

## 敷料用資材のアンモニア吸着能力

市川あゆみ<sup>1)</sup>・日置雅之<sup>2)</sup>・柳澤淳二<sup>1)</sup>

**摘要**：畜舎からの悪臭対策に用いるため、数種の敷料用資材（オガクズ、モミガラ、稲ワラ、コーヒー粕及びヤシ殻外皮）のアンモニア（NH<sub>3</sub>）吸着能力を調査し、①物理的に吸着する能力、②保持した水分に溶解して吸着する能力、③pH緩衝による揮散抑制効果の3要因について解析を行った。その結果、資材のNH<sub>3</sub>吸着能力には、①と③が要因として大きく影響していた。供試資材のうち高いNH<sub>3</sub>吸着能力を示したコーヒー粕及びヤシ殻外皮では、①と③の能力が高く、更に水分保持能力も高く敷料資材としても有望であることが明らかとなった。

**キーワード**：敷料用資材、コーヒー粕、ヤシ殻外皮、アンモニア吸着能力、pH緩衝能、水分保持能力

## Ammonia Adsorption Capacity of Bedding Materials

ICHIKAWA Ayumi, HIOKI Masayuki and YANAGISAWA Junji

**Abstract**: We investigated the treatment of offensive odors by using bedding materials. We evaluated the ammonia adsorption capacity of sawn wood, rice husk, rice straw, coffee extraction residue, and coconut husk. We showed that coffee extraction residue and coconut husk had high capacities for ammonia adsorption, effective physical adsorption capacities, and high pH buffering capacities.

**Key Words**: Bedding materials, coffee extraction residue, coconut husk, Ammonia adsorption capacity, pH buffering ability, Water retention capability.

## 緒言

地域住民から寄せられる畜産由来の苦情のうち、悪臭に関するものは常に上位に位置しており、本県のような都市近郊型の畜産経営においては、悪臭対策は避けて通れない課題である。悪臭対策は直接収益を生む生産的な分野ではないため、コストや労力をかけない、効率的な対策技術であることが普及の大前提である。

畜舎での敷料利用効果の一つに、悪臭の低下があげられているが<sup>1-4)</sup>、敷料に脱臭能力の高い資材を利用することは、高価な脱臭資材を購入し、散布等の手間をかけることに比べ、低コストで省力的な悪臭対策技術になると考えられる。

一般的な敷料用資材については、悪臭を吸着する能力（以下、吸着能力）に関する調査は、過去にもなされており<sup>5-9)</sup>、木質系資材は特に能力が高いとされている<sup>10-13)</sup>。しかし、各資材の吸着能力を一定の条件で比較した報告はない。

資材の吸着能力を決定する要因としては、①多孔質等の構造特性により、孔隙に悪臭物質を物理的に吸着する能力、②水溶性の悪臭物質を保持した水分に溶解して吸着する能力、③pHの変動を抑制することにより、酸性又はアルカリ性の悪臭物質の揮散を抑制する能力の3つが考えられる。これらは、乾物状態の資材を用い条件を一定とした上で、それらの吸着能力、水分保持能力、pH緩衝能を測定することによって比較検討することが可能と考えられるが、その報告もない。

一方、敷料として従来から使用されているオガクズ、モミガラ、稲ワラ等に加えて、近年は新たな資材の利用も検討されており、中でも、飲料抽出後のコーヒー粕やココヤシの繊維層（外皮）部分を10～30 mm程度のチップ状に粉砕して乾燥させたヤシガラチップは、脱臭能力が高いとする報告がある<sup>14-20)</sup>。

そこで、今回オガクズ、モミガラ、稲ワラ、コーヒー粕及びヤシ殻外皮について、吸着能力のうち、アルカリ性の悪臭物質であるアンモニア（ $\text{NH}_3$ ）の吸着能力を比較し、要因解析を行った。

## 材料及び方法

### 1 供試資材

オガクズ、モミガラ、稲ワラ、コーヒー粕及びヤシ殻外皮の5種類の資材を供試した。オガクズは当研究部で敷料として購入しているもの、モミガラ、稲ワラは当場作物研究部より入手した自然乾燥状態のもの、コーヒー粕は発酵・乾燥済みの市販資材（コーヒー抽出残渣を堆積発酵したもの。堆積期間等は不明。購入時の含水率は64.9%）を当場内の堆肥舎に堆積し、18か月間天日乾燥したもの、ヤシ殻外皮は、ココヤシの果肉を包む固い殻（ヤシ殻）を覆う外側の部分（外皮）のうち、繊維状の部分を取り除き粉砕したもので、園芸用資材として輸入されているもの（図1、商品名ココエコナッツ、KNKコーポレーション）を用いた（以下、現物資材）。

それぞれの資材を60℃で、ヤシ殻外皮は72時間、それ以外の資材は24時間通風乾燥して（以下、風乾資材）、水分保持能力及び $\text{NH}_3$ 吸着能力の調査に供試した。稲ワラは、乾燥後1～2 cmの長さに裁断して供試した。

pH緩衝能の調査には、風乾資材を0.5 mmメッシュ全通粉砕して供試した。

### 2 資材の成分と水分保持能力の調査

供試した資材の成分は、現物及び風乾資材の含水率（＝水分重量/資材重量）を105℃24時間加熱減量法で、容積重を500 mL又は1 Lメスシリンダーに充填した資材の重量を測定して算出した。ただし稲ワラの容積重は、100 mLメスシリンダーに、目盛線に合わせて約10 cmの長さに裁断した資材を縦に隙間なく充填して測定した。

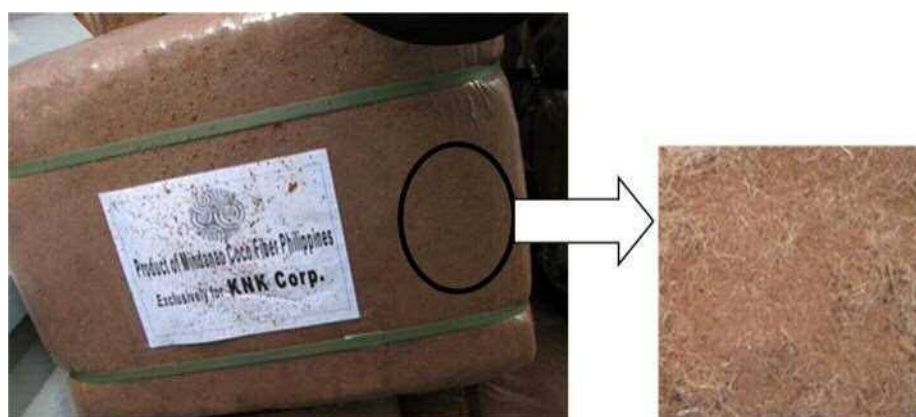


図1 本試験に使用したヤシ殻外皮

（ヤシ殻を包む外皮の内繊維状の部分を取り除き粉砕したもの。KNKコーポレーション、左：梱包状態、右：開梱資材）

また、現物資材10 gに蒸留水100 mLを加え、30分間振とうした懸濁液のpHをガラス電極法で、同液の電気伝導率(EC)を電気伝導率計法で測定した。

資材の水分保持能力は、資材が吸収できる水分量(土壌分析法<sup>21, 22)</sup>における最大(飽和)容水量)及び、資材が保持できる水分量(同、最小(ほ場)容水量)を柴田ら<sup>23)</sup>の方法に準じて測定した。

測定には風乾資材を用い、最大容水量は25°Cの恒温槽内で、資材を24時間水没させた後の水分含量を、最小容水量は、水没後24時間25°Cの恒温槽内、飽和水蒸気状態で、ろ紙上に放置して、資材に保持されない水(重力水)を自然落下させた後の水分含量を測定し、体積含水率(=水分容積/資材容積)で示した。資材容積は、資材重量を風乾資材の容積重で除して求めた。

さらに、最小容水量から現物資材の水分含量を差し引いて、敷料が吸収可能な水分量(以下、加水可能量)を求めた。

### 3 NH<sub>3</sub>吸着能力の調査

各風乾資材についてNH<sub>3</sub>吸着能力を測定し、物理性に起因するNH<sub>3</sub>吸着能力とした。また、資材の水分含量とNH<sub>3</sub>吸着能力の関係进行调查するために、含水率が20%間隔となるように、各風乾資材に蒸留水を添加した資材について、NH<sub>3</sub>吸着能力を測定した。各資材の含水率の上限は、水分保持能力で調査した最小容水量としたが、稲ワラは含水率80%では漏水が多かったため60%を上限とした。

NH<sub>3</sub>吸着能力の測定には、山本ら<sup>24)</sup>及び、中谷と市川<sup>25)</sup>のふん尿からのNH<sub>3</sub>発生量を測定する装置を改変した装置(図2、以下、装置)を用いた。改変部分は、ふん尿を培養するプラスチック容器をNH<sub>3</sub>ガス発生器とし、容量を1 Lから500 mLに変更したこと、資材に発生したガスを通過させるための資材充填槽(φ15×20 cm塩ビ管)を追加したこと及び、NH<sub>3</sub>捕集ビン(200 mL三角フラスコ)をシリコン栓とガラス管を取り付けた200 mL三角フラスコに変更したことである。

装置への資材の充填は、資材容積を10、20、30、40、

50、60及び70 mLと設定し、風乾資材の容積重を基に、所定の容積に見合う重量を秤量して、容積が90 mLになるように、資材の前後に資材を挟み込むようにガラスビーズ(BZ-6、直径5.613~6.680 mm、アズワン)を加えた。ガラスビーズのみ90 mL充填したものを資材量0とした。

NH<sub>3</sub>溶液は、NH<sub>3</sub>水(特級、関東科学)をエタノールで希釈したものを用い、添加量は1 mLとした。NH<sub>3</sub>溶液の濃度は、上記資材量7点のうち3点以上の資材量でNH<sub>3</sub>が資材を通過して捕集され、1点又は2点の資材量でNH<sub>3</sub>が全量吸着して通過量が0になるように資材及び含水率ごとに設定した(表1)。

30°Cの恒温槽内に設置したNH<sub>3</sub>ガス発生器に、所定濃度のNH<sub>3</sub>溶液を1 mL添加し、気化したNH<sub>3</sub>ガスを流量0.5 L min<sup>-1</sup>で、資材を充填した塩ビ管を通し、1時間吸引した。資材を通過したNH<sub>3</sub>ガスを4%ホウ酸溶液100 mLに吸収させ、これを濃度により0.05 mol L<sup>-1</sup>又は0.01 mol L<sup>-1</sup>の硫酸で全量滴定して定量した。硫酸滴定による測定の閾値を下回ったオガクズ、モミガラ、稲ワラの風乾物については、0.05 mol L<sup>-1</sup>硫酸50 mLに捕集して、100 mLにメスアップ後定量をインドフェノール青法<sup>26)</sup>により測定した。

測定は、各資材の資材量ごとに3反復行った。資材量とNH<sub>3</sub>の通過量の関係を最小二乗法で近似させ、通過量が0となる点を推定した。資材量0の場合のNH<sub>3</sub>通過量を推定した通過量0の資材量で除した値を単位容積あたりのNH<sub>3</sub>吸着量とした(図3)。

装置のNH<sub>3</sub>回収率を調査するために、装置を用いず、NH<sub>3</sub>溶液を直接ホウ酸(又は硫酸)溶液に添加して定量した値を添加量とし、資材量0の通過率(=通過量/添加量)を算出した結果、装置のNH<sub>3</sub>回収率は平均91.7%(84.6~97.3)で、添加量の多少との関連は見られず、ほぼ一定であった。

### 4 pH緩衝能

供試資材5 gに対し、水素イオン(H<sup>+</sup>)濃度または水酸化物イオン(OH<sup>-</sup>)濃度が0.1、0.05、0.02、0.01、0.005、

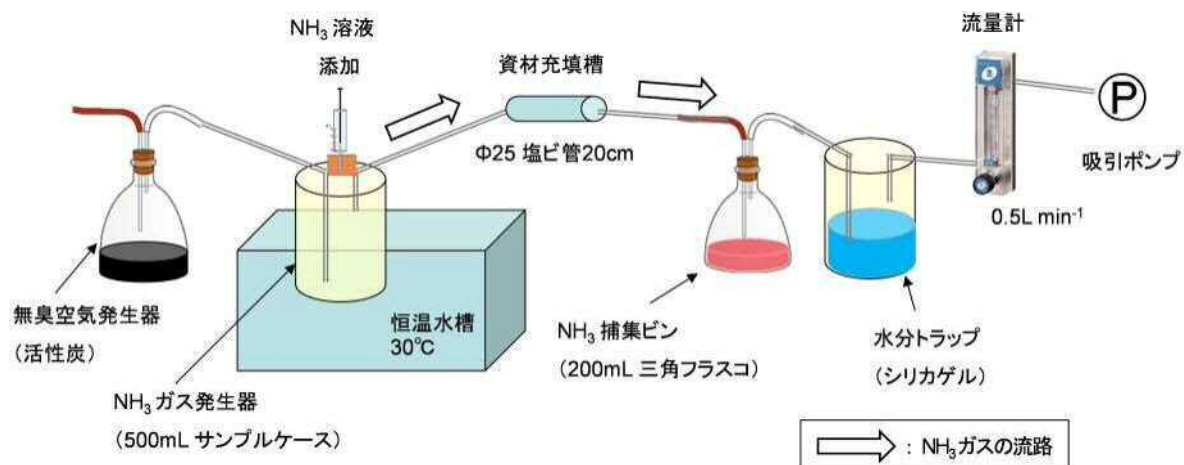


図2 NH<sub>3</sub>測定装置の概略(山本ら<sup>24)</sup>を改変)

表1 各資材の含水率ごとのNH<sub>3</sub>添加量

資材名	資材含水率				
	風乾物	20%	40%	60%	80%
	NH <sub>3</sub> 添加量 <sup>1)</sup> (mg)				
オガクズ	0.3	2.5	2.7	3.0	4.0
モミガラ	0.1	2.7	5.3	10.2	
稲ワラ	0.5	2.6	5.4	6.4	
コーヒー粕	8.9	25.5	47.7	96.6	
ヤシ殻外皮	10.4	24.4	48.9	49.1	98.6

注)含水率(%)=水分重量/(乾物重量+水分重量)×100

1) エタノール溶液1 mL中のNH<sub>3</sub>含量。

表2 供試資材の成分

資材名	含水率 (%)	容積重 (g L <sup>-1</sup> )	pH (1:10)	EC (dS m <sup>-1</sup> )
オガクズ	12.6 (2.5)	53.6 (48.0)	5.3	0.02
モミガラ	10.0 (2.8)	90.0 (87.0)	7.5	0.05
稲ワラ	10.5 (3.2)	84.5 (78.1)	6.2	0.22
コーヒー粕	8.6 (5.1)	311.5 (300.0)	5.6	0.12
ヤシ殻外皮	67.0 (5.8)	172.5 (84.0)	6.4	0.10

注)含水率、容積重は、上段：現物 下段：(風乾物)。

表3 資材の水分保持能力

資材名	現物資材 含水量	最大 容水量	最小 容水量	加水 可能量
	体積含水率(%)			
オガクズ	0.7	26.5	25.8	25.2
モミガラ	0.9	19.2	18.9	18.0
稲ワラ	0.9	38.6	37.3	36.4
コーヒー粕	2.7	88.2	87.4	84.7
ヤシ殻外皮	16.1	83.1	81.8	65.8

注)最大容水量は24時間水没後含水量。

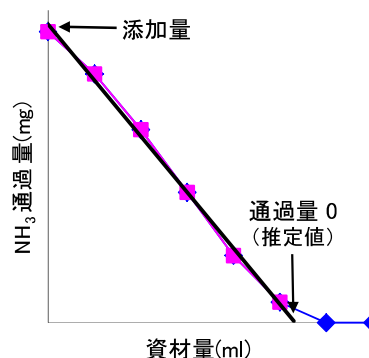
最小容水量=最大容水量-24時間自然落下水量

加水可能量=最小容水量-現物含水量

体積含水率(%)=水分容積(重量)/資材容積×100

資材容積=風乾物重量/容積重(風乾物)

0.002、0.001、0.0005及び0.0002 mol L<sup>-1</sup>となるように調製した塩酸、又は水酸化ナトリウム水溶液50 mLを加え、30分間振とうした懸濁液のpHを測定した。資材ごとに添加H<sup>+</sup>濃度、又はOH<sup>-</sup>濃度とpHの関係を最小二乗法により近似し、pH4及び9に対応するH<sup>+</sup>またはOH<sup>-</sup>添加量(以下、pH4又はpH9緩衝容量)を算出した<sup>27)</sup>。

図3 NH<sub>3</sub>吸着能力の測定方法

注)NH<sub>3</sub>吸着量は添加量/通過量0の資材量

添加量は資材を充填しない場合の通過量。

通過量0(推定値)は資材量を変化させて求めた通過量と資材量の関係式より算出。

表4 各資材の含水率ごとのNH<sub>3</sub>吸着量

資材名	資材含水率				
	風乾物	20%	40%	60%	80%
	NH <sub>3</sub> 吸着量*(mg L <sup>-1</sup> )				
オガクズ	11	43	45	44	57
モミガラ	1	70	125	212	
稲ワラ	13	66	128	161	
コーヒー粕	212	1228	2699	4112	
ヤシ殻外皮	187	480	810	885	1755

注)含水率(%)=水分重量/(乾物重量+水分重量)×100

1)資材容積あたりのNH<sub>3</sub>吸着量。

## 試験結果

### 1 資材の成分と水分保持能力

供試した資材の成分を表2に示した。コーヒー粕及び

ヤシ殻外皮では、オガクズ、モミガラ、稲ワラに比べ、風乾資材の含水率が高く、容積重が大きかった。

資材の水分保持能力を表3に示した。現物資材の水分含量は、風乾資材で測定した、最大容水量及び最小容水量との比較のために、等容積あたりの乾物重量が等しくなるように、現物重量を風乾物に換算して、風乾物の容積重より求めた容積あたりの値を示した。その結果、現物水分含量の高いヤシ殻外皮では、現物容積あたりの値(11.6%)より高い値となった。

コーヒー粕は最大容水量、最小容水量共に他の資材より高く、今回使用した資材では、資材容積の84.7%の水分を吸収することができることが明らかとなった。ヤシ殻外皮でも、最大容水量、最小容水量共に資材容積の80%を超えていたが、現物資材の含水量が高かったため、加水可能量は65.8%であった。オガクズ、モミガラ、稲ワラの加水可能量は、それぞれ25.2%、18.0%、36.4%であり、コーヒー粕及びヤシ殻外皮が従来使用されてい

る敷料用資材より水分保持能力が高いことが明らかとなった。

2 資材の含水率ごとのNH<sub>3</sub>吸着能力

各資材の含水率ごとのNH<sub>3</sub>吸着量を表4に示した。

物理的NH<sub>3</sub>吸着能力(風乾資材の吸着能力)は、コーヒー粕及びヤシ殻外皮で著しく高く、オガクズ、稲ワラ、モミガラの10倍以上であった。

オガクズでは、資材の含水率とNH<sub>3</sub>吸着量の間には一定の傾向は見られなかったが、その他の資材では、含水率の増加に比例してNH<sub>3</sub>吸着量が増加した。中でもコーヒー粕及びヤシ殻外皮は、含水率の増加に伴うNH<sub>3</sub>吸着量の増加量が大きかった。各資材について、物理的な吸着分(風乾資材の吸着量)を除いたNH<sub>3</sub>吸着量と水分含量の関係(図4)をみると、資材ごとに直線の傾きが異なっていた。

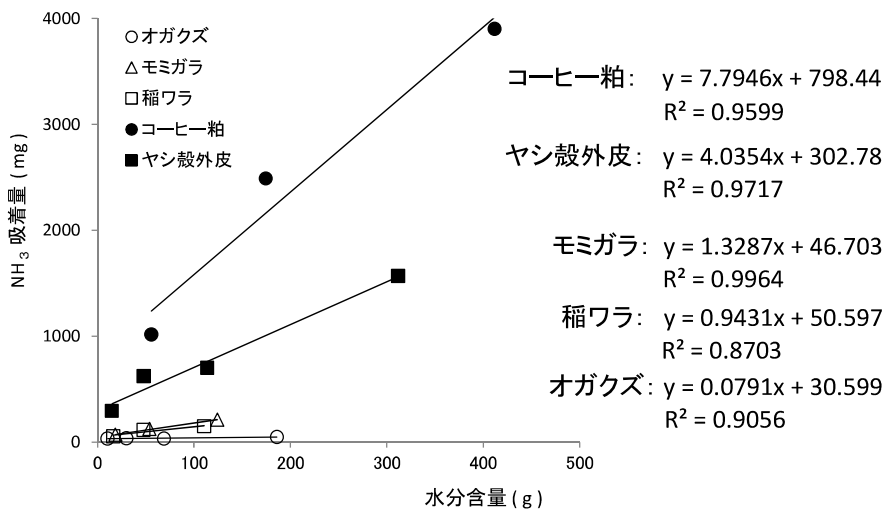


図4 各資材の水分含量とNH<sub>3</sub>吸着量の関係

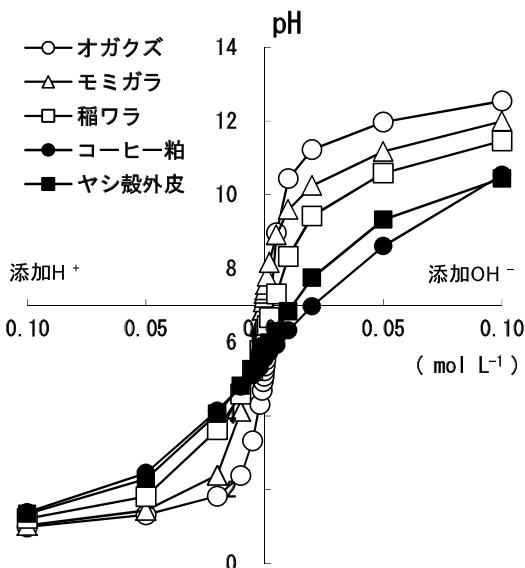


図5 各資材のpH緩衝曲線

表5 各資材のpH緩衝容量<sup>1)</sup>

資材名	pH 4 必要量 (H <sup>+</sup> mol L <sup>-1</sup> )	pH 9 必要量 (OH <sup>-</sup> mol L <sup>-1</sup> )
オガクズ	0.001	0.003
モミガラ	0.009	0.005
稲ワラ	0.012	0.012
コーヒー粕	0.068	0.177
ヤシ殻外皮	0.017	0.035

1) 容積 1 L の資材を pH 4 または pH 9 にするために必要な添加量。

### 3 pH緩衝能

各資材のpH緩衝曲線を図5に示した。また、容積あたりのpH緩衝容量を表5に示した。

アルカリ性物質であるNH<sub>3</sub>の発生抑制に関与するアルカリ域におけるpH緩衝能は、コーヒー粕が非常に高く、コーヒー粕のpH9緩衝容量は、同容積のオガクズ、モミガラ、稲ワラのそれぞれ68.9倍、37.0倍、14.5倍であった。ヤシ殻外皮のpH9緩衝容量は、コーヒー粕の5分の1程度ではあったが他の資材より大きく、同じく13.6倍、7.3倍、2.9倍であった。コーヒー粕及びヤシ殻外皮では、同様に酸性域でもpH緩衝能が高かった。

## 考 察

今回、資材のNH<sub>3</sub>吸着能力を、①多孔質等の構造特性により、孔隙に悪臭物質を物理的に吸着する能力、②保持した水分に悪臭物質を溶解して吸着する能力、③pHの変動を抑制することにより、悪臭物質の揮散を抑制する能力の3つと考え比較検討を行った。

①については、コーヒー粕には、多孔質構造による臭気の吸着能力があると報告されているが<sup>18)</sup>、土壌分析法では、土壌の全孔隙は最大容水量と等しいとされており<sup>21, 22)</sup>、今回コーヒー粕の最大容水量が高かった結果と符合している。同様に、ヤシ殻外皮も最大容水量が高く、孔隙の多い構造をしていると推察された。我々は、①の能力は、風乾資材のNH<sub>3</sub>吸着量から推定できると考えたが、今回、風乾資材のNH<sub>3</sub>吸着量が大きかったコーヒー粕及びヤシ殻外皮では最大容水量も高く、風乾資材による評価が妥当であることが裏付けられた。

一方、水分保持能力より推定できると考えた②の能力については、資材の水分含量とNH<sub>3</sub>吸着量の関係が資材ごとに異なっており(図4)、単純に水分含量が増加することで溶解できるNH<sub>3</sub>量が増加するのではいことが明らかとなった。含水率の増加に伴うNH<sub>3</sub>吸着量の増加は、資材

の物理性の違いによる水の存在形態の違いや、pH緩衝能等の化学的な要因が影響していると考えられた。

コーヒー粕及びヤシ殻外皮は、アルカリ域のpH緩衝能が高く(図5及び表5)、③の能力が高いと考えられた。コーヒー粕に関して、佐藤ら<sup>27)</sup>は、「コーヒーかすのアンモニアの抑制効果は、吸着効果だけではなく、コーヒーかすのアルカリ性緩衝能によって、pH変動を抑制したことによる効果である」と推察しており、加藤ら<sup>28)</sup>も同様の結果を示している。今回、ヤシ殻外皮についても、アルカリ性緩衝能が高いことが示され、同様のNH<sub>3</sub>抑制効果があると考えられた。

水分保持能力は、②の能力の指標とはならなかったが、資材を敷料利用する場合、交換頻度はコストや作業効率を考える上で大きな要因となるため、利用可能期間を左右する重要な能力である。

コーヒー粕及びヤシ殻外皮は、水分保持能力が高かったが、市販品の態様では、含水率がコーヒー粕で64.9%、ヤシ殻外皮で67.0%と高いことが、利用可能期間についての懸念材料である。

そこで、各資材の一定条件まで敷料利用した場合に加えることのできる水分量を試算し、加えて、敷料利用終了時まで吸着できるNH<sub>3</sub>量を水分量とNH<sub>3</sub>吸着量の関係式(図4)より算出して比較検討した(表6)。

各資材を重力に逆らって保持できる限界の水分である最小容水量まで敷料利用できるとした場合、ヤシ殻外皮の加水量は658 g L<sup>-1</sup>で、オガクズ、モミガラ、稲ワラを上回っていたが、市販品のコーヒー粕では302 g L<sup>-1</sup>でオガクズ、モミガラよりは多いものの稲ワラより少なかった。

オガクズの敷料利用の終了を堆肥化適性水分である含水率70%<sup>29)</sup>であるとすると、含水率70%のオガクズは、飽水度(=水分容積/全孔隙容積<sup>21)</sup>)41.2%となり、全孔隙(=最大容水量)の41.2%を水分が占めている状態である。

表6 資材の敷料利用条件と加水量及びNH<sub>3</sub>吸着量

資材名	現物資材		最小容水量まで使用		飽水度 41.2% <sup>1)</sup> まで使用	
	含水率	加水量	NH <sub>3</sub> 吸着量	含水率	加水量	NH <sub>3</sub> 吸着量
	%	g L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	%	g L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
オガクズ	12.6	252	51	70.0	102	39
モミガラ	10.0	180	297	48.4	70	152
稲ワラ	10.5	364	402	67.8	150	200
コーヒー粕	8.6	847	7609	56.1	336	3629
同 市販品	64.9	302	〃	〃	— <sup>2)</sup>	—
ヤシ殻外皮	67.0	658	3605	81.2	181	1684

注) 最小容水量=最大容水量-重力水

含水率(%)=水分重量/(乾物重量+水分重量)×100

飽水度(%)=水分容積/最大容水量×100

1) 含水率70%のオガクズの飽水度。

2) 市販品のコーヒー粕は現物の飽水度>41.2%のため設定不能。



他の資材でも同等の飽水度が堆肥化適性状態であると仮定して、飽水度41.2%で敷料利用を終了することとした場合、ヤシ殻外皮の終了時の含水率は81.2%となり、含水率67.0%の現物資材を使用してもオガクズの1.8倍である181g L<sup>-1</sup>の加水が可能であった。この場合吸着できるNH<sub>3</sub>量は、オガクズの40倍以上であった。

反対に市販品のコーヒー粕は飽水度41.2%を超えているため、コーヒー粕の敷料利用時には、予乾による水分低下の必要があることが明らかとなった。今回使用した資材の含水率である8.5%まで予乾できれば、飽水度41.2%までの使用で、オガクズの3倍以上の加水が可能であった。

以上より、資材のNH<sub>3</sub>吸着能力は、①物理的吸着能力と、③pH緩衝能が要因として大きく影響しており、②保水による単純な溶解吸着能力は比較的小さいことが明らかとなった。また、含水率の増加に伴うNH<sub>3</sub>吸着量の増加は、①及び③に影響を受けている可能性が示唆された。今回調査した資材では、コーヒー粕とヤシ殻外皮で①及び③の能力が高く、NH<sub>3</sub>吸着能力が高いことが裏付けられた。

敷料利用による畜産施設の悪臭対策技術の確立のためには、今回の結果に加え、資材の低級脂肪酸等、酸性の悪臭物質に対する吸着能力の解明と、敷料としての利用特性の調査が必要であると思われる。その上で、資材の組み合わせ利用等、コストや作業効率の面で最も効果的な利用方法を解明する必要がある。

## 引用文献

- 黒田和孝. 家畜ふん尿処理・利用の手引き. 畜産環境整備機構. 東京. p. 97-100(1998)
- 山崎亨史. 家畜の飼育に使われる木材. 北海道林産試だより. 11月号, 1-4(2004)
- 堀江秀夫. 北海道における家畜敷料の需給予測一問伐木の敷料としての可能性一. 北海道林産試験場報. 15, 10-20(2001)
- 大島一郎, 松元里志, 木山孝茂, 廣瀬潤, 石井大介, 片平清美, 山口浩, 主税裕樹, 高山耕二, 中西良孝. 解砕繊維状竹粉の黒毛和種育成雌牛への敷料利用. 鹿児島大農場研報. 35, 7-11(2013)
- 安部正雄, 藤井康三, 白川朗. 脱臭槽に用いる脱臭資材の脱臭効果比較試験. 香川畜試研報. 37, 103-105(2002)
- 杉本清美, 大泉長治, 山口岑雄. 乳牛ふんの吸引通気式堆肥化とリン酸スクラバ及び地域未利用資源による簡易脱臭法. 千葉畜セ研報. 7, 65-70(2007)
- 杉本清美, 大泉長治, 山口岑雄, 阿部佳之, 福重直輝. 再資源化物としての爆砕モミガラとナシ剪定枝炭の脱臭能力. 千葉畜セ研報. 10, 31-34(2010)
- 南部奈津紀, 斉藤正志. 地域未利用資源のアンモニア脱臭能力. 福井畜試研報. 19, 30-34(2006)
- 星一美, 岡本優, 脇坂浩, 小池則義, 沼野井憲一. 資源リサイクルを考慮した簡易・低コスト脱臭システムの開発. 栃木畜試研報. 24, 15-19(2010)
- 板垣博一. 木材を家畜敷料に利用する. 北海道林産試だより. 5月号, 11-12(1986)
- 高橋弘行. 木質廃材の畜産分野での利用. 北海道林産試月報. 11月号, 1-6(1967)
- 福森功. 畜産環境対策大辞典(第2版). 農山漁村文化協会. 東京. p. 81-82(2004)
- 吉田雅規, 亀代高広. 県内スギバークの脱臭資材利用試験. 徳島畜研報. 7, 67-69(2007)
- 大泉長治, 土屋均, 岡崎好子. 未利用木質資源の牛舎敷料利用の検討. 千葉畜セ研報. 5, 79-80(2005)
- 伊禮判, 宇地原務, 山城倫子, 仲宗根實. 畜産公害対策試験(5)ピートモス敷料の悪臭低減効果. 沖縄畜試研報36, 85-90(1998)
- 鈴木直人, 花島大, 黒田和孝, 羽賀清典, 坂井隆宏. 畜産公害対策試験(10)養豚におけるバガスの敷料としての特性. 沖縄畜試研報. 39, 56-59(2001)
- 村松克久, 松井幸治, 小柳渉, 渡邊幸蔵. キノコ菌床の家畜敷料としての利用. 新潟農総研畜研セ研報. 14, 26-29(2003)
- 藤原俊六郎. 有機廃棄物資源化大辞典. 農山漁村文化協会. 東京. p. 216-222(1997)
- 増谷寿彦, 山上善久. コーヒー粕およびウーロン茶粕の鶏舎内散布による脱臭効果. 埼玉畜セ研報. 1, 47-52(1997)
- 原田泰弘, 道宗直昭, 古山隆司. 低濃度の悪臭ガスに対する生物脱臭技術の開発(第1報): 生物脱臭材料としてのヤシガラチップの特性とその基本性能. 農業施設. 36(3), 145-152(2005)
- 愛知県農業総合試験場. 農業及び環境分析診断ハンドブック. (2010)
- 北海道立総合研究機構. 土壌・作物栄養診断のための分析法2012
- 柴田るり子, 大泉長治, 岡田光弘, 高山文雄. 無機質系土壌改良材が家畜ふんの物性改良に及ぼす効果. 千葉畜セ研報. 9, 57-62(1985)
- 山本朱美, 伊藤稔, 古谷修. 豚糞尿混合物からのアンモニア揮散量 *in vitro* 測定法. 日本畜産学会報. 73(4), 503-508(2002)
- 中谷洋, 市川明. 鶏ふんから発生する悪臭物質の *in vitro* 測定法の開発(第1報)ーアンモニア測定法の標準化ー. 愛知農総試研報. 36, 111-115(2004)
- 日本土壌協会. 堆肥等有機物分析法. 東京. p. 25-27(2000)
- 佐藤克昭, 芹沢駿治. 堆肥原料としての有機性廃棄物のpH緩衝能. 静岡畜試研報. 30, 7-11(2004)
- 加藤淳, 市川あゆみ, 榊原幹男. コーヒー粕混合堆肥の敷料利用による脱臭効果. 愛知農総試研報. 45, 143-149(2013)
- 羽賀清典. 家畜ふん尿処理・利用の手引き. 畜産環境整備機構. 東京. p. 31-36(1998)