、実廃水に含まれるPとアンモニアが反応して難溶性のMAPが生成することにより見かけ上吸着量が増加する現象が同時に生じていたと考えられた。
- (3) 除去実験において得られた q_{∞} が平衡吸着量の67~81%であり、除去実験において吸着が十分には行われなかった。この原因として炭化物の攪拌が不十分であることが考えられた。
- (4) 除去実験において、炭化物添加率5%以上の条件において目標である除去濃度130 mg/Lを達成することができた。また、炭化物の混合方法を改善することで炭化物添加率を削減できる可能性が示唆された。

以上より、養豚廃水1次処理水中のアンモニアを除去する方法の一つとして、豚ふん堆肥を炭化した堆肥炭化物を用いることは十分可能であると考えられた。

[謝 辞]

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「豚ふん中の有用資源を循環利用する事業モデルの構築（課題番号25078C）」の助成を受けて行われた。

参 考 文 献

- 1) 和木美代子, 安田知子, 福永泰之, 黒田和孝, 酒井隆宏, 鈴木直人, 鈴木良地, 松葉賢治, 鈴木一好: 養豚廃水の活性汚泥処理施設から排出される窒素特性, 水環境学会誌, 第33巻, 第4号, pp.33-39 (2010)
- 2) 農林水産省 生産局畜産部畜産企画課: 畜産経営に関する排水基準について (2015)
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t-info/02_haisui/ (閲覧日2015年3月28日)
- 3) 金 主銘, 酒村哲朗, 千葉信男, 西村 修, 須藤隆一: 回分式間欠曝気活性汚泥法による豚舎排水の有機物・窒素除去に関するパイロットプラント実験, 水環境学会誌, 第22巻, 第12号, pp.990-996 (1999)
- 4) 和木美代子: 窒素を除去するアナモックス菌——畜産における可能性——, 畜産環境情報, 第56号, pp.1-14 (2015)
- 5) 浦野紘平: 活性炭による排水処理, 有機合成化学協会, 第33号, pp.333-341 (1975)

- 6) 農林水産省 生産局畜産部畜産企画課 畜産環境・経営安定対策室：畜産環境をめぐる情勢 (2015)
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/meguru_jousei.pdf (閲覧日 2015 年 3 月 28 日)
- 7) 薬師堂謙一：家畜排せつ物の炭化処理技術の現状と課題, 養豚の友, pp. 25-28 (2011)
- 8) R. Boopathy, S. Karthikeyan, A. B. Mandal and G. Sekaran: Adsorption of Ammonium Ion by Coconut Shell-activated Carbon from Aqueous Solution: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Studies, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 20, No. 1, pp. 533-542 (2013)
- 9) S. E. Hale, V. Alling, V. Martinsen, J. Mulder, G. D. Breedveld and G. Cornelissen: The Sorption and Desorption of Phosphate-P, Ammonium-N and nitrate-N in Cacao Shell and Corn Cob Biochars, Chemosphere, Vol. 91, No. 11, pp. 1612-1619 (2013)
- 10) N. Liu, Z. Sun, Z. Wu, X. Zhan, K. Zhang, E. Zhao and X. Han: Adsorption Characteristics of Ammonium Nitrogen by Biochar from Diverse Origins in Water, Advanced Materials Research, Vol. 664, pp. 305-312 (2013)
- 11) K. Zhu, H. Fu, J. Zhang, X. Lv, J. Tang and X. Xu: Studies on Removal of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ from Aqueous Solution by Using the Activated Carbons Derived from Rice Husk, Biomass and Bioenergy, Vol. 43, pp. 18-25 (2012)
- 12) S. Kizito, S. Wu, W. K. Kirui, M. Lei, Q. Lu, H. Bah and R. Dong: Evaluation of Slow Pyrolyzed Wood and Rice Husks Biochar for Adsorption of Ammonium Nitrogen from Piggery Manure Anaerobic Digestate Slurry, Science of the Total Environment, Vol. 505, pp. 102-112 (2015)
- 13) D. V. Sarkhot, T. A. Ghezzehei and A. A. Berhe: Effectiveness of Biochar for Sorption of Ammonium and Phosphate from Dairy Effluent, Journal of Environmental Quality, Vol. 42, No. 5, pp. 1545-1554 (2013)
- 14) Y. Dote, T. Sekito, K. Ueda, R. Sakamoto, T. Suzuki and S. Sano: Removal of Ammonia from Aqueous Solution for Swine Wastewater with Swine Manure Compost-based Char, Proceedings of 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, pp. 540-545 (2014)
- 15) P. Vassileva, P. Tzvetkova and R. Nickolov: Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions with Coal-based Activated Carbons Modified by Oxidation, Fuel, Vol. 88, No. 2, pp. 387-390 (2009)
- 16) 土手 裕, 関戸知雄, 上田浩三, 阪本亮一: 豚ふん堆肥炭化物からのカリウム回収方法の検討, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 261-262 (2011)

Removal of Ammonia from Swine Wastewater using Swine Manure Compost-based Char

Yutaka Dote*, Tomoo Sekito*, Kenshiro Motoyama*, Kozo Ueda**
Ryoichi Sakamoto**, Toshiyuki Suzuki*** and Shuji Sano***

* Department of Civil and Environmental Engineering, University of Miyazaki

** Business & Product Promotion Department, Environment Headquarters,
Hitachi Zosen Corporation

*** Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefecture

† Correspondence should be addressed to Yutaka Dote:

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Miyazaki
(1-1 Gakuenkibanadainishi, Miyazaki 889-2192 Japan)

Abstract

To remove ammonia from swine wastewater after primary treatment with swine manure compost-based char, adsorption experiments and removal experiments were conducted. The results of adsorption experiments showed that the Na and K cations inhibited ammonia adsorption on the biochar. The $q_{\max}$ parameter of the Langmuir isotherm had a strong negative correlation with the sum of Na and K concentrations. The amount of adsorption of ammonia from swine wastewater was higher than that expected from the results of an NH_4Cl solution that contained Na and K. The results of removal experiments showed that a 5 % biochar addition to swine wastewater was enough to remove 130 mg-N/L of ammonia, which is a target value to promote biological denitrification. This suggests that improvement of the biochar mixing method could decrease the ratio of added biochar. These results indicate that swine manure compost-based char could be utilized for ammonia removal from swine wastewater after primary treatment to promote biological denitrification.

Keywords: adsorption, ammonia removal, swine manure compost-based char, swine wastewater