

中国の畜産分野の温暖化対策

—進化するGHG排出削減策—

理事研究員 阮 蔚 (Ruan Wei)

〔要 旨〕

2015年以降、中国がパリ協定に基づく温暖化対策に積極関与する姿勢に転じ、温室効果ガス（GHG）の主要排出源の一つである農業は根本的な対応を求められることになった。畜産分野でも消化管内発酵、排せつ物の管理によるGHGの削減が課題となっている。食料の高い自給率を固守する中国は、GHG排出削減は、畜産生産効率の向上と環境対策とともに取り組んでいる。中国の畜産構造では牛に比べ、GHG排出の少ない豚が主力のため、世界的に見て食肉生産量に比してGHG排出は少ないが、さらに品種改良や飼料へのアミノ酸添加など改善を続けている。家畜排せつ物の処理も、低コストだが効率的な消化槽や堆肥技術の導入でGHG排出や地下水汚染など環境負荷の低減と高品質肥料の生成を同時達成して、さらに肥料の農地還元を進めている。

目 次

はじめに

- 1 中国の農業分野の温室効果ガス排出状況
 - (1) 温室効果ガス排出状況と農業
 - (2) 世界から見た中国農業分野のGHG排出状況
 - (3) 畜産分野の排出状況
- 2 畜産生産効率の向上によるGHG削減
 - (1) 品種改良
 - (2) 低たんぱく質飼料

(3) 「牧原」の低たんぱく質飼料

- 3 家畜排せつ物処理のGHG排出低減対策
 - (1) 家畜排せつ物の資源化利用目標
 - (2) メタンガス化によるGHG排出削減
 - (3) 効果的で低コストの堆肥化
 - (4) 「完全密封ラグーン型」の家畜汚水処理
 - (5) 水を使わない家畜排せつ物の分別収集

むすび

はじめに

2015年の気候変動枠組み条約第3回締約国会議（COP21）で決議された「パリ協定」は97年の「京都議定書」とは異なり、中国を含む途上国にも温暖化ガスの削減努力を課した。中国はそれ以降、消極的な姿勢から地球温暖化に積極的に関わる対応に転じた。その象徴が、20年9月の国連総会で習近平主席が表明した「2030年までに二酸化炭素（CO₂）排出量をピークアウトさせ、2060年までにカーボンニュートラルを達成する」という野心的な目標である。さらに中国は21年に「2030年のカーボンピークアウトに向けた行程表」を示し、農業分野にも温室効果ガス削減が求められるようになった。本稿は、農林金融2024年4月号「中国農林分野の温室効果ガス削減と環境対策」に続く形で、畜産分野における温室効果ガス排出の状況を概観し、中国が取りつつある削減対策の内容と効果を考察する。

1 中国の農業分野の温室効果ガス排出状況

(1) 温室効果ガス排出状況と農業

中国は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）に従い、23年までに、「国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の温室効果ガス（GHG）インベントリーガイドライン（IPCCガイドライン）に基づいてGHG排出・吸収量や気候変動対策・施策の

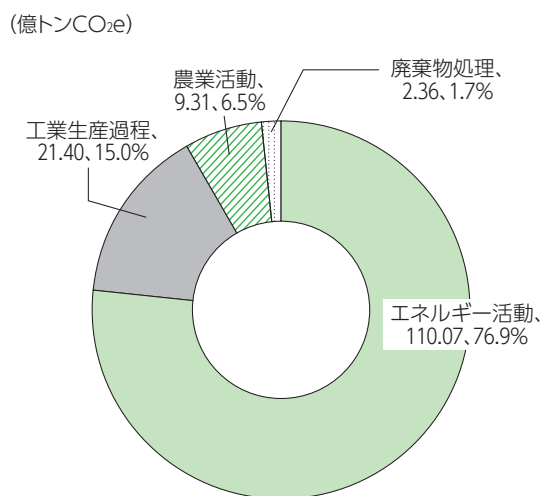
実施状況を含む気候変動国別報告書を4回提出し、それぞれ04年、05年、10年、17年のデータを公開した。

また、15年のパリ協定の関連規定に基づき、24年12月に「中国気候変動第四次隔年報告書」を提出し、20年のデータを公開した。パリ協定に基づき、従来の隔年報告書はこの第四次隔年報告書が最後となり、24年からは新たに先進国・途上国の区分をなくし、すべての締結国が2年ごとに進捗状況をまとめた「隔年透明性報告書（Biennial Transparency Report：BTR）」を提出することとなった。初回の提出期限は24年12月末とされ、中国は24年12月に「第1回隔年透明性報告書」を提出した。この1回目の隔年透明性報告書は05、20と21年のデータを公開しているが、新しい基準で05年のデータを見直した。

中国の第1回隔年透明性報告書によると、21年にCO₂換算で中国は143.14億トンのGHG（LULUCF（土地利用・土地利用変化と林業）を含まない）を排出し、そのうち、エネルギー分野が76.9%と最大、次は工業分野の15.0%、3位が農業分野の6.5%、4位は廃棄物処理の1.7%となっている（第1図）。農業分野の割合は05年の10.3%から21年までに3.8ポイントも低下したが、これは主としてエネルギー活動が急速に拡大したためであり、農業分野の実際の排出量はCO₂換算で05年の8.59億トンから21年の9.31億トンまで8.5%拡大した（第1表）。

中国が報告している農業分野のGHGインベントリーは、消化管内発酵（CH₄）、家

第1図 中国の温室効果ガス排出量の内訳 (CO₂e, 2021年)



資料 第1表に同じ

畜排せつ物の管理 (CH₄+N₂O)、稲作 (CH₄)、農用地の土壌 (N₂O)、農産物残渣の野焼き (CH₄+N₂O) の5類となる (第2表)。ここから分かるように、中国の農業分野の排出は作物・畜産物の農場内でのメタ

第2表 中国農業分野の温室効果ガス排出量

| 農業分野 | (単位 億トンCO ₂ e) | | |
|------------|---------------------------|------|------|
| | 2005 | 2020 | 2021 |
| 農業分野 | 8.59 | 9.15 | 9.31 |
| ①消化管内発酵 | 3.14 | 3.15 | 3.22 |
| ②家畜排せつ物の管理 | 1.39 | 1.55 | 1.65 |
| ③稲作 | 1.66 | 2.48 | 2.48 |
| ④農用地の土壌 | 2.08 | 1.91 | 1.90 |
| ⑤農産物残渣の野焼き | | 0.06 | 0.05 |
| 割合% | | | |
| ①消化管内発酵 | 36.5 | 34.4 | 34.6 |
| ②家畜排せつ物の管理 | 16.2 | 17.0 | 17.7 |
| ③稲作 | 19.4 | 27.1 | 26.6 |
| ④農用地の土壌 | 24.3 | 20.9 | 20.4 |
| ⑤農産物残渣の野焼き | | 0.7 | 0.6 |

資料 第1表に同じ
 (注) 100年間単位の地球温暖化係数(GWP)として、IPCC第5次評価報告書に基づき、メタン(CH₄)は28、一酸素二窒素(N₂O)は265となる。

ン (CH₄) と一酸化二窒素 (N₂O) の2種類ガスの排出のみをカウントしており、温室やトラクター、農機など農業活動のエネルギー使用、化学肥料など農業生産資材の製造過程のエネルギー使用、有機土壌からのCO₂排出量などは含まれていない。これは、FAOの農業分野排出量 (Farm gate) の定義と異なる点である。

消化管内発酵と家畜排せつ物の管理は農業分野中の畜産部分となるが、この畜産部分のGHG排出量は21年に農業分野の52.4%と半分以上占めており、そのうち消化管内発酵は34.6%、家畜排せつ物の管理は17.7%となっている (第2図)。

第1表 中国の温室効果ガス排出量 (CO₂e)

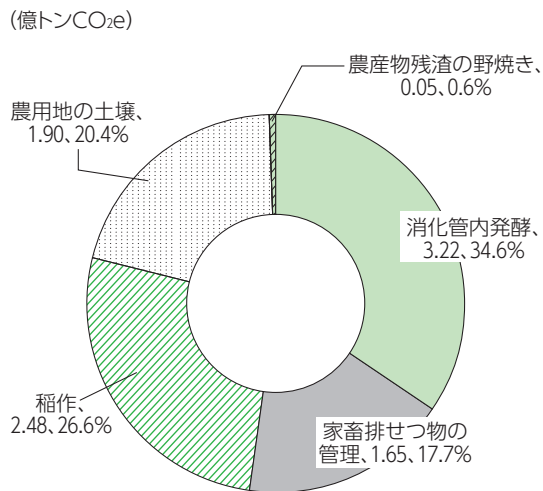
| | (単位 億トンCO ₂ e) | | |
|----------------------------|---------------------------|--------|--------|
| | 2005 | 2020 | 2021 |
| 総量 (LULUCF含まない) | 83.55 | 137.66 | 143.14 |
| エネルギー活動 | 64.75 | 105.60 | 110.07 |
| 工業生産過程 | 9.06 | 20.49 | 21.40 |
| 農業活動 | 8.59 | 9.15 | 9.31 |
| 土地利用、土地利用変化と林業 (LULUCF) | △7.11 | △13.03 | △13.15 |
| 廃棄物処理 | 1.16 | 2.42 | 2.36 |
| 総量 (LULUCF含む) | 76.44 | 124.63 | 129.99 |
| 総量 (LULUCF含まない) に占める割合 (%) | | | |
| エネルギー活動 | 77.5 | 76.7 | 76.9 |
| 工業生産過程 | 10.8 | 14.9 | 15.0 |
| 農業活動 | 10.3 | 6.6 | 6.5 |
| 土地利用、土地利用変化と林業 | △8.5 | △9.5 | △9.2 |
| 廃棄物処理 | 1.4 | 1.8 | 1.7 |

資料 2024年「中国気候変動隔年透明性報告書」第1回
 (注) 1 100年間単位の地球温暖化係数(GWP)として、IPCC第5次評価報告書に基づき、メタン(CH₄)は28、一酸素二窒素(N₂O)は265となる。
 2 LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forest)

(2) 世界から見た中国農業分野のGHG排出状況

FAOの農業分野のエネルギー使用分などを含むFarm gate（上記）のデータを使って中国畜産業のGHG排出状況を国際比較してみると、21年に世界の農業分野GHG排出総量に占める中国の比率は11.8%とインドの12.2%に次いで世界2位の排出国である。

第2図 中国農業分野の温室効果ガス排出量の内訳(CO₂e, 2021年)



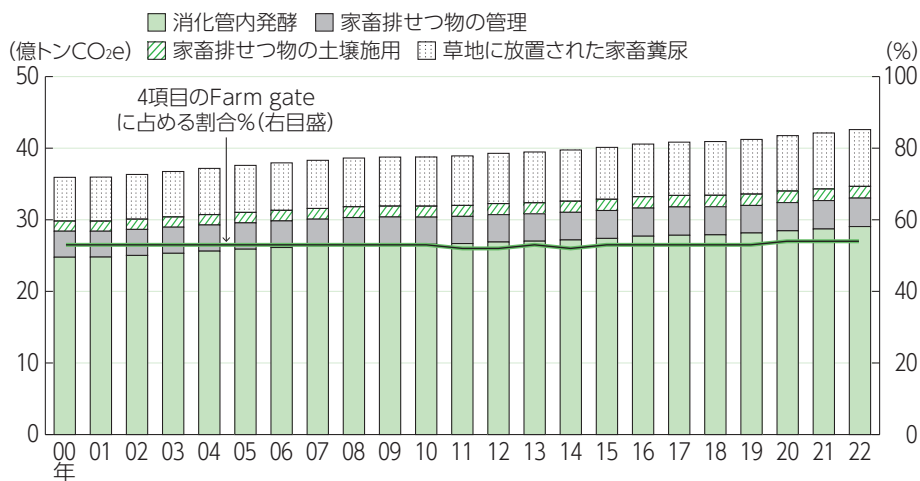
資料 第1表に同じ

る。中国もインドもそれぞれ世界人口の約18%を占め、しかも穀物や食肉など食料品の自給率がともに高いことから、両国の農業分野のGHG排出は人が生きるために最低限の「生存排出」と言っている。

Farm gateのうち、消化管内発酵、家畜排せつ物の管理、家畜排せつ物の土壌施用、草地に放置された家畜糞尿という4項目は畜産分野の排出である。21年にこれら4項目合計の農業分野排出総量に占める比率は世界全体が53.8%と過半であるのに対し、中国は35.9%と低い（第3、4図）。上記の中国の報告（52.4%）との相違は主にFAOデータがエネルギー使用を含んでいることによる。

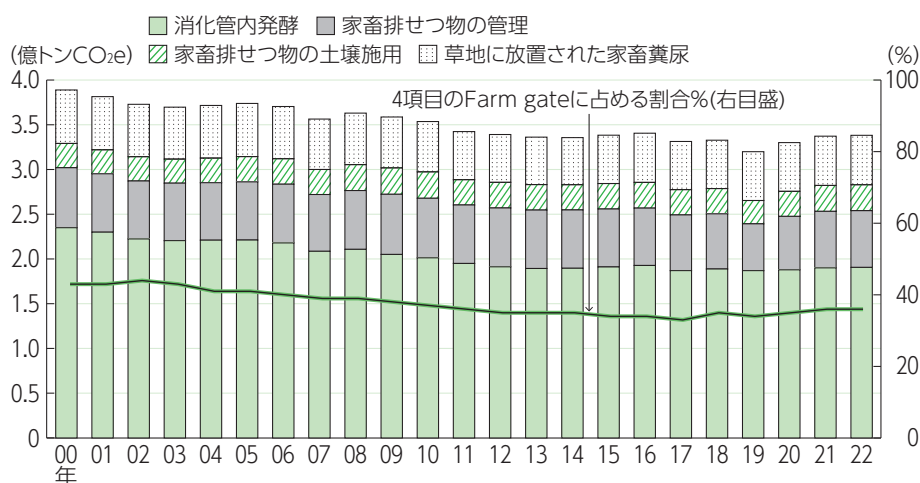
中国の畜産分野の排出が比較的に少ないのは、中国の畜産業の軸である豚肉生産のGHG排出は、米欧などの畜産業の主力の牛肉生産に比べ、大幅に低いからである。牛肉生産のGHG排出量（食肉1kgあたり）は豚肉の約4～6倍も高い（FAO2013）。中

第3図 世界の畜産分野の温室効果ガス排出量とその割合



資料 FAOSTAT

第4図 中国の家畜分野の温室効果ガス排出量とその割合



資料 第3図に同じ

国は21年に世界の25.6%の食肉を生産したが、飼育している牛の頭数は世界の4.5%に過ぎず、その代わりに豚の飼育頭数は世界の45.8%にも達している。中国は牛肉及び乳製品の消費が比較的少ないがゆえに、畜産の環境負荷が低いのである。中国政府はGHG排出削減のために、牛肉消費のさらなる低減とGHG排出量の少ない鶏肉や植物たんぱく質の消費拡大を呼びかけている。

(3) 畜産分野の排出状況

中国が報告している畜産分野のGHG排出は消化管内発酵と排せつ物管理の2項目であり、21年に消化管内発酵のCH₄排出は農業分野の34.6%を占める最大の項目となり、排せつ物管理は17.7%である。ガス種別で見ると、CO₂換算で21年にCH₄は73.0%、N₂Oは23.0%となり圧倒的にCH₄の比率が高い(第3表)。CH₄のうち、消化管内発酵は21年に62.9%と半分以上を占め、排せつ物の管理は15.4%となる。N₂Oのうち、排せ

第3表 中国農業分野の温室効果ガス排出量

| | (単位 億トンCO ₂ e) | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | 2005 | 2020 | 2021 |
| 農業分野CH₄計 | 5.98 | 6.64 | 6.80 |
| ①消化管内発酵 | 3.14 | 3.15 | 3.22 |
| ②家畜排せつ物の管理 | 0.67 | 0.97 | 1.05 |
| ③稲作 | 1.66 | 2.48 | 2.48 |
| ④農産物残渣の野焼き | | 0.05 | |
| 農業分野N₂O計 | 2.60 | 2.51 | 2.51 |
| ①農用地の土壌 | 2.08 | 1.91 | 1.90 |
| ②家畜排せつ物の管理 | 0.72 | 0.59 | 0.60 |
| ③農産物残渣の野焼き | | 0.01 | |

資料 第1表に同じ

つ物の管理は23.9%を占める。家畜別で消化管内発酵のCH₄排出量をみると21年に、牛は63.5%と豚の5.9%を大幅に上回り(第4表)、一方排せつ物管理のGHG(CH₄+N₂O)排出は豚が55.6%と牛の20.8%より大幅に高い(第5図)。

また、家畜分野では21年に消化管内発酵と家畜排せつ物管理の排出量は20年に比べてそれぞれ2.4%と8.8%上昇した(第3表)が、これは同時期に牛、羊、豚はそれぞれ2.7%、7.7%と10.7%増えたためである。

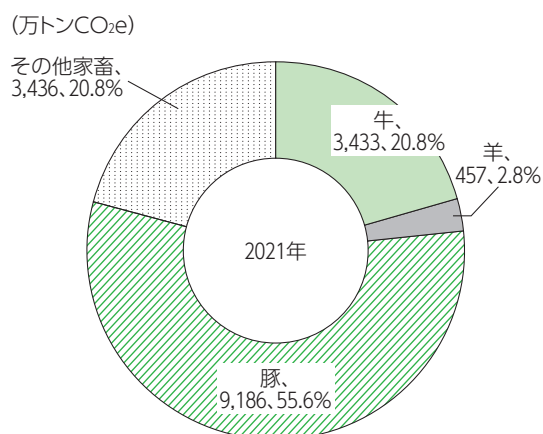
第4表 家畜別の消化管内発酵のCH₄排出量

(単位 万トンCO₂e)

| | 2005 | 2020 | 2021 |
|--------------|----------|----------|----------|
| 3.A 家畜消化管内発酵 | 31,370.5 | 31,478.4 | 32,249.3 |
| 3.A1牛 | 21,929.4 | 20,140.1 | 20,483.0 |
| 3.A2羊 | 3,644.2 | 5,668.3 | 6,033.7 |
| 3.A3豚 | 1,212.9 | 1,707.4 | 1,886.7 |
| 3.A4その他家畜 | 4,584.0 | 3,962.6 | 3,845.8 |
| 割合% | | | |
| 3.A 家畜消化管内発酵 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 3.A1牛 | 69.9 | 64.0 | 63.5 |
| 3.A2羊 | 11.6 | 18.0 | 18.7 |
| 3.A3豚 | 3.9 | 5.4 | 5.9 |
| 3.A4その他家畜 | 14.6 | 12.6 | 11.9 |

資料 第1表と同じ

第5図 中国の家畜別の排せつ物管理の温室効果ガス排出量(CH₄+N₂O)



資料 第1表と同じ

中国の畜産分野のGHG削減は畜産物の供給維持との両立が必要になるため、畜産生産効率の向上と環境対策の2つの目標を掲げ、推進されている。以下では主な生産効率向上の対策と環境対策を紹介する。

2 畜産生産効率の向上によるGHG削減

(1) 品種改良

より少ない飼料でより多くの畜産物(肉、卵、牛乳など)を生産することは、飼料要求率(1kgの体重を増やすのに必要な飼料の量)の向上を意味するが、その飼料要求率の向上は、生産コスト削減になるだけではなく、結局、GHGの発生量抑制など環境負荷の低減につながる。

中国は世界食肉生産量の約1/4を占める最大の食肉生産国だが、畜産の生産効率が低く競争力が弱い。例えば、20年に母豚1頭当たりの年間肥育豚の出荷頭数はデンマークなどの先進国に比べて約3割低く、乳牛の年間搾乳量は世界先進的水準の8割にとどまっている。養豚業だけで見ると、もし品種改良を含む中国の養豚水準が世界先進水準に達することができたら、年間3,150万トンの飼料の節約となり、飼料栽培面積や化学肥料などの削減につながる(農業農村部(2021b))。それは当然、GHGなど環境負荷の低減につながる。

畜産の生産効率を引き上げるために中国は09年の「生豚遺伝的改良計画2009-2020年」を皮切りに家畜の品種改良に動き出した。豚肉を例にすると、90年代以降、需要は脂身から赤身へと急速に転換しているが、中国固有種の豚のほとんどは脂身が多く、しかも成長速度が遅い。一方、世界の大半の国で飼育されているのは主としてラ

ンドレース、大ヨークシャー、デュロックという3品種で、いずれも赤身が多く、成長が早く、飼料転換率が高いという特徴がある。そこで中国は90年代からイギリスやオランダ、デンマーク、アメリカ、カナダなどからこの3品種の母豚と種豚を大量に輸入し、90年代末には中国の養豚品種はほとんどこの3品種に切り替わった。この3品種を本国の市場需要に対応して、選別など改良で国産化するのには世界の一般的な手法である。中国は欧米や日本に比べて約半世紀も遅れて、09年からようやく品種改良をスタートした。

09～20年の12年間の品種改良によって、デュロック、大ヨークシャー、ランドレースの100kg体重までの肥育日数はそれぞれ9日間、6.7日間と5日間短縮できた。そして、21年に新たな「全国家畜遺伝的改良計画（2021-2035年）」が発表され、豚、乳牛、肉牛、羊、採卵鶏、ブロイラーの改良目標が示された。例えば、赤身型豚の遺伝的改良に関して、35年までの目標は、体重30～120kgの肥育期間における体重増加率は年間平均1%上昇し、120kgまでの肥育日数は160日以下へ短縮する。母豚の年間総産子数を年間平均0.2頭増加させ、母豚の年間離乳子豚数は32頭、30～120kgの肥育豚の飼料要求率を2.45kgに下げる、といった野心的なものである。結果として、生産効率の向上を通じてGHGの排出は低減する。

(2) 低たんぱく質飼料

生産効率向上のほかに現段階では配合飼

料の大豆粕等粗たんぱく質飼料（CP）の比率を引き下げることでも家畜のGHG排出量の低下につながる。家畜排せつ物中の窒素排せつ量を減らすと、排せつ物の処理や貯留、利用の全過程において、温室効果係数の高いN₂Oの発生量を減らせることは世界の多くの研究結果が示している。欧州や米国などは80年代から、家畜の飼養成績に影響することなくその排せつ物中の窒素排せつ量の低減技術である「アミノ酸添加低たんぱく質飼料」（低たんぱく質飼料）を開発してきた。

家畜の飼料は主としてトウモロコシなどからのエネルギーと大豆粕などからのたんぱく質からなる。たんぱく質は、アミノ酸から構成される窒素化合物である。木桶の水は桶に使われた板のうち最も低いもの高さまでしか溜まらないという「桶の理論」のように、動物体内でのアミノ酸の吸収は、必要とするアミノ酸のうち、ひとつが不足すると、そのレベルまでしか吸収できず、ほかのアミノ酸は無駄となり、窒素化合物として体外に排せつされてしまう。排せつされたこの窒素化合物はN₂Oの発生源となってしまふ。窒素化合物の排せつ量を減らせる低たんぱく質飼料とは、大豆粕など粗たんぱく質の含有量を低く抑え、不足するアミノ酸を飼料に補うことで、アミノ酸バランスが整い、動物体内でのアミノ酸利用効率が改善される。

中国では今世紀に入ってから、大豆粕等粗たんぱく質とアミノ酸配合のバランスと豚の育成や免疫力、肉質、窒素排出量など

に関して多くの研究が行われてきた。例えば、肥育豚の飼育段階で、粗たんぱく質飼料の添加率を16.58%から12.53%に引き下げ、それに応じて必須アミノ酸添加した結果、飼育成績や肉質などには影響を及ぼさない（李寧（2018）、方桂友（2021））。肥育段階で大豆粕等粗飼料たんぱく水準を14%と15%に引き下げると排せつ物中の窒素量はそれぞれ17.0%と14.6%減少した（呉東（2010））。

日本でも多くの研究が行われた。農研機構が肥育豚に対して行った飼育実験では、慣行飼料（たんぱく質含量17.1%、アミノ酸無添加）に対し、アミノ酸添加低たんぱく質飼料（たんぱく質含有量14.5%、リジン、メチオニン、トレオニン、トリプトファンを計0.35%添加）を給与することで飼育成績に影響することなく肥育豚の総窒素排せつ量が29%低減、排せつ物の処理過程における温室効果ガスの排出量が39%低減された（注1）。

中国で低たんぱく質飼料の実用的拡大は16年「飼料工業第十三次五か年発展計画」が公表されて以降である。特に18年の米中貿易摩擦で対米大豆輸入減少による大豆粕の供給減と国内価格高騰は飼料中の大豆粕配合率を押し下げた。その年に中国飼料工業協会は「子豚・肥育豚配合飼料」および「卵用鶏・肉用鶏配合飼料」について、例えば、必須アミノ酸の添加を前提に、飼料の大豆粕等粗たんぱく質の配合比率を子豚（10～25kg）の場合に15～18%、肥育豚（50～75kg）の場合に13～15%に引き下げるな

ど、推奨基準を公表して養豚生産者からの意見を募集した。

農業農村部は21年の「飼料中のトウモロコシと大豆粕の削減代替作業方案」に続いて、23年に「飼料用大豆粕の削減代替三年行動方案」を公表し、飼料中の大豆粕配合比率を毎年0.5ポイント引き下げ、25年までに22年の14.5%から13.0%に引き下げる目標を出した。それに向けて、23年に豚や牛、羊、家禽などのアミノ酸添加低たんぱく質飼料の新たな配合技術を公布した。

アミノ酸添加低たんぱく質飼料の使用は飼料効率の向上も意味している。22年の14.5%大豆粕配合比率は前年比0.8ポイント低下し、これは410万トンの大豆飼料の需要を減らすことになった（注2）。25年の「畜産業の飼料原料節約行動に関する意見」の中では、30年まで標準的な大規模飼育での単位畜産品の平均飼料消費量（飼料要求率）を23年より7%引き上げる目標が設定され、同時に低たんぱく質アミノ酸バランス飼料の使用が継続されたら、2,000万トンの大豆粕の節約が理論上可能となり、生産コストの引下げにつながる（注3）。

低たんぱく質飼料のほかに、乳牛肉牛および羊の飼育において、青狩りトウモロコシや牧草などをサイレージ化して給餌することはゲップとしてのメタンガス発生量を減らせるとともに、泌乳量の増加や増体率の上昇など飼料効率の向上も多くの研究で示されているため、その拡大を図っている。

（注1）荻野暁史（2016）GHG排出が39%（CO₂等量/日）低減されたこの排せつ物の処理方法は、

ふんの80%を強制通気型堆肥化、尿と残りのふん20%を活性汚泥法による浄化处理である。

(注2) 農業農村部 (2023a)

(注3) 農業農村部 (2025b)

(3) 「牧原」の低たんぱく質飼料

中国でアミノ酸添加低たんぱく質飼料を模索してきた先駆者的な存在は、24年に7,160万頭の生豚を出荷した養豚最大手の牧原食品（牧原）である。牧原は創業早々の93年からリジンとメチオニンの配合を研究し、その後00年から肥育豚に試験給餌し、03年から社内の養豚で広げるようにした。それと同時に、00年からスレオニン、02年からトリプトファン、16年からバリン、19年からイソロイシン、22年からフェニルアラニンを模索しながら導入してきた（『中国畜牧業』誌（2022）、牧原食品（2021））。イソロイシンやバリンなどは中国での生産量が少なく高価なアミノ酸であるが、牧原は大学、製造企業と連携してその生産拡大を図っている。

牧原の飼料中の大豆粕配合率は06年の14.9%から16年の10.0%、21年の6.9%と半分以下に低下してきた（『中国畜牧業』誌（2022））。2021年の大豆粕配合率は前年比2.9ポイント低下し、21年の飼料使用量を前提とすると108.2万トンの大豆粕の使用量削減となり、これは6.1万トンの窒素排出量、11.1万トンのCO₂eの削減に相当する（中国農業科学院（2024））。21年に牧原は低大豆粕添加のアミノ酸バランス飼料の技術を社会に公開し、その普及を促した。

3 家畜排せつ物処理のGHG排出低減対策

(1) 家畜排せつ物の資源化利用目標

上述した畜産の生産効率向上、アミノ酸添加低たんぱく質飼料の普及とともに、家畜排せつ物の処理方法の改善を通してGHG排出の削減を求めている。ただ、排せつ物処理のGHG削減は環境汚染対策とともに進められている面が大きい。

中国の畜産業は近年、大規模化と集約化が急速に進んでいる。養豚を例にみると、年間出荷50頭未満の零細養豚農家の数が03年の1億678万戸から21年の1,879万戸へと激減した。その代わり大規模化の急速な拡大で23年にトップ20社の大手養豚企業の出荷数は2億頭弱と全国出荷数の27.3%を占めるようになった。ただ、大規模化と集約化によって、排せつ物の処理が追いつかなくなり、深刻な環境汚染を起し、その対策を迫られた。

14年に中国初の「畜産業の汚染防止条例」が施行され、環境汚染を起ささない家畜排せつ物の综合利用と無害化处理が求められた。15年に「農業の持続的発展計画2015-2030」が公表され、家畜排せつ物の综合利用率は20年に75%、30年に農業分野の廃棄物からの温室効果ガスのゼロエミッションを基本的実現するという目標が出された。17年に「畜産排せつ物の資源化利用行動計画2017-2020」が公布され、家畜排せつ物の20年75%の综合利用、いわば資源化利用率

を求めた。

さらに、20年に国務院が「畜産業高品質発展の促進に関する意見」を公表し、自給率が豚肉約95%、牛肉羊肉が約85%を維持する前提の下で、畜産生産者の規模拡大とともに、その排せつ物の総合利用率は25年に80%以上、30年に85%以上という目標を明示し、その達成に向けての具体策も示された。主な対策は、排せつ物の肥料化とエネルギー化利用の強化である。肥料化は耕畜連携という循環型農業の強化を意味し、エネルギー化は主としてバイオガス化システムの構築である。

(2) メタンガス化によるGHG排出削減

畜産業の大規模化が進むにつれて、特定地域に酪農場、養豚場、養鶏場などが集積する現象も発生している。こうした畜産業集中地域では家畜排せつ物の発生量が周辺農地の養分吸収能力を超えてしまうケースが増えている。その解決策の一つとして、15年以降、家畜の排せつ物を主な発酵原料にする近代的な大型メタンガスプラントの建設が政策的に進められている。

嫌気性環境のメタンガスプラントのなかで、家畜の排せつ物は嫌気性微生物の働きによって分解され、メタンガスや二酸化炭素を含むバイオガスが生成され、燃料や発電の原料として利用される。こうしたバイオガスは再生可能エネルギーと認定されており、化石燃料を代替し、GHGの削減にカウントされる。また、メタンガス発酵後の残渣残液は肥料として農地に還元され、化

学肥料を代替できる。

こうした大型メタンガスプラントはメタンガスと高品質肥料を効率的に同時に生成でき、耐久性がある。しかし、コンクリート製タンクや金属製の密閉型消化槽、温度管理や攪拌装置、及びメタンガスの利用措置などが揃う必要がある。初期投資も運営コストも大きい。設備投資への政府助成があるとはいえ、現実にはこうした投資が可能なのは畜産大手企業、及び畜産が盛んな地域での第三者投資による共通利用施設に偏りがちだ。

例えば、上述した中国養豚最大手の牧原は、22年のバイオガスの生産量と利用量は2,532万 m^3 に達しており、これは1,519万 m^3 の天然ガスに相当する。結果として2.5万トンの CO_2e の削減に相当する（中国農業科学院（2024）212頁）。

牧原は23年に新たに30のバイオガスプラントを建設した。23年のバイオガスの利用量は3,445万 m^3 になり、2,239万 m^3 の天然ガスの節約になり、183.8万トンの CO_2e 削減に相当する。23年に内郷市に作られた総合的なバイオガスプラントは養豚場のバイオガスをメタン含有量96%以上の生物天然ガスにして、周辺の飼料工場の燃料として利用され、年間385万 m^3 の生物天然ガスを作り、4,675トンの石炭を節約することになる。また、バイオガス発酵後の廃液を含む排せつ物発酵後の農地への還元という耕畜連携も進めている。23年に還元した農地は452.07万 μm^2 （30万ha）に達し、14.7万トンの化学肥料の使用削減と12.37万トンの CO_2e 削減に

相当し、土壌中の有機質が6.7%上昇し、土壌の炭素固定量は134.8万トンのCO₂eに相当する（牧原（2023b）42～44頁）。

(3) 効果的で低コストの堆肥化

家畜排せつ物は、昔から穀物など農産物を育てる肥料としてきたが、今日でも最も自然的な処理方法である。中国は畜産業の大規模化集約化が進んでいる状況の下で、こうした地域循環型農業、または耕畜連携システムを再構築しようとしている。

家畜の排せつ物を処理して肥料として農産物の生産に使うことは、化学肥料の低減、温室効果ガス削減につながる。それだけではなく、有機質の家畜ふん尿肥料を使うことは、土壌の有機物や微生物を増加させて土を豊かにし、炭素を土壌に固定することもでき、GHG発生抑制の効果もある。

肥料化処理はまず家畜排せつ物を分離してその固形部分（ふん）を堆肥化するのが現在、最も使われている処理方法である。堆肥化とは、生ふん中の作物に悪影響を与える物質を好気性の微生物の働きで分解・除去し、排せつ物のなかの有機栄養素を植物が吸収しやすい化合物に転換して、植物の生長を助け、地力を維持する。家畜排せつ物の堆肥化処理は、大きく「堆積発酵」と「強制発酵」に分けられる。

堆積発酵は自然発酵となり、数か月間という長い時間がかかり、また堆積された家畜排せつ物の内部に空気が入りにくい状態になりやすく、嫌気性細菌の働きによりメタンなどの温室効果ガスが発生する。こう

した堆積発酵は自動攪拌装置などの機械設備を導入して家畜排せつ物を強制的に空気に触れさせる「好気性強制発酵」にすることにより、嫌気性細菌などによる発酵を抑制することができ、CH₄やN₂OなどのGHGの発生を抑制でき、良質堆肥にもなる。こうした自動攪拌措置などの機械設備の導入は補助金付きで奨励されている。

この好気性強制発酵はさらに密閉縦型堆肥化装置を使って密封した状態の下で行うと、GHGの排出はさらに減らすことができ、発酵時間も短縮できる。問題は密閉縦型堆肥化装置は中国の多くの畜産生産者にとっては、初期投資及び運営コストが高い。そこで中国は近年、密閉縦型堆肥化装置より大幅に安い防水通気透湿を兼ね備えるシートの導入を奨励している。

シートのよく使う材質はフッ素樹脂（PTEE）多孔質化したフィルム（ePTFE）である。このフィルムを使って強制通気自動攪拌装置を導入した堆肥を全体的に被覆して、堆肥の温度を保ち発酵時間を短縮することができる。雨を通さずに防水機能が高い。同時に通気性が高く水蒸気を外へ逃せるが、アンモニアなどは外へ逃さない。この防水通気透湿シートを使った堆肥は「堆積堆肥」よりアンモニアの排出量は80%、GHG排出量は20%削減した調査結果がある（中国農業科学院（2023）83頁）。

(4) 「完全密封ラグーン型」の家畜污水处理

家畜排せつ物をふん尿分離後の液体ふん

尿を含む汚水は、ラグーン（酸化池）で処理するのが一般的である。従来のこの種のラグーンは開放型である。問題はこのラグーンは嫌気性状況下にあるため、汚水は嫌気的微生物により消化され、 CH_4 などを放出する。こうした開放型ラグーンに代わるものとして、近年、「完全密封ラグーン型」という簡易な消化槽の使用を進めている。

この消化槽は、地面にラグーンを掘った後、高密度ポリエチレン（HDPE）でラグーンを超大型の袋になるように全体を覆って建設されたものである。密封型のうえに太陽光を吸収しやすい黒いHDPEの使用で温度上昇速度と保温効果が良い。発酵速度を高めることにもなり、底部に攪拌機と残渣自動排出装置を取り付ける。

家畜場から排出された汚水はパイプなどにより消化槽に集められる。嫌気性条件下で発酵が始まると、消化槽内部はメタンなどのバイオガスで満たされ、大きく膨らむ。バイオガスはガスパイプによって回収され、発電やボイラーなどのエネルギー源・熱源として利用される。嫌気性条件下に発生する CH_4 などGHGを排出せずに、化石燃料も代替できる。発酵後に発生する残渣残液は肥料として活用される。一体的で完全密封で汚水の浸出を引き起こさないため、開放型ラグーンからの浸出水による土壤汚染や水質汚染ということも発生しない。

こうした「密封ラグーン型」消化槽は、建設コストが比較的到低く、運用・メンテナンスが容易で耐久性もある。また、発酵だけではなく、ガス貯留と汚水貯留も一体化

して可能となり、別の貯留施設を作る必要はない。

(5) 水を使わない家畜排せつ物の 分別収集

多くの実験調査では、生ふんの堆肥化と汚水の嫌気性発酵のいずれにおいても、初期の収集段階で水を極力使わずにふんと尿を分別して収集すると、その後の処理において CH_4 や N_2O などGHGの排出量を減らすことが示されている。この水を使わないふん尿分離方式は、汚水発生量の減少だけではなく、ふんの回収率も引き上げられ、これはラグーンという嫌気性環境に流れる汚水の中の有機物の量を低下させ、結果として CH_4 の排出を減らすことになる。また、堆肥の水分量が多いと堆肥内に空気が入りにくい状態になるため、結局、堆肥の水分量を減らすことでも CH_4 の発生が抑制される。

こうした水を使わない固液分離方法は、水洗などふん尿と水を混合する水浸方式より処理の全過程で CH_4 の排出量は70~80%削減できるという調査結果もある（中国農業科学院（2023）83頁）。日本も同様の調査が多く行われている。例えば、ライフサイクル・アセスメントの手法で養豚場のふん尿処理システムを分析した研究では、畜舎でふん尿を分離するふん尿分離システムは、そのほかの汚水脱水方式、ふん尿混合方式および汚泥脱水方式より、総合的なGHG排出量が少なかった（川村（2023））。

中国は極力水を使わずに、隙間のある床

(スラットフロア、またはスノコ) やスクレーパーなどを使ったふん尿分離の普及を図ってきた(朱志平ほか(2006、2020))。17年に国務院が公表した「家畜養殖廃棄物の資源化利用の加速に関する意見」では、ふん尿分離にかんして、ふんの掻き出し、ふんと尿の輸送設備などふん尿の自動分離・自動輸送可能な新型畜舎の研究開発が呼びかけられ、21年の「農業農村温室効果ガス排出削減十大技術」のなかにも水を使わないふん尿分離方式が奨励された。19年の調査では年間出荷500頭以上の養豚場の85%及び9割以上の養牛養鶏場はこのふん尿分離の方法を実施している(周海賓ほか(2022))。

むすび

中国は畜産分野も15年以降、積極的にGHG排出削減を進めている。ただ、単なるGHG排出削減の目的だけではなく、中国の畜産業が直面する二つの課題への取組みと並行して、同時解決を目指しているのが特徴である。

一つは、畜産の生産効率の向上を通してGHG排出削減を実現するという目標。中国は、食料安全保障の必要性から畜産物を含む食料の高い自給率の維持を重要な国家目標に設定している。その達成には米国やブラジルなど畜産物輸出大国に後れを取っている畜産生産効率を高め、市場競争力を強化する必要がある。以前、本誌でも紹介した「豚ネット」などICT技術やAIなども積極利

用して品種改良技術、飼料配合技術、管理水準などの向上を図りながらGHGの削減を実現する。

二つ目は、畜産業の大規模化と集約化を推進したため、排せつ物が特定地域に集中し、臭気の発生、地下水や土壤の汚染など環境問題が深刻化した。そうした環境問題への対応、いわば排せつ物の処理は、GHG排出削減にも直結するものでもある。問題は、先進的な環境対策はコストも制約性も高い。中国の畜産業は大手企業が増えているが、競争力の弱い小規模生産者が依然として大半を占めている。大多数を占める中小の生産者も導入しやすく、環境負荷軽減の効果が高く、さらに生産効率の向上にもつながる技術やシステムなどが求められる。こうした取組みは、長期的には耕畜連携、持続可能な農業の構築にもつながる。

ただし、こうした取組みによって全体として畜産業のGHG排出がどの程度削減可能となるのか、まだ明らかになっていないようである。今後、技術開発の進展などを待つ必要がある。

<参考文献>

- ・荻野暁史(2016)「温室効果ガス発生の少ない飼料給与」『畜産環境情報』第67号、15~16頁
- ・川村英輔ほか(2023)「豚舎汚水処理方式の違いによる物質フローと温室効果ガス排出量の推計」『日豚会誌』60(3)、109~122頁
https://www.jstage.jst.go.jp/article/youton/60/3/60_109/_pdf/-char/ja
- ・呉東、趙輝玲ほか(2010)「低蛋白日粮添加氨基酸对生长肥育猪生长性能和氮排泄的影响」『畜牧与饲料科学』31(5)、39~41頁
- ・国務院(2014)「畜産業の汚染防止条例」
<https://www.gov.cn/zwgk/2013-11/26/>

- content_2534836.htm
- ・ 国務院 (2017) 「畜禽廃棄物資源化利用に関する意見」
https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm
 - ・ 国務院 (2020) 「畜産業高品質発展の促進に関する意見」
https://www.gov.cn/zhengce/content/2020-09/27/content_5547612.htm
 - ・ 国務院 (2021a) 「第十四次五か年推進農業農村現代化計画」
https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/11/content_5673082.htm
 - ・ 国務院 (2021b) 「2030年前炭達峰行動方案」
https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm
 - ・ 周海賓ほか (2022) 「中国畜禽糞汚資源化利用技術応用調研と発展分析」『農業工程学報』38 (9)、237～246頁
https://plugin.sowise.cn/viewpdf/88889157_20220926?
 - ・ 朱志平、董紅敏ほか (2020) 「中国畜禽糞便管理変化対温室気体排放の影響」『農業環境科学学報』39 (4)、743～748頁
https://biogascn.caas.cn/pub/zgzqw/UploadEditor/file/20200605/20200605150727_3599.pdf
 - ・ 朱志平、董紅敏ほか (2006) 「大規模養豚場固形糞収集係数と成分測定」『農業工程学報』22 (14)、179～182頁
<http://www.tcsae.org/cn/article/id/20061444>
 - ・ 中国資料工業協会 (2018) 「中国飼料工業協会は『子豚・肥育豚配合飼料』および『卵用鶏・肉用鶏配合飼料』」
https://www.sohu.com/a/258434732_815918
 - ・ 中国政府 (2024a) 『中国気候変動隔年透明性報告書』第1回
<http://www.ncsc.org.cn/xwdt/zxxw/202501/W020250113363018662198.pdf>
 - ・ 中国政府 (2024b) 『中国気候変動隔年報告書』第4回
<http://www.ncsc.org.cn/xwdt/zxxw/202501/W020250113363020710551.pdf>
 - ・ 『中国畜牧業』誌 (2022) 「技術引領 龍頭企業踐行豆粕減量替代行動」
https://www.nahs.org.cn/xxcm/szlzlaq/qtxm/202212/t20221219_415417.htm
 - ・ 中国農業科学院農業農村炭達峰炭中和研究中心ほか (2023) 『中国農業農村低炭発展報告』社会科学文献出版社、ISBN 978-7-5228-1672-2
 - ・ 中国農業科学院農業農村炭達峰炭中和研究中心ほか (2024) 『中国農業農村低炭発展報告』社会科学文献出版社、ISBN 978-7-5228-3344-6
 - ・ 農業農村部 (2021a) 「全国生豚遺伝的改良計画 (2021-2035年)」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2021/202106/202110/t20211026_6380483.htm
 - ・ 農業農村部 (2021b) 「全国家畜遺伝的改良計画の新しいラウンドに関する記者会見」
http://www.moa.gov.cn/hd/zbft_news/xylcqcycljh/
 - ・ 農業農村部 (2021c) 「農業農村温室効果ガス排出削減十大技術」
http://www.ce.cn/cyssc/sp/info/202111/19/t20211119_37099787.shtml
 - ・ 農業農村部 (2021d) 「飼料中のトウモロコシと大豆粕の削減代替作業方案」
http://www.moa.gov.cn/gk/nszd_1/2021/202104/t20210421_6366304.htm
 - ・ 農業農村部 (2022) 「農業農村減排固炭实施方案」
 - ・ 農業農村部 (2023a) 「飼料用大豆粕減量代替の飼育コスト増減に関する農業農村部の回答」
http://www.xmsyj.moa.gov.cn/zcjd/202305/t20230519_6428018.htm
 - ・ 農業農村部 (2023b) 「飼料用大豆粕の削減代替三年行動方案」
<http://www.chinafeed.org.cn/gkcx/hyglbm/202304/P020230414400383449497.pdf>
 - ・ 農業農村部 (2025a) 「畜産業における飼料節約行動の実施に関する意見」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2025/202502/202502/t20250218_6470100.htm
 - ・ 農業農村部 (2025b) 「畜産業における飼料節約行動の実施に関する意見」について記者会見
https://www.gov.cn/zhengce/202501/content_6996633.htm
 - ・ 農業部 (2015) 「農業の持続的発展計画2015-2030」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2015/liu/201712/t20171219_6103855.htm
 - ・ 農業部 (2016) 「飼料工業第十三次五か年発展計画」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2016/shiyiqi/201711/t20171128_5922444.htm
 - ・ 農業部 (2017) 「畜産排せつ物の資源化利用行動計画2017-2020」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2017/dbq/201801/t20180103_6134011.htm
 - ・ 牧原食品 (2021) 「緑色低炭行動報告」
https://pdf.dfcfw.com/pdf/H2_AN202204291562340985_1.pdf
 - ・ 牧原食品 (2023a) 「緑色低炭行動報告」

<https://q.stock.sohu.com/newpdf/202458016638.pdf>

- ・ 牧原食品 (2023b) 「ESG報告」
https://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESZ_STOCK/2024/2024-4/2024-04-27/10115620.PDF
- ・ 方桂友ほか (2021) 「低蛋白質氨基酸平衡飼料对肥育猪生长性能、肌肉氨基酸和脂肪酸组成及含量的影响」『福建農業学報』 36 (8)、917~922頁
<https://www.fjnxb.cn/cn/article/pdf/preview/10.19303/j.issn.1008-0384.2021.08.007>.

pdf

- ・ 李寧ほか (2018) 「飼料粗蛋白質水平和氨基酸平衡性对肥育猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响」『動物栄養学報』 DOI:10.12074/201812.00176V1
- ・ FAO (2013) , “TACKLING CLIMATE CHANGE THROUGH LIVESTOCK”
<https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e.pdf>

(ルアン ウエイ)

発刊のお知らせ

農林漁業金融統計2024

A4判 186頁
頒 価 2,000円(税込)

農林漁業系統金融に直接かかわる統計のほか、農林漁業に関する基礎統計も収録。全項目英訳付き。

編 集…株式会社農林中金総合研究所
〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-27-11
E-mail toukei-jouhou@nochuri.co.jp
発 行…農林中央金庫
〒100-8155 東京都千代田区大手町1-2-1

〈発行〉 2025年1月