

SDGs における繁殖生物学の役割 地球温暖化と家畜繁殖 ～牛が増えると温暖化が進む？～

阪谷美樹

畜産業は地球温暖化の原因となる温室効果ガス（GHG）を多く排出している。その中でも牛に由来する GHG 排出は高い割合を占めており地球温暖化の一因と指摘されている。世界的な畜産物の消費の増大に伴い家畜数の増加が進む一方、温暖化に伴って家畜の生産性、繁殖性低下が畜産業からの GHG 排出増加に拍車をかけている。高温環境下では妊娠率が低下し生産に貢献しない個体が増え、単位生産物当たりの GHG 排出量を増加させ温暖化を加速させている。GHG 排出量を減らすには生殖工学などの利用で効率的に繁殖をさせ生産に貢献しない家畜を減らすことが肝要である。繁殖生物学は畜産業が関与する地球温暖化緩和策において大きな役割を担っている。

キーワード：牛、繁殖性、地球温暖化、温室効果ガス、SDGs

【はじめに】

2015 年 9 月に国連サミットにおいて制定された持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals: SDGs <https://sdgs.un.org/goals>) では 2030 年までに達成を目指す 17 の目標が設定されている。これら 17 の目標は世界の国々、産業が丸丸となって達成を目指すものであり、農業・畜産分野においても例外ではなく国連の一機関である国連食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization: FAO) も SDGs 達成に向けて畜産業と SDGs の各目標と達成に関する報告書を出すなどの啓蒙活動を行っている (1)。本総説では SDGs の 13 番目の達成目標である「気象変動に具体的な対策を」について特に地球温暖化と畜産業・家畜生産の関係について繁殖学の観点から考察していきたい。

【地球温暖化と家畜生産】

今世紀に入り地球温暖化の問題は年々深刻なものとなっている。高温、干ばつ、豪雨、台風などの異常気象や自然災害は日本のみならず世界で頻発しており、ニュース等で取り上げられることも多い。そこで、異常気象の原因と指摘されている地球温暖化の日本における現状と将来予測について確認してみたい。

気象庁では日本の 1890 年代から現在までの毎年の平均気温偏差 (1990-2020 年の 30 年平均値に対する変化) 等の気象データを公開している (2, 3)。これらによると気温偏差は年々増大しており 1900 年と 2020 年の差は 2°C 以上になる。つまり 120 年で平均気温が約 2°C 上昇したことになる。さらに、35°C 以上の猛暑日は 1990 年代から急増し、1910 年に全国 (13 地点) で 0 日であった年間平均猛暑日数が 2020 年には 5 日を超え夏季の気温上昇が顕著となっている。温暖化の原因は二酸化炭素 (CO₂)、一酸化二窒素 (N₂O)、メタン (CH₄) などの温室効果ガス (Greenhouse gas: GHG) の

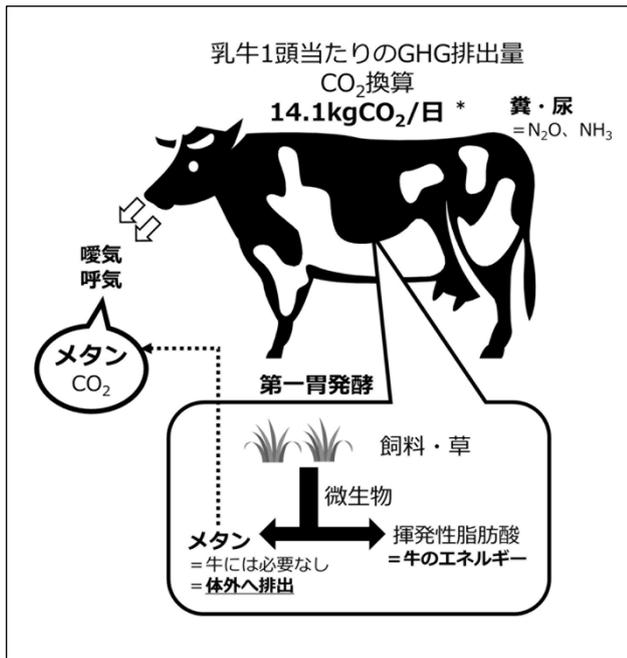


図1 牛から排出される温室効果ガス (GHG)

飼料は第一胃内にて微生物による消化発酵を受け、エネルギーとして利用される揮発性脂肪酸と利用されないメタンへと分解される。メタンは暖気として体外に排出される。その他呼気に由来するCO₂、糞尿由来のN₂O、NH₃がGHGとして排出される。

*農林水産省 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(畜産編)を元に筆者が算出。

排出増加であり、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)ではGHG排出の代表濃度経路シナリオ(Representative Concentration Pathways: RCP)に基づいて温暖化予測を行っている。IPCCの第5次報告書(2014)の低位安定化(緩やかな)シナリオRCP2.6でも21世紀末には20世紀末と比較し0.3~1.7°Cの気温上昇が予測されている。つまり1900年代初頭と比較するとその上昇は3.5°Cにもなる。2015年に国連気候変動枠組条約締約国会議(COP21)にて採択されたパリ協定ではGHG排出の削減目標を産業革命以前と比較し2°Cより十分低く保ち、1.5°Cに抑える努力をするように設定されているが、その実現は簡単ではない。IPCCの第6次報告書(2021)では既にRCP2.6よりも速く温暖化が進んでいるとの警鐘が鳴らされており、地球温暖化に代表される気象変動はSDGsの中でも喫緊の課題となっている。農業の中でも畜産はGHG排出に占める割合が高く、2013年には世界のGHG総排出量(CO₂換算)のうち14.5%にあたる71億トンを排出している(4)。畜産における主なGHG排出源は①飼料生産に伴うCO₂、②家畜の糞尿・飼料残渣に由来するN₂O、③反芻家畜の消化(発酵)に伴うCH₄である(4,5)。世界の主要な家畜である牛、豚、緬

山羊、鶏の世界飼養総数はそれぞれ15億、8.5億、23億、260億(2019年FAO)であり、その中で牛より飼養数が多い豚、鶏でのGHG排出量は9%、8%にとどまっているのに対し、牛由来のGHG排出は畜産における排出量の約60%を占めている(4)。牛におけるGHG排出量が多い理由として反芻動物特有の消化に伴うメタン排出が挙げられる。図1に示すように牛が摂取した飼料は第一胃内にて微生物の作用により発酵・分解され、エネルギー源となる揮発性脂肪酸と利用されないメタンとなる。体内で利用されないメタンは暖気や呼気と共に体外に排出され、温暖化の原因の一つとなる。育成・乾乳牛を含む乳牛のGHG排出量平均値を著者がマニュアルを元に計算したところ、メタンやN₂Oなど1日当たりのGHG排出量がCO₂換算で14.1kgに達すること示された(6)。近年、所得増加に伴い、世界的に動物性タンパク質(肉・乳製品・卵)の摂取量が増え、その消費を支えるために畜産物生産量=家畜頭数が増加している。1961年に30億人であった世界人口は2018年には約2.5倍の76億人に達している一方で、食肉生産量は1961年から2018年で5倍以上に増え、その増加は人口増加よりも速いペースとなっている。畜産物消費量の増加だけではなく温暖化の進行による家畜頭数の増加が指摘され

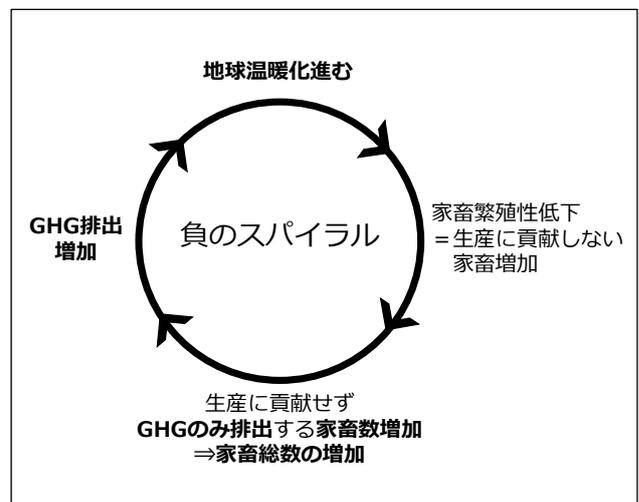


図2 畜産業(牛)に起因する温暖化の模式図

ており、それに伴うさらなるGHG排出量の増加という負のスパイラル現象が生じている(図2)。この問題には高温環境下での牛の生産性、繁殖性が大きく関わっている。次の項では、温暖化による牛のGHG排出増加を繁殖性に着目して考えてみる。

【家畜の繁殖性低下と地球温暖化】

畜産業の GHG 排出増加の一因として家畜総数の増加が挙げられる。これまで牛の品種改良は産肉性や乳量などの生産性を重視して行われたため、過去 40 年で乳牛の受胎能は約 2/3 になってしまった(7)。加えて、一般に哺乳類は恒温動物であり、環境温度が変化しても体温が一定に保たれるが、ある気温（臨界温度）を超えると体温調節機構が破綻し、高温では体温上昇、低温では体温低下が生じる(8)。高温環境下で体温が上昇すると飼料摂取を低下させ代謝に伴う発熱（体温上昇）を抑制する反応が起こる(8)。元来、増体や泌乳、繁殖は余剰エネルギーが確保できる場合に行われ、飼料摂取が低下しエネルギー不足が生じれば最初に繁殖能が影響を受け、増体、泌乳も悪影響を受ける(9-12)。高温下では、これまでの産肉性や泌乳量を重視した品種改良の影響で低下してきていた繁殖性の低下に拍車がかかり、『生産に貢献しない家畜増加=GHGのみを排出する家畜数増加』につながり GHG 総排出量を増加させることになる(図 2)。

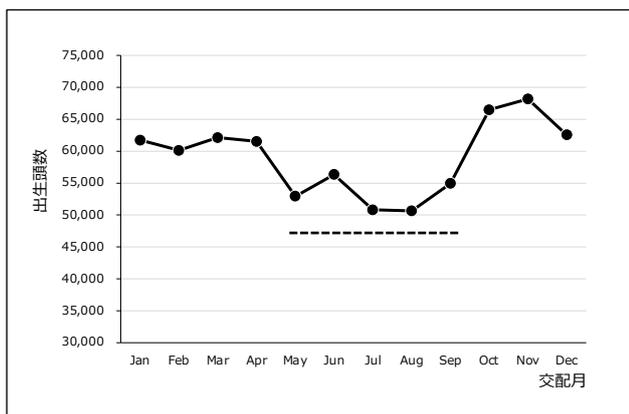


図3 乳用種の交配月別出生頭数 (2019年)

乳用種を母牛とする乳用種・交雑種産子数。破線：日最高気温>25°Cの日が存在する月(5~9月)((独)家畜改良センター令和元年度牛個体識別全国データベース集計結果より作成)

現在日本で飼養されている乳牛は冷涼なヨーロッパ原産のホルスタイン種、肉用牛は在来種とヨーロッパ原産牛由来の和牛が主流である。そのため寒さには比較的耐性があるが暑さに弱い。泌乳中の乳牛では気温 25°C 以上で体温上昇が始まり(13)、温湿度指数 (Temperature Humidity Index: THI) 72 以上で高温ストレスを感じると言われている(9, 10)。現在の日本では 5~9 月まで最高気温が 25°C 以上の日も珍しくなく乳牛は 1 年の約半分暑さに曝される。さらに気温が上昇する盛夏には大きな影響が出る。交配月と出生頭数の関係から高温による繁殖性への影響をみることができ。図 3 に (独) 家畜改良センターが提供する牛

個体識別全国データベース (<https://www.id.nlbc.go.jp/data/toukei.html>) を元に乳牛が分娩した子牛の頭数を交配月別に示す。日最高気温が 25°C 以上の 5~9 月の交配による出生頭数は少なく、このことは高温下で受胎頭数が減少することを示唆している。

次に高温下で受胎頭数が減少する理由と受胎頭数の減少がどのように GHG 排出増に関わるかを考えてみたい。受胎頭数の減少には大きく 2 つの原因が考えられる。第一は交配に供される頭数の減少である。夏季の高温下では採食低下に伴う負のエネルギーバランスが生じ、性ホルモン産生を司るステロイド代謝が悪影響を受け卵巣機能低下を引き起こす(12, 14-16)。日本国内での牛交配はほとんどが人工的に実施され交配適期を知るために発情の発見は必須である。発情発現には性ホルモンの比率が大きく影響しており、分泌異常が生じると微弱発情や無発情が生じて適切な発情検出が難しく(14, 17, 18)、交配適期が見極められず交配が実施できない。また、卵胞発育や卵子に影響がある場合は発情を検出しても交配できない。2016 年度の受胎率調査成績(家畜改良事業団)でも乳牛の 7-9 月の人工授精頭数は 1-3 月と比較し約 25% 少なく、高温下で交配に供される頭数が減少している。第二の原因は交配しても受胎しない個体の増加である。夏季のホルスタイン受胎率は他の季節と比較し 25% も低くなる(12, 19)。不受胎の原因は高温による卵胞発育の異常や卵子品質の低下(20)、卵子、精子共に高温に曝されることによる受精率の低下(21, 22)、さらに初期胚発生で早期胚死滅が生じるなど複数である(23, 24)。温度が上昇すると細胞では有害な活性酸素類が増加し、遺伝子の損傷を含め細胞の正常な機能を阻害する。卵子、精子、胚などの生殖細胞も例外ではなく、高温下では活性酸素の増加や細胞死が増加する(20, 22-25)。これらの結果、交配しても着床に至らず受胎しない個体が夏季には増加する。高温下で受胎しない牛が増えると GHG 排出が増加する例を図 4 に示す。ここでは先に示した 2 つの影響を加味して、【発情発見率 x 受胎率 = 妊娠率】という観点から考えてみたい。通常時の妊娠率が 60% の場合、10 頭の牛を繁殖に供すると妊娠牛 6 頭が生産に貢献し、4 頭は生産に貢献せず GHG のみ排出する(図 4A)。高温下で妊娠率が 40% に低下すると、GHG のみ排出し生産に貢献しない牛は 2 頭増え 6 頭となる(図 4B)。一方、生産性を維持し通常時と同じ妊娠頭数を得るために繁殖供用頭数を増やすと妊娠率 40% で非妊娠牛は 9 頭と

なり、通常時に比べ GHG のみ排出する牛は 5 頭増えることになる (図 4C)。すなわち、妊娠率が 20% 低下すると生産性を維持する場合の牛の総数は 1.5 倍になり生産に貢献せず GHG のみ排出する牛は 2.25 倍になる。地球温暖化が進めば繁殖

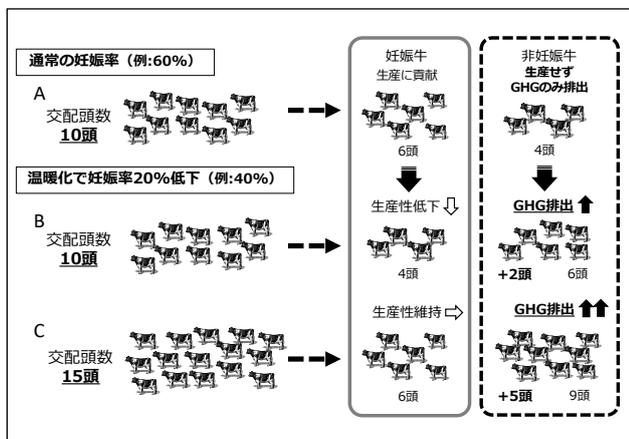


図 4 温暖化による繁殖性低下と GHG 排出量増加の一例
A: 通常時、B: 温暖化で妊娠率低下・交配頭数は通常時と同数、
C: 温暖化で妊娠率低下・交配頭数増加で生産性維持

性 (妊娠率) はさらに低下し、生産に貢献しない牛の頭数はますます増える。それに伴って GHG 排出の増大、温暖化がさらに加速されるという負のスパイラルに陥ることになる (図 2)。

【温暖化を抑制するための牛繁殖戦略】

では、牛の GHG 排出量を抑制するためにどのような繁殖戦略を取ればよいのだろうか。現在の世界的な畜産物消費傾向から考えると生産量を減らして頭数削減を実現することは簡単ではない。そこで、生産効率を上げて無駄な GHG 排出を抑制することが目標となる。

そのために大きく 2 つの方法が考えられる。① 妊娠率 (繁殖供用率、受胎率) を向上させて、生産に貢献しない牛を減らす。② 妊娠していない期間を短くし (空胎期間の短縮)、非生産期間を減らすことである。試算によれば、牛の受胎率を 10% 改善することで GHG 排出量を約 10% 削減できる (26)。すなわち、夏季 (年間 1/3) の受胎率を 10% 改善できれば、GHG 排出を年間約 3% 削減することが可能となる。さらに、乳牛の分娩間隔が 10 日短くなれば、約 3% の排出減が望める計算となる。FAO の報告書では畜産繁殖管理において GHG 削減に適応できる技術とその効果について考察がされており、交配方法の工夫、生殖補助技術、牛のストレス緩和が GHG 排出緩和に効果的であるだけでなく、生産性も改善されることを指摘している (26, 27)。では具体的にどのような対策があるかを考えてみたい。

まず、交配方法により繁殖供用率を改善する方策について考える。日本では牛交配のほとんどが人工的に実施されているため、交配適期を知るための発情検出が非常に重要である。発情は夏季に周期の乱れ、持続時間の短縮、発情行動の微弱化などが起こり、通常と同じ方法ではその発見は困難な場合がある (17, 28)。そこで、近年畜産分野でも積極的に利用されている方法がセンシングを活用した発情検出法である。畜産現場で発情発見のために活動量 (加速度)、歩数、体温測定 of センサが活用されており、目視よりも高い精度で発情を検出できることが報告されている (29)。さらに、発情徴候が弱い牛においてもセンサを用いて交配を実施しても受胎率に差がないことが肉牛で報告されており (30)、センサを用いることで発情検出率、精度を改善し繁殖供用率を改善することができる。センシングは健康管理にも活用可能なため、発情検出だけでなく牛群の健康状態を保つことで繁殖性を改善することも期待できる。また、ホルモン剤による発情同期化技術も発情発現の増強や人工受精後の受胎率を改善することが報告されている (31)。その変法である定時人工授精法は発情発現を確認せずに交配が可能のため、交配に供する牛の数を増やすことが可能であり、繁殖供用率を改善することができる (32)。

受胎率を改善する方法として育種も重要である。黒毛和種では近交化が進み繁殖性への影響が懸念されている。多様性を持たせることや繁殖性や健全性の観点から育種選抜することで受胎性を担保できる可能性が高いが、実現は容易ではない。一方、比較的容易に受胎率を改善する技術として生殖補助技術、その中でも胚移植技術が有効と考えられている (27)。通常胚移植に用いられる発生の進んだ胚盤胞は、2, 8 細胞期胚などの発生初期と比較し、ストレス耐性が高いと考えられている (23, 24)。また卵子や初期胚発生時のストレスを受けないためその後の発生に悪影響を受ける可能性が低いこと、確実に受精・発生した胚が子宮内に入ることで受胎しやすいなどの利点がある (24, 33)。凍結を伴わない新鮮胚移植は人工授精と異なり、年間を通じて安定した受胎率が得られる (33, 34)。しかしながら、夏季には前述したように卵子・胚の品質が低下するため新鮮胚を大量に確保することは難しい。一方、凍結胚は凍結というプロセスで既にある程度のストレス (ダメージ) を受けているため、融解後の高温耐性が新鮮胚と比較し低く夏季の受胎率改善効果は低いと考えられている (33, 35, 36)。そのため、胚移植を利用した夏季の受胎率改善には凍結胚の品質向上、耐

暑性の付与など更なる技術の改良が必要となっているが、ガラス化保存法の適応や凍結剤や凍結方法の改善により胚凍結技術も進歩しており、通常条件では新鮮胚と遜色ない受胎率が得られてきているため、今後の利用が期待できる。

最後に母体のストレスを軽減させ妊娠率を改善する方法についても簡単に触れてみたい。母体は分娩により低栄養状態になりやすい。低栄養を予防することで疾病を予防し、分娩後早期に交配することが可能となる(27)。さらに、高温下の繁殖性低下は母体の体温上昇に伴って生じる。そこで体温を上昇させないような飼養管理を行うことで繁殖性を低下させない試みもされている。受精時の高温は卵子、精子両方に悪影響を与え受精の成立を阻害する(21, 22)。さらに胚移植時においてもレシピエントの体温と受胎率に負の相関がある(37)。人工授精前後の数時間のみ母体をスポット的に冷却することで体温上昇が抑えられ受胎率が改善されることが報告されており(38)、母体そのもののストレスを軽減させることで繁殖性を改善できる可能性が示唆されているが、GHG 排出の観点からは冷却機器(スプリンクラーやファン)を稼働させることでCO₂排出も生じるのでその利用はバランスを取る必要がある。しかしながら、母体のストレスを低減することは直近だけでなく将来的な連用性や健全性にも好影響であるため、長期的な GHG 排出や SDGs を考える上では重要な対応策となりうる。

【最後に】

タイトルに『牛が増えると温暖化が進む?』という副題をつけたが、牛が増えると GHG 排出が増加することは事実である。一方で、畜産物から供給される動物性たんぱく質は栄養面からも重要であり、排泄物から生産される堆肥は農産物に重要な肥料となっている。これらは SDGs の『2. 飢餓をなくそう』、『3. すべての人に健康と福祉を』に貢献していると言える。つまり、今後の畜産業は SDGs に即した形で発展していく必要がある。

本総説では GHG 排出に着目しながら、牛に由来する地球温暖化に関して原因や対策を繁殖学の観点で考察した。家畜の繁殖性や生産性が改善されることにより、生産性は維持しつつ家畜頭数を抑制できる可能性があり、家畜の増加が抑制されれば家畜由来の GHG 排出量も抑制され、温暖化スピードも抑制される。すなわちこれまで陥っていた負のスパイラルを止めることができる。一方で、温暖化による繁殖低下要因の解明や改善技術に関しては研究途上であり、不明な部分も多いのが現

状である。今後、温暖化と家畜繁殖に関して研究がさらに進み、温暖化対策に有効な繁殖管理技術や改善策が提示されることが望まれている。

【謝辞】

本総説は 2021 年 5 月に開催された日本繁殖生物学会主催の一般公開オンラインセミナー『SDGs における繁殖生物学の役割』の内容をまとめたものです。今回総説として発表する機会を与えてくださいました日本繁殖生物学会に心から感謝いたします。

【参考文献】

1. World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. *Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO)*, Rome 2018 <http://www.fao.org/3/CA1201EN/ca1201en.pdf>
2. 日本の年平均気温偏差. 気象庁 2021 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/an_jpn.html
3. 大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化. 気象庁 2021 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
4. Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Motter A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G. Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO)*, Rome 2013. <http://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
5. Rotz CA. *Symposium Review: Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. J Dairy Sci* 2018; 101:6675-6690. Doi: 10.3168/jds.2017-13272
6. 農林水産省生産局畜産部. 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(畜産編) 2011 https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/ontaihou_manu.pdf
7. Huang W, Kirkpatrick BW, Rosa GJM, Khatib H. A genome-wide association study using selective DNA pooling identities candidate markers for fertility in Holstein cattle. *Anim Genet* 2010; 41: 570-578. Doi: 10.1111/j.1365-2052.2010.02046.x
8. Ehrlemark AG, Sallvik KG. A model of heat and moisture dissipation from cattle based on thermal properties. *Trans ASAE* 1996; 39: 87-194.
9. West JW. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2003; 86:2131-2144. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X
10. Soriani N, Panella G, Calamari L. Ruminant

- time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J Dairy Sci* 2013; 96: 5082-5094. Doi: 10.3168/jds.2013-6620
11. **Polsky L, von Keyserlingk MAG.** Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J Dairy Sci* 2017; 100: 8645-8657. Doi: 10.3168/jds.2017-12651
 12. **Roth Z.** Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress – Experiences from the past and lessons for the present. *Theriogenology* 2020; 155: 150-156. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.05.040
 13. **Berman A, Folman Y, Kaim M, Mamen M, Herz Z, Wolfenson D, Arieli A, Graber Y.** Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J Dairy Sci* 1985; 68: 1488-1495. Doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5
 14. **De Rensis F, Scaramuzzi RJ.** Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow - a review. *Theriogenology* 2003; 60: 1139-1151. Doi:10.1016/s0093-691x(03)00126-2
 15. **Takuma T, Sakai S, Ezoe D, Ichimaru H, Jinnouchi T, Kaedei Y, Nagai T, Otoi T.** Effects of season and reproductive phase on the quality, quantity and developmental competence of oocytes aspirated from Japanese black cows. *J Reprod Dev* 2010; 56: 55-59. Doi:10.1262/jrd.09-071h
 16. **Sakatani M, Yamanaka K-I, Balboula AZ, Takahashi M.** Different thermotolerance in in-vitro produced embryos derived from different maternal and paternal genetic backgrounds. *Anim Sci J* 2017; 88:1934-1942. Doi: 10.1111/asj.12875
 17. **竹之内直樹, 福重直輝.** 発情行動・微弱発情. *日本胚移植学雑誌* 2013; 35: 97-108
 18. **Sakatani M, Takahashi M, Takenouchi N.** The efficiency of vaginal temperature to detect the estrus in Japanese Black cows. *J Reprod Dev* 2016; 62:201-207. Doi: 10.1262/jrd.2015-095
 19. **Huang C, Tsuruta S, Bertrand JK, Misztal I, Lawlor TJ, Clay JS.** Trends for conception rate of Holsteins over time in the southeastern United States. *J Dairy Sci* 2009; 92: 4641-4647. Doi: 10.3168/jds.2008-1982.
 20. **Roth Z.** Stress-induced alterations in oocyte transcripts are further expressed in the developing blastocyst. *Mol Reprod Dev* 2018; 85:821-835. Doi: 10.1002/mrd.23045
 21. **菅澤 早苗, 加藤道生, 森清之, 川名清和, 増戸弘典, 鈴木延夫, 矢光潤.** 暑熱時における乳牛の受胎成績と施設および環境との関連. *家畜人工授精* 2001; 204: 55-61.
 22. **Sakatani M, Yamanaka K-I, Balboula AZ, Takenouchi N, Takahashi M.** Heat stress during *in vitro* fertilization decreases fertilization success by disrupting anti-polyspermy systems of the oocytes. *Mol Reprod Dev.* 2015; 82:36-47. Doi: 10.1002/mrd.22441
 23. **Sakatani M, Kobayashi S, Takahashi M.** Effects of heat shock on in vitro development and intracellular oxidative state of bovine preimplantation embryos. *Mol Reprod Dev* 2004; 67: 77-82. Doi: 10.1002/mrd.20014
 24. **Sakatani M.** The effect of heat stress on in vitro development in bovine implantation embryos. *J Reprod Dev* 2017; 63: 347-352. Doi: 10.1262/jrd.2017-045
 25. **Balboula AZ, Yamanaka K-I, Sakatani M, Kawahara M, Hegab AO, Zaabel SM, Takahashi M.** Cathepsin B activity has a crucial role in the developmental competence of bovine COCs exposed to heat-shock during *in vitro* maturation. *Reproduction* 2013; 146: 407-417. Doi: 10.1530/REP-13-0179.
 26. **Garnsworthy PC.** The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Anim Feed Sci Tech* 2004; 112: 211-223. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2003.10.011
 27. **Hristov AN, Oh J, Lee C, Meinen R, Montes F, Ott T, Firkins J, Rotz A, Dell C, Adesogan A, Tang W, Tricarico J, Kebreab E, Waghorn G, Dijkstra J, Oosting S.** Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A Review of technical options for non-CO₂ emissions. Edited by Gerber PJ, Henderson B, Makkar HPS. *FAO Animal Production and Health Paper* 2013; 177
 28. **Sakatani M, Balboula AZ, Yamanaka K-I, Takahashi M.** Effect of summer heat environment on body temperature, estrous cycles and blood antioxidant levels in Japanese Black cows. *Anim Sci J* 2012; 83: 394-402. Doi: 10.1111/j.1740-0929.2011.00967.x
 29. **Saint-Dizier M, Chastant-Maillard S.** Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. *Theriogenology* 2018; 112: 53-62. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.09.033
 30. **Hojo T, Sakatani M, Takenouchi N.** Efficiency of a pedometer device for detecting estrus in standing heat and silent heat in Japanese Black cattle. *Anim Sci J* 2018; 89:1067-1072. Doi: 10.1111/asj.13023
 31. **Cerri RLA, Burnett TA, Madureira AML, Silper BF, Denis-Robichaud J, LeBlanc S, Cooke RF, Vasconcelos JLM.** *Symposium review: Linking activity-sensor data and physiology to improve dairy cow fertility.* *J Dairy Sci* 2021; 104: 1220-

1231. Doi: 10.3168/jds.2019-17893
32. **Wiltbank MC, Pursley JR.** 40th Anniversary Special Issue. The cow as an induced ovulatory: Timed AI after synchronization of ovulation. *Theriogenology* 2014; 81: 170-185. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.09.017
33. **Hansen PJ, Block J.** Towards an embryocentric world: the current and potential uses of embryo technologies in dairy production. *Reprod Fertil Dev* 2004; 16: 1-14. Doi: 10.1071/RD03073
34. **Baruselli PS, Ferreira RM, Vieira LM, Souza AH, Bo GA, Rodrigues CA.** Use of embryo transfer to alleviate infertility caused by heat stress. *Theriogenology* 2020; 155: 1-11. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.04.028
35. **Drost M, Ambrose JD, Thatcher MJ, Cantreall CK, Wolfsdorf KE, Hasler JF, Thatcher WW.** Conception rates after artificial insemination or embryo transfer in lactating dairy cows during summer in Florida. *Theriogenology* 1999; 52: 1161-1167. Doi: 10.1016/S0093-691X(99)00208-3
36. **Mori M, Hayashi T, Isozaki Y, Takenouchi N, Sakatani M.** Heat shock decreases the embryonic quality of frozen-thawed bovine blastocysts produced *in vitro*. *J Reprod Dev* 2015; 61: 423-429. Doi: 10.1262/jrd.2015-003
37. **Vasconcelos JLM, Demétrio DGB, Santos RM, Chiari JR, Rodrigues CA, Sá Filho OG.** Factors potentially affecting fertility of lactating dairy cow recipients. *Theriogenology* 2006; 65: 192-200. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.09.030
38. **Moghaddam A, Karimi I, Pooyanmehr M.** Effects of short-term colling on pregnancy rate of dairy heifers under summer heat stress. *Vet Res Comm* 2009; 33: 567-575. Doi: 10.1007/s11259-009-9205-8