

# 乳用種肥育牛における低CPでアミノ酸バランスを整えた飼料の給与による

## 温室効果ガス削減効果の検証

田崎稔<sup>1)</sup>、高柳晃治<sup>2)</sup>、小堀優海、池田純子、齋藤憲夫、岩渕守男<sup>3)</sup>、名嘉修治<sup>4)</sup>、川田智弘<sup>5)</sup>

1) 現 河内農業振興事務所、2) 現 那須農業振興事務所、3) 現 農業大学校

4) 現 塩谷南那須農業振興事務所、5) 現 経営技術課

### 要 約

慣行の配合飼料に比べて1~3%程度CP含量を低減させた配合飼料を、乳用種肥育牛（ホルスタイン種去勢牛）に給与する試験を当センター内で実施したところ、堆肥化過程において一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）を中心とした温室効果ガスの発生量が慣行飼料給与に比べて半減した。

また、当センター内で給与した飼料よりもさらに低いCP含量で、アミノ酸バランスを整えた飼料を給与した現地実証試験では、慣行飼料を給与した牛群と遜色ない肥育成績・枝肉成績が得られた。

### 目 的

畜産業の持続可能で健全な発展のためには、地域環境に配慮することが重要である。家畜からは、牛のあいき（呼吸、げっぷ）に含まれるメタンや、排せつ物の処理過程で産出される窒素化合物等の温室効果ガス（GHG）が発生しており、これらを削減することが課題となっている。

一方、豚の給与飼料においては配合飼料中のアミノ酸含有バランスを調整しCP含量を低減することで尿中窒素排出量を削減し、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の298倍の温室効果をもつ一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）を大幅に削減することで、汚水処理時の温室効果ガス（GHG）の40%削減が確認されている<sup>1) 2)</sup>。

そこで本試験では、牛から排せつされる窒素化合物に着目し、ホルスタイン種去勢牛において低CP含量飼料及びアミノ酸バランス改善飼料の給与が、アンモニア（NH<sub>3</sub>）及び温室効果ガス（GHG）等の発生に及ぼす影響を検証する。

### 試験Ⅰ センター飼養牛における低CP含量飼料給与による肥育成績への影響

#### 材料及び方法

栃木県畜産酪農研究センター（以下「センター」という）の肉牛舎で、約6か月齢のホルスタイン種去勢牛8頭を2群に分け、慣行配合飼料よりCP含量を低減した飼料（試験区：4頭）と慣行配合飼料（対照区：4頭）を2018年11月から2019年11月まで給与する肥育試験を実施した。試験区は慣行配合飼料を基

本としCP含量を約2%低減させた配合飼料とし、対照区は慣行配合飼料を給与した（表1）。2018年11月から2019年3月に肥育前期飼料を、4月を配合飼料の切り替え時期とし、2019年5月~11月末まで肥育後期飼料を給与した（表2、図1）。試験牛は約19か月齢で出荷し、両区の肥育成績を比較した。

表1 センターでの試験飼料の成分含量（現物%）

肥育時期	項目	試験区	対照区
前期 (6~10か月齢)	CP	14.1	17.1
	TDN	70.1	69.9
後期 (12~19か月齢)	CP	12.1	13.3
	TDN	71.8	71.6

※TDNは設計値、CPは実測値

表2 センターでの試験飼料の給与メニュー（現物kg/日）

項目	前期	後期
配合飼料	6.5~10.0	10.0~11.7
チモシー乾草	4.0~0.5	-
稲わら	1.0~2.0	2.0

年	2018												2019																											
月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
月齢	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ステージ	育成期						肥育前期						飼料切換						肥育後期																					
備考							前期堆肥化試験						後期堆肥化試験																											

図1 センターでの試験スケジュール

### 結果及び考察

試験期間中の体重 (kg)、体高 (cm)、胸囲 (cm) の推移については、全期間において試験区間に有意な差は認められなかった (図2、図3、図4)。

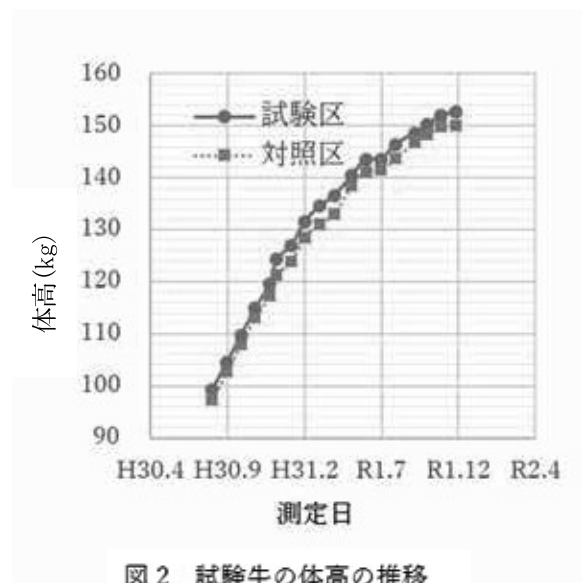


図2 試験牛の体高の推移

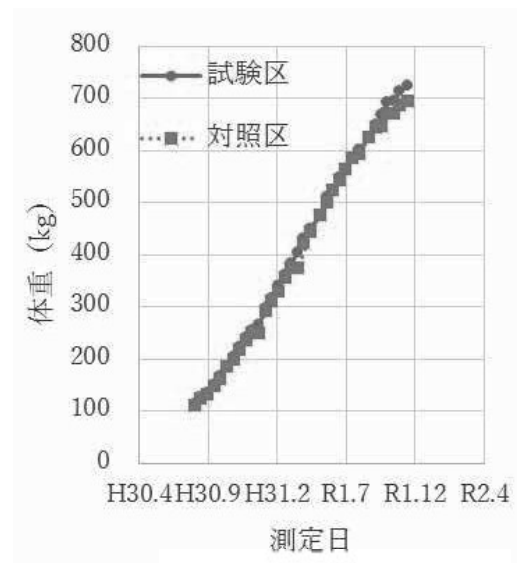


図3 試験牛の体重の推移

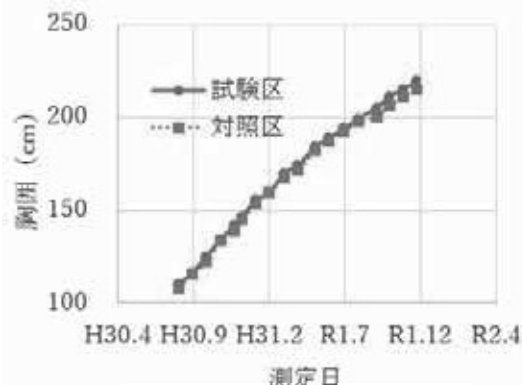


図4 試験牛の胸囲の推移

また、出荷成績についてt検定により評価したところ、両区間に有意な差は認められなかった (表3)。

表3 肥育試験成績

項目	試験区	対照区
枝肉重量 (kg)	393.6	381.3
ロース芯面積 (cm <sup>2</sup> )	34.3	36.8
バラの厚さ (cm)	5	4.9
皮下脂肪の厚さ (cm)	1.4	1.5
歩留 (%)	69	69.3
BMS No.	2	2
BCS No.	5	5
光沢	2	2
絞まり	2	2
きめ	2	2

これらのことから、慣行配合飼料からCPを1~3%程度低減させた飼料のホルスタイン種去勢牛への給与は肥育成績・枝肉成績に影響しないことが示唆された。これは、慣行配合飼料よりCP含量が1~3%程度低減しているものの、ホルスタイン種去勢牛のCP充足率といわれる12%を確保していたからと考えられた。

### 試験Ⅱ センター飼養牛ふん尿の堆肥化過程におけるGHG発生量調査

#### 材料及び方法

試験Ⅰに供試した試験牛は、試験区・対照区ともに、オガクズを敷料とした牛舎で飼養し、肥育前期は

16日間、後期は12日間飼養した後に、全ての敷料と混合されたふん尿（以下「原料」という。）を搬出し、堆肥化試験の原料とし、約8 m<sup>3</sup>の小型ビニールハウス（ガスチャンバー）の中で堆肥化した。なお、肥育前期に実施した堆肥化試験（以下「前期堆肥化試験」という）、肥育後期に実施した堆肥化試験（以下「後期堆肥化試験」という）の実施にあたり、オガクズ等による水分調整はしていない。また、オガクズの使用量は、前期堆肥化試験は約300kg、後期堆肥化試験は約200kgであり、前期堆肥化試験では原料の全量をガスチャンバー内に搬入できなかったため、両区とも原料搬出量の約80%を用いて試験を開始した。後期堆肥化試験では搬出原料の全量をガスチャンバー内に搬入して試験を開始した。前期堆肥化試験は2019年1月28日～4月1日、後期堆肥化試験は2019年5月27日～7月29日に実施した。堆肥化過程の内部温度は、堆積した原料の表層から40～50cmに温度計を挿入し、連続測定を行った。原料の切り返しは1～2週間毎に実施し、切り返し時にサンプルを採取し、試料中の無機態窒素（アンモニア態窒素（NH<sub>4</sub>-N）、亜硝酸態窒素（NO<sub>2</sub>-N）並びに硝酸態窒素（NO<sub>3</sub>-N）含量及び水分を測定し、堆肥化過程の評価を行った。堆肥化試験中は常時リングブローを用いてガスチャンバー内の空気を吸引し、INNOVA社製のマルチガスモニタを用いて吸引した内部の空気中の一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）及びメタン（CH<sub>4</sub>）を測定し、堆肥化過程で発生するGHGの評価を行った。なお、後期堆肥化試験では堆肥化開始22日から29日目まで試験区においてマルチガスモニタに繋がるチューブが外れ、測定ができなかったため両試験区とも22～29日目は両試験区とも欠測値として評価した。

### 結果及び考察

堆肥化試験における原料の重量及び試験開始時の性状は表4に示すとおりで、原料中のN量(kg)は、前期堆肥化試験の試験区が4.81、対照区が4.50、後期堆肥化試験の試験区が5.52、対照区が5.08と、試験区の方が高い値を示した。一方、原料中のNH<sub>4</sub>-N量(mg)は、前期堆肥化試験の試験区が0.59、対照区が0.71、後期堆肥化試験の試験区が0.14、対照区が0.19と、試験区の方が低い値を示した。

表4 堆肥化試験における原料の重量及び試験開始時の性状

項目	前期堆肥化試験		後期堆肥化試験	
	試験区	対照区	試験区	対照区
原料供試重量 (kg)	1140	830	1020	710
水分 (%)	72.9	67.3	67.1	59.0
N濃度 (FM%)	0.42	0.54	0.54	0.72
NH <sub>4</sub> -N濃度 (mg/Fmg)	0.52	0.86	0.14	0.27
C/N比	28.0	26.4	25.4	24.0
N量(kg)	4.81	4.50	5.52	5.08
NH <sub>4</sub> -N量 (mg)	0.59	0.71	0.14	0.19

堆肥化過程の内部温度は図5に示すとおりで、冬季に実施した前期堆肥化試験の堆肥温度の方が夏季に実施した後期堆肥化試験のそれより低く推移した。後期堆肥化試験では47日目の切り返し以降の温度上昇が少なく、早期に堆肥化が進んだことが推察された。

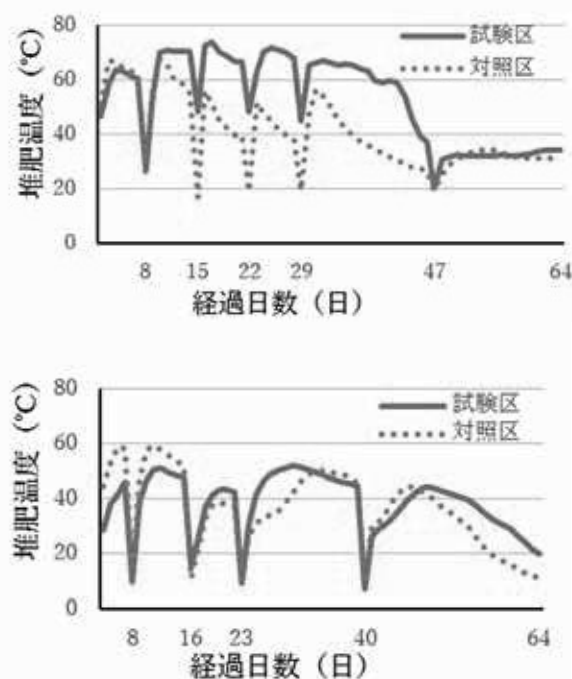


図5 堆肥温度(日最低温度)の推移  
(上:前期堆肥化試験、下:後期堆肥化試験)  
※経過日数の数値記入は切り返し実施日

堆肥化中の水分含量の推移は図6に示すとおりで、水分含量の推移は前・後期堆肥化試験とも試験区の方が常に高く推移した。また、前期堆肥化

試験の対照区以外では堆肥化中の水分含量は概ね同じレベルで推移しその低下は見られなかった。これは堆肥化過程で発生した蒸気がガスチャンバー内部で結露水となり、堆肥に再吸収されたことが原因と思われる。

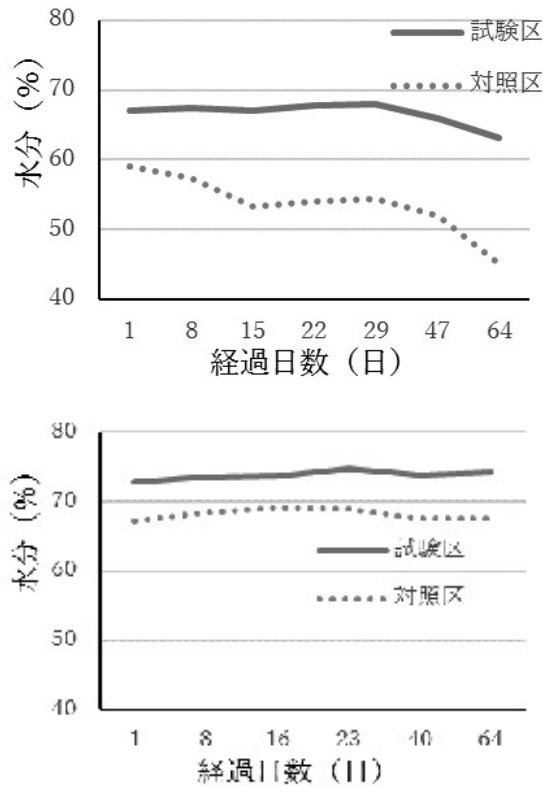


図6 堆肥化中の水分含量の推移  
上: 前期堆肥化試験  
下: 後期堆肥化試験

乾物中の堆肥に含まれる無機態窒素イオン ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ) の推移は図7、8に示すとおりで、堆肥化試験の無機態窒素含量の推移は前後期とも対照区の方が試験区よりも高く推移した。前期堆肥化試験では堆肥化中盤で対照区の  $\text{NO}_2\text{-N}$  の割合が高くなり、後期堆肥化試験では堆肥化初期に対照区の  $\text{NO}_2\text{-N}$  が高く推移した。

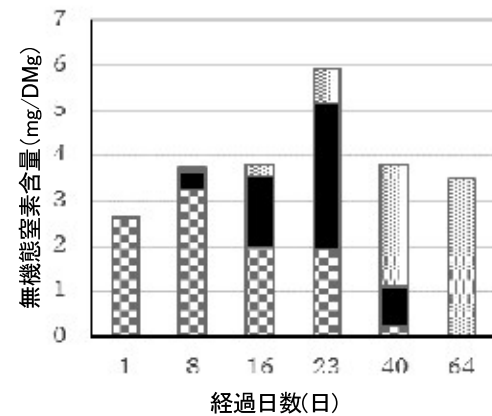
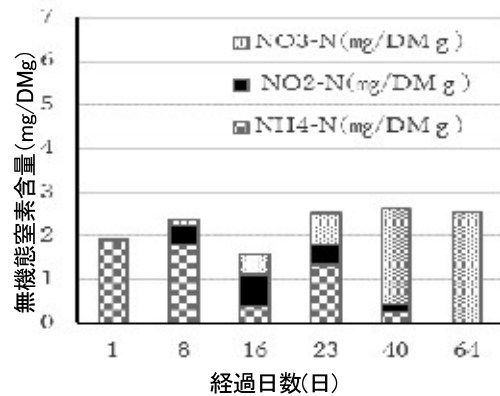


図7 前期試験の堆肥に含まれる無機態窒素 (mg/DMg) の推移(上: 試験区、下: 対照区)

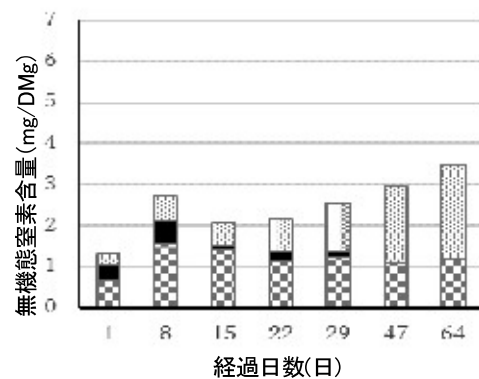
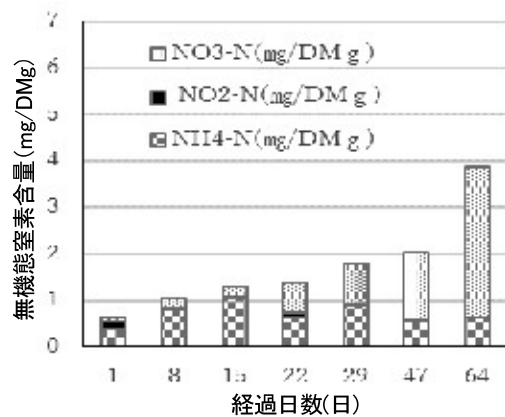


図8 後期試験の堆肥に含まれる無機態窒素 (mg/DMg) の推移(上: 試験区、下: 対照区)

堆肥化試験中に発生した  $N_2O$  の推移は図 9、10 に示すとおりで、前期堆肥化試験では堆肥化中期に、後期堆肥化試験では堆肥化初期に大量の  $N_2O$  発生が確認された。

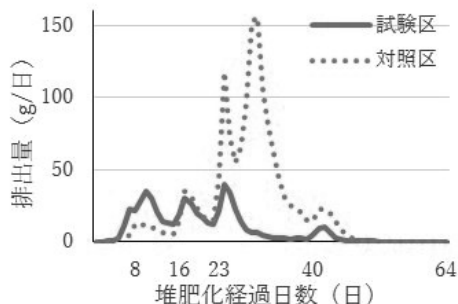


図 9 前期堆肥化試験の  $N_2O$  排出量の推移

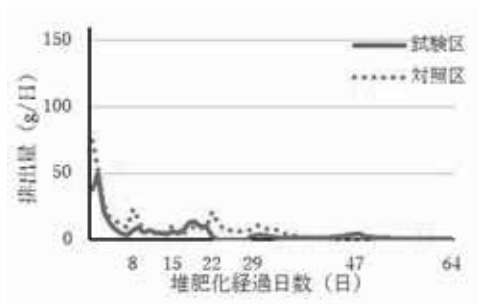


図 10 後期堆肥化試験の  $N_2O$  排出量の推移

堆肥化試験中に発生した  $CH_4$  の推移は図 11、12 に示すとおりで、前・後期堆肥化試験とも堆肥の水分含量の高い試験区の方が常に高く推移した。

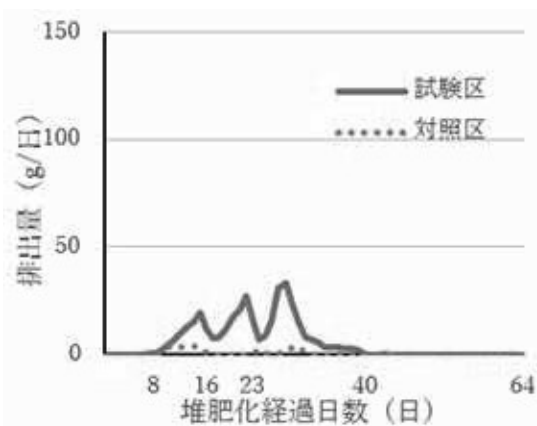


図 11 前期堆肥化試験の  $CH_4$  排出量の推移

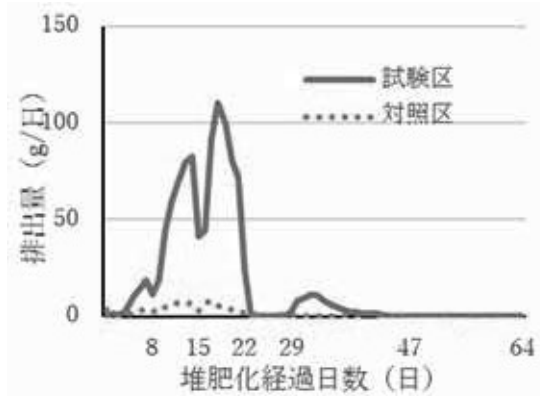


図 12 後期堆肥化試験の  $CH_4$  排出量の推移

堆肥化試験中に発生した GHG の総量 ( $CO_2$  換算値 kg) は図 13 に示すとおりである。なお、前期堆肥化試験では原料の全量を堆肥化できなかったため、堆肥単位重量当たりの GHG 排出量を算出し、搬出した全量から排出した数値に補正をした。また、 $N_2O$  及び  $CH_4$  の地球温暖化係数は IPCC の第 4 次評価報告書に習い、298、25 とした。これはたとえば  $N_2O$  を 1kg 排出することは  $CO_2$  を 298kg 排出したことに相当することを示す。試験区の総排出量は 339kg、対照区は 712kg であった。 $N_2O$  排出削減は顕著であり、肥育前期試験では 64%、肥育後期試験では 25% の削減が確認された。一方、 $CH_4$  の排出量は試験区の方が多く、肥育前期試験では対照区の約 9.6 倍、肥育後期試験では約 11.2 倍の排出量となった。

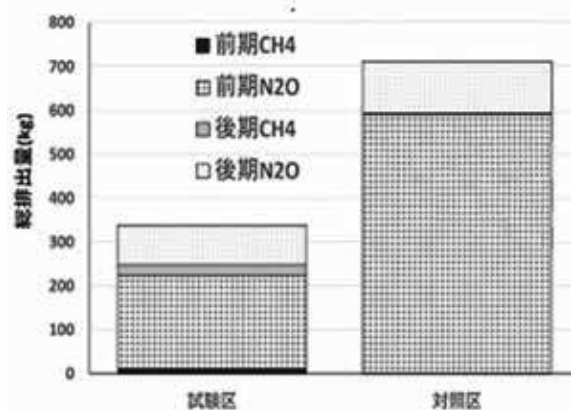


図 13 堆肥化期間中(64日間)に排出された GHG 量( $CO_2$  換算値 kg)

## 試験Ⅰ、Ⅱのまとめ

本試験は、ホルスタイン種去勢牛に給与する CP を低減させることで、排出される窒素を低減させ、堆肥化過程で発生する主要な GHG である  $N_2O$  排出削減を狙ったものである。肥育試験では両区間に有意な差は認められず、前・後期堆肥化試験からは  $N_2O$  排出の大幅削減が可能であると示唆されたが、前期堆肥化試験の  $N_2O$  排出の大幅削減によるところが非常に大きい。

また、肥育前・後期ともに対照区と比較して低 CP である試験区の堆肥化試験原料中の窒素含量が多かった。本試験の考察するためには窒素循環（無機態窒素の反応）を理解する必要があるため、図 14 に無機態窒素の反応概要図を示す。  $NH_3$  が硝化され、  $NO_2$ 、  $NO_3$

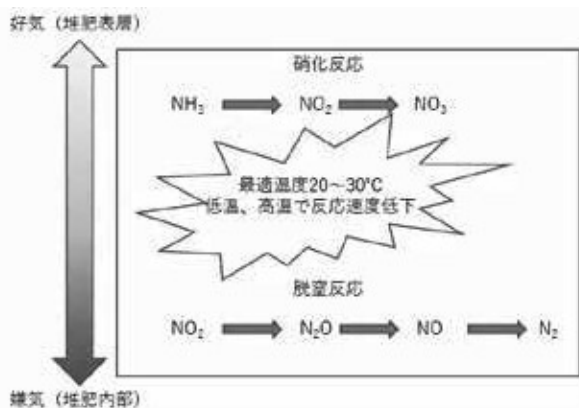


図 14 無機態窒素の反応概要図

となる硝化反応は好気的条件下で促進される反応である。一方、嫌気的条件下で促進されるのは脱窒反応である。この反応は  $NO_2$  及び  $NO_3$  が嫌気的条件下で  $N_2O$ 、  $NO$  を経て  $N_2$  となり放出される反応である。脱窒反応の中間生成物に  $N_2O$  があり、脱窒反応が速やかに生じないと、  $N_2O$  の排出が促進される。硝化反応及び脱窒反応は 20~30°C の温度が最も反応が進みやすく、15°C を下回ると反応が低下するといわれている。本試験では冬季に実施した前期堆肥化試験では、低温のため堆肥表層部で硝化反応が進まず、堆肥中に  $NO_2$  の蓄積が進んだ。その堆肥を切り返すことで亜硝酸イオンが堆肥内部の嫌気的な箇所へ移動し、冬季の低温もあり、堆肥内部の嫌気箇所でも緩やかに生じた脱窒反応の影響で  $N_2O$  の排出量は夏季よりも多くなったと考えられる。小型堆肥化試験では、堆肥中の亜硝酸態窒素と  $N_2O$  排出量に高い正の相関があることが確認されている (Fukumoto et al, 2006<sup>3)</sup>)。堆肥舎での調査である本試験では、前期堆肥化試験の結果からは同様の傾向がみられた。また夏季に実施した後期堆肥化試験

では、堆肥化初期に  $NO_2$  の蓄積が堆肥化中盤には解消し、それに伴い  $N_2O$  発生量が低くなったと考えられる。一方、肥育牛舎での調査では、冬季よりも夏季に大量の  $N_2O$  が測定されたとの報告 (長田ら, 2004<sup>4)</sup>) がある。その中では、牛舎内で堆積した家畜ふん尿が微生物による分解を受け、牛舎内で  $N_2O$  を放出したと考察している。夏季に実施した後期堆肥化試験でも牛舎内で堆肥化が始まったため、  $N_2O$  の発生量が前期堆肥化試験よりも少なくなったと考えられる。

$CH_4$  については、前・後期堆肥化試験とも堆肥中含水率が高かった試験区の方が大量に排出された。  $CH_4$  は家畜ふん尿が嫌気状態で分解された際に発生するといわれている (畜産技術協会, 2000<sup>5)</sup>)。

本試験では前期、後期とも牛床当たりの堆肥搬出量が試験区の方が高くなった。これは試験区は対照区に比べて飼料摂取量が多く、ふん尿の総排出量が多かったことを示唆している。本試験と同様の設計の配合飼料を用いた試験では (Kamiya et al, 2020<sup>6)</sup>)、低 CP 配合飼料の給与で肥育後期の窒素排泄量が 10% 低減することを確認したが、ふん尿の総排泄量全体の増加は確認されなかった。本試験は各区 1 マスに 4 頭を供試し、10 日以上ふん尿収集期間を設けたことで、牛床当たりのふん尿排出量に差が生じたことが考えられる。なお、過去には肥育牛のふん尿堆肥化過程で発生する GHG 削減技術として、堆肥水分の調整により、  $N_2O$  及び  $CH_4$  の削減を行った報告 (白石ら, 2004<sup>7)</sup>) もあり、それらの知見を応用すればさらに削減は可能であると考えられる。また試験区の方が堆肥化開始時の窒素含量が多く、窒素を多く含む肉牛ふん尿を堆肥化した際に窒素由来の  $N_2O$  排出の大幅削減が確認されるという結果になったが、堆肥化開始時の  $NH_3$  含量を確認すると、前期堆肥化試験では約 30%、後期堆肥化試験では約 40%、試験区の含量が低い結果となり、堆肥化開始時の  $NH_3$  の含量が低かったため、  $N_2O$  の排出抑制がなされたと推察される。

## 試験Ⅲ 現地実証試験

### 材料及び方法

栃木県内のホルスタイン種去勢牛肥育農場 (以下「現地農場」という。) で、約 370 日齢のホルスタイン種去勢牛 36 頭を 2 群に分け、CP 含量を下げ、リジンとメチオニンを添加することでアミノ酸バランスを整えた飼料 (アミノ酸バランス改善飼料) (試験区: 18 頭) と慣行配合飼料 (対照区: 18 頭) を 2020 年 9 月から 2021 年 4 月まで給与する肥育試験を実施した。供試牛は 2021 年 3~4 月に出荷した。

給与配合飼料の CP 含量（現物）は表 5 に示すとおり、試験区が 10.5%、対照区が 12.0%で、給与メニューは表 6 のとおりとした。

供試牛の体重は現地農場に設置してある牛衡計で測定した。

表5 現地試験における配合飼料の成分表（現物%）

区分	配合飼料成分	
	CP	TDN
試験区	10.5	75
対照区	12.0	75

表6 現地試験における給与メニュー（kg/日）

区分	配合飼料	稲わら
試験区	10.5	2.0
対照区	10.5	2.0

## 結果及び考察

試験開始時の日齢及び体重の推移は表 7 に示すとおりで、両区間に有意な差は認められなかった。

表7 現上試験開始時の日齢及び体重の推移

区分	供試頭数 (頭)	平均日齢 (日)	平均体重 (kg)			出荷時
			開始時	2ヶ月後	4ヶ月後	
試験区	18	374.4	529.7	606.4	693.3	782.5
対照区	18	371.2	529.4	610.6	705.3	776.1

供試牛の枝肉格付け成績は表 8 に示すとおりで、両区間に有意な差は認められなかった。

表8 枝肉格付け成績

区分	枝肉重量	背長背幅積	ばらの厚さ	皮下脂肪の厚さ	歩留率(%)	EWS
	kg	cm <sup>2</sup>	mm	mm	%	
試験区	426.6	40.8	5.2	1.8	69.2	2.0
対照区	433.6	40.8	5.2	2.1	68.9	2.1

このことにより、10.5%と当センターでの試験よりも低い CP 含量である飼料の給与であっても、アミノ酸バランスを整えた飼料を給与することで、増体や肉質に影響しないことを確認した。

なお、本成果は、農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究「農業分野における気候変動緩和技術の開発」における「畜産分野における気候変動緩和技術の開発」によるものである。

## 参考文献

- 1) 農林水産省：農林水産分野における地球温暖化対策（令和 2 年度）  
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/attach/pdf/index-29.pdf>
- 2) 農研機構：養豚におけるアミノ酸バランス 改善飼料の設計と給与効果  
[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/SOP19-008K20200331.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/SOP19-008K20200331.pdf)
- 3) Fukumoto et al : Reduction of Nitrous Oxide Emission from Pig Manure Composting by Addition of Nitrite-Oxidizing Bacteria, Environ. Sci. Technol. 40(21): 6787-91 (2006)
- 4) 長田隆ら：畜舎内のアンモニア、メタンおよび亜酸化窒素の濃度 におい・かおり環境学会誌 35 巻 1 号, 1~7 (2004)
- 5) 社団法人畜産技術協会編（2000）：畜産における温室効果ガスの発生抑制第五集, 63-81
- 6) Kamiya et al : Influence of dietary crude protein content on fattening performance and nitrogen excretion of Holstein steers, Animal Science Journal/Volume91, Issue1 (2020)
- 7) 白石誠ら：亜酸化窒素・メタンの発生抑制方法の検討 —肥育牛ふんの堆肥化過程から発生するアンモニア・亜酸化窒素・メタン濃度— 岡山総畜セ研報 15 : 70 ~75, (2004)