

総説

暑熱ストレスと牛の繁殖性

阪谷美樹

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

畜産研究部門 飼養管理技術研究領域

〒 329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768

Tel/Fax: 0287-37-7810

Email: msaka@affrc.go.jp

【要約】

地球温暖化に伴い、夏季の暑熱ストレスは畜産業においても大きな問題となっており、繁殖性に及ぼす影響は其中でも重要で様々な研究がなされている。暑熱ストレスによる家畜の体温上昇は採食量低下に伴うエネルギー不均衡や酸化ストレス増加を引き起こし、生殖器機能に悪影響を及ぼす。体温上昇によるステロイドホルモンの分泌低下は発情周期の乱れや発情微弱化の原因となり、交配実施頭数の減少による夏季の受胎頭数減少が引き起こされる。一方、暑熱ストレスは卵巣機能も低下させ、妊娠維持機能の低下も引き起こす。さらに、暑熱ストレスは直接的に生殖細胞に働くことも報告されており、酸化ストレスに伴うアポトーシスの増加や発生に不可欠な因子の発現変化が生じる。結果として、卵子品質の低下、受精成立の阻害、受精後の初期胚発生の低下とつながり受胎率を低下させると考えられ、着床や流産率も高温環境では増加することが指摘されている。暑熱環境はエネルギー不均衡に伴う免疫機能の低下により、乳房炎などの感染症リスクを増加させる。乳房炎などの感染症はステロイドホルモン分泌等にも影響を与えることで卵子品質などの繁殖性を低下させることが明らかとなっており、暑熱ストレスによる繁殖性低下には、飼養管理全般による対応が望まれる。

キーワード: 牛、暑熱ストレス、初期胚発生、繁殖性

【背景】

近年の地球温暖化により世界の気温は年々上昇している。特に1990年代以降は高温となる年が頻出しており、気象庁の報告によると、日本では2017年夏(6~8月)平均気温の20世紀平均基準における偏差は+1.02℃であり、過去100年で約1.09℃の割合で上昇している。このことは夏季に受ける暑熱ストレスによる影響が今後ますます拡大する可能性を示唆している。

地球温暖化に伴う気温上昇は農業、畜産業にも大きな影響を及ぼしている。牛は恒温動物のため、ある程度の気温変化内では体温維持が可能であり、その適温は概ね20℃前後となっている。一方、適温域を超えた気温の上昇は恒温動物でも体温を上昇させる。乳用牛では気温25℃ [3]、肉用牛では約30℃が体温維持機能が破綻する臨界温度上限と考えられており [31, 39]、この気温以上では暑熱ストレスを感じ体温が上昇する。気温のみならず湿度も家畜の暑熱ストレスに強く影響し、温度並びに湿度から算出される温湿度指数: temperature-humidity index (THI) [36] が暑熱ストレスの指標となっ

受理: 2018年4月20日

ている。乳用牛では妊娠の有無や年齢、泌乳ステージにより影響を受ける THI は変動するが、一般的に THI=70 を超えると暑熱ストレスの影響を受け体温上昇などの生理的变化が現れると言われている [4]。体温が上昇すると飼料摂取に伴う体内の代謝熱産生を抑制するため採食量が低下する。このような摂取エネルギーの低下によるエネルギーの不均衡は負のエネルギーバランスと呼ばれ乳生産や増体の低下といった生産性低下を引き起こす。一方、体温上昇は体内における酸化ストレスも亢進する [17, 35]。これらのエネルギー不均衡や酸化ストレス状態は、繁殖を司る内分泌系に影響を与え繁殖サイクルの異常、生殖器機能の低下につながり、繁殖性を低下させると考えられる [4]。

暑熱ストレスによる家畜生産性の低下は世界的な問題となっており、特に繁殖性低下は乳牛の乳生産、肉用牛の子畜生産を左右し、農家経営に直接影響を与えるため、様々な観点から研究がおこなわれている。ここでは特に高温、暑熱環境が牛の繁殖性に与える影響について、卵子の品質、初期胚発生に着目し、夏季に増加する感染症も含めた観点から紹介する。

【夏季の暑熱ストレスと牛の繁殖成績】

暑熱期に発生する繁殖への影響として分娩後初回授精時期の遅れ（延長）、交配回数の増加、受胎率の低下などが挙げられる。特にこの問題は乳牛で甚大であり、世界各国での受胎率の季節変化を見ると夏季に大幅に低下するほか [4, 7, 9, 11, 15]、分娩後の初回排卵や初回発情も遅延することが多く、そのために受胎に要する人工授精回数の増加も報告されている。すなわち、空胎期間が延長し飼料代、授精費用などの経済的な負担も大きくなり、経営面にも悪影響が及ぼされる。

これらの繁殖性への影響には大きく二つの原因が考えられる。1つは卵巣機能の低下により、初回排卵・発情が遅れることや発情微弱化によって発情発見ができないために交配が実施できないことである。もう一つは、交配を実施しても卵子、胚、子宮などの問題から受胎が成立しない場合である。これら各原因について解説していく。

【発情の問題】

暑熱期の発情微弱化や発情周期の延長は乳牛のみならず [25, 38]、肉用牛でも報告されている [30, 41]。その原因として示唆されているのが、卵巣由来のステロイドホルモンであるエストロジェン (E2) やプロゲステロン (P4) の分泌異常である [38, 41]。発情発現に重要な役割を果たす E2 は暑熱ストレスによって分泌が低下することが報告されており、このことが発情微弱化の一因と考えられる。一方で黄体から分泌される P4 に関しては黄体サイズや P4 分泌が低下するとの報告もあるが [1, 38]、一定の結論は得られていない。しかしながら、夏季には黄体の退行が緩慢になり、一方で E2 の分泌が低下することが肉用牛で報告されており [41]、このことは微弱発情の一因と理解することができる。発情微弱化や発情周期の乱れによる交配率の低下は、ホルモン剤等を利用した発情同期化技術や近年利用が増加している各種発情検出デバイスなどを用いることである程度改善することが可能である。しかしながら、交配を実施できた場合でも 2 つ目の原因による受胎率の低下も無視できないことが多い。

【交配実施後に関わる暑熱ストレスの影響】

夏季に人工授精や受精卵移植を実施しても受胎率が低い事例は乳用牛を中心に多く報告されている。先に述べたように、このような現象には卵子の品質低下や精子への影響による受精の不成立、受精後の初期発生障害（早期胚死滅）、胚の着床障害、妊娠初期の流産など複数の要因が関わっていると考えられている。

1. 卵子品質

卵子の品質は暑熱ストレスによって低下する。食肉処理場由来の卵巣 1 個当たりの体外受精に適した品質の卵子数は、乳用牛では夏季から初秋にかけて低下する [34]。また生体由来の卵子でも品質が低下することが報告されている [25]。これらの影響は暑さがピークとなる 7～8 月の盛夏の時期のみならず 9～10 月の初秋まで見受けられることが多く、受胎率の低下も初秋まで観察されることが多い。これは夏季の暑熱ストレスの遅延効果と呼ばれている

[38]。排卵される卵子の発育には数週間かかるため、夏季の暑熱ストレスの影響が1～2発情周期後の初秋まで観察されることとなる。夏季の暑熱下で卵子品質が低下する要因としては、先述したように内分泌系の異常が考えられる。夏季には生体における卵胞サイズの低下や卵胞発育の乱れが生じ、結果的にステロイドホルモンの濃度の低下につながり卵子品質が低下すると考えられている [22, 38]。

また、排卵される成熟卵子の品質も暑熱の影響を受ける。体外受精の結果では成熟培養時に高温に曝された卵子でその成熟率が低下し [6, 7, 17]、特に成熟初期の高温が卵子の成熟に悪影響を与える [7]。暑熱ストレスは成熟に重要な役割を果たす卵丘細胞機能を低下させるほか、卵子における酸化ストレスに伴うアポトーシスの増加や遺伝子発現レベルの変化を引き起こし、これらが卵子の正常な成熟や受精後の正常発生を妨げることが報告されている [2, 10, 16, 21, 23, 24]。これらの品質低下した卵子を体外受精に供試してもその発生率は低く、すなわち暑熱ストレス下では受胎率が低下する要因の一つと考えられる。

2. 受精時の暑熱ストレス

一般的に牛の人工授精では凍結精液を用いるため雄畜の夏季不妊症の影響は少ないと考えられている。しかし、人工授精後の母体内では卵子のみならず精子も暑熱ストレスに曝されるため、受精成立に関わる影響は大きいと考えられる。体温や気温と人工授精成績に関しては日本国内においても複数の報告がなされており、人工授精時に高体温、高気温になるほど受胎成績が低下する負の相関があることが分かっている [15, 40]。一方、人工授精時に牛体を冷却することで、その受胎成績が改善することも知られており、暑熱ストレス時の高体温は受精の成立を阻害している可能性を示唆している [12]。

体外受精を用いた研究では、暑熱ストレスが精子の運動性や活性の低下、アポトーシスを引き起こすことが報告されており [20, 33]、暑熱ストレスを受けた精子と受精させた場合には受精率及び胚発生率の低下が報告されている [20]。また、受精時の暑熱ストレスは卵子にも悪影響を与え、酸化ストレスやストレスマ

ーカーである Heat shock protein (HSP) の発現が増加する [33]。卵子の透明帯は多精子侵入を防止するために重要な役割を果たしているが、暑熱ストレス下で体外受精を行った卵子は透明帯硬度が低下し、多精子侵入率が増加する [33]。すなわち、高温での受精は精子、卵子そのものに悪影響を及ぼすだけでなく、多精子侵入を引き起こすことで正常な受精の成立や受精後の胚発生を阻害し、受胎率の低下を引き起こすことが示唆される。

3. 初期胚発生

受精後の母体が暑熱ストレスに曝されることも受胎率を低下させる要因の一つである。人工授精後の牛を暑熱ストレスに曝し、その後に受精胚を回収した試験は人工授精後1、3日目の母体への暑熱ストレスはそれ以降と比較し、有意に胚発生を阻害することを明らかにしている [5]。

また体外受精でも同様の結果が得られており、体外受精後0、2日目の胚は同じ高温条件 (41℃ 6h) でも発生の進んだ4、6日目胚と比較し、暑熱ストレス後の酸化ストレスの増加、抗酸化能の低下、発生阻害が認められる [9, 27-29]。牛では、受精2日目以降の8細胞期以降で胚由来の遺伝子発現が始まり、発生に必要なタンパク質の合成が劇的に増加する。それ以前は母型 (卵子) 由来の遺伝子のみが発現しており、このことが胚発生の初期に高温感受性が強く、発生が進むほど耐暑性を獲得することの要因であると考えられている [30, 31]。

4. 着床・受胎

以上のことを踏まえると、卵子～胚盤胞期までの卵巣～卵管内の時期には暑熱ストレスの影響を強く受けていることが示唆される。そのため、これらの時期を体外でバイパスする受精卵移植の有効性が指摘されている。特に凍結胚の利用は暑熱ストレスを受けない時期に作成した胚を暑熱時期に利用でき、さらに体外受精胚は大量安価に胚を作成できるためその利用価値が高いと考えられるが、現場で一般的である緩慢凍結法により作成された胚の夏季受胎率は人工授精と比較し、それほどの改善効果が得られていないのが現状である。その理由として凍結過程で胚が損傷を受け、融解後の暑熱ストレスに

対し感受性が高くなっている可能性が指摘されている [13]。つまり、夏季の受胎性改善に移植技術を用いるには、保存法を含めた改良が必要であると考えられる。

夏季には黄体のサイズ並びに血中プロジェステロン濃度が他の季節と比較し低下することが示されているほか [1, 38]、牛において妊娠維持に重要な胎子側から分泌されるインターフェロントウ (IFNt) の分泌も低下する [19]。これらは妊娠維持や着床阻害を引き起こし、受胎率低下を引き起こしていると考えられる。さらに、胎盤がまだ十分に形成されていない妊娠50日前の流産も暑熱ストレスによって高まることが報告されている [4]。高泌乳牛では、暑熱ストレスによる妊娠90日以前の流産も高まる傾向が示されている。これらのことは暑熱ストレスによって母体の栄養状態低下などにより胎盤の形成に影響があることを示唆している。

【暑熱ストレスと感染症・受胎率】

夏季の暑熱により採食量が低下するとエネルギー不足となり免疫力が低下する。そのため、乳牛にとって重要な感染症の一つである乳房炎はTHIの上昇に伴って発生数が増加する [14, 37]。また、臨床症状は示さない潜在性乳房炎の暑熱ストレスによる増加も指摘されている。夏季に受胎率が低下することは先に述べたとおりであるが、夏季に潜在性乳房炎に罹患した牛ではその受胎率はさらに低下することが報告されている [26]。すなわち、暑熱ストレスは疾病感染のリスクを高め、感染症の罹患が夏季の繁殖性低下を増大させる可能性がある。潜在性乳房炎の牛では、卵胞液中のE2濃度が低く、このことが視床下部-脳下垂体-生殖腺のホルモン分泌にも影響を与え、排卵遅延や卵子品質低下が生じ、受精後の受胎の不成立を引き起こすと考えられる。

さらに、人工授精後の血中コルチゾールや好中球の炎症性活性も高THIで上昇することが明らかとなっている。胎子の認識と着床時には免疫系の賦活化が起こり、IFNtや炎症性サイトカインの発現増加が認められるが、暑熱ストレス下では過剰な炎症性サイトカインの発現が認められ、このことも受胎の成立に影響を与えていると考えられる [1]。

【終わりに】

暑熱ストレスはあらゆる観点から繁殖性を低下させること明らかとなってきた。また、暑熱ストレスは母体の栄養状態を低下させることで、感染症を主として疾病罹患の危険性も高める。感染症の罹患は、暑熱ストレスの影響をますます悪化させ、繁殖性を低下させる可能性が高い。これらの影響を改善するには、栄養状態、感染症など飼養管理全体を念頭に置いた暑熱対策が必要であると考えられる。

References

- [1] Alhussien, M. N., Kamboj, A., Aljader, M. A., Panda, B. S. K., Yadav, M. L., Sharma, L., Mohammed, S., Sheikh, A. A., Lotfan, M., Kapila, R., Mohanty, A. K., Dang, A. K. 2018. Effect of tropical thermal stress on peri-implantation immune responses in cows. *Theriogenology* 114:149-158.
- [2] Balboula, A. Z., Yamanaka, Y., Sakatani, M., Kawahara, M., Hegab, A. O., Zaabel, S. M., Takahashi, M. 2013. Cathepsin B activity has a crucial role in the developmental competence of bovine cumulus-oocyte complexes exposed to heat shock during in vitro maturation. *Reproduction* 146:407-417.
- [3] Berman, A. Y. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68: 1488-1495.
- [4] De Rensis, F., Lopez-Gatiús, F., Garcia-Ispuerto, I., Morini, G., Scaramuzzi, R. J. 2017. Causes of declining fertility in dairy cows during the warm season. *Theriogenology* 91:145-153.
- [5] Ealy, A. D., Drost, M., Hansen, P. J. 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J. Dairy Sci.* 76:2899-2905.
- [6] Edwards, J. L., Hansen, P. J. 1996. Elevated temperature increases heat shock protein 70 synthesis in bovine two-cell embryos and compromises function of maturing oocytes. *Biol. Reprod.* 55:341-346.
- [7] Edwards, J. L., Saxton, A. M., Lawrence, J. L., Payton, R. R., Dunlap, J. R. 2005. Exposure to a physiologically relevant elevated temperature hastens in vitro maturation in bovine oocytes. *J. Dairy Sci.* 88:4326-4333.
- [8] García-Ispuerto, I., López-Gatiús, F., Santolaria, P., Yániz, J. L., Nogareda, C., López-Béjar, M., De

- Rensis, F. 2006. Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology* 65: 799–807.
- [9] Hansen, P. J., Aréchiga, C. F. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairycow. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl 2) : 36–50.
- [10] Hooper, L. M., Payton, R. R., Rispoli, L. A., Saxton, A. M., Edwards, J. L. 2015. Impact of heat stress on germinal vesicle breakdown and lypolystic changes during in vitro maturation of bovine oocytes. *J. Reprod. Dev.* 61:459-464.
- [11] Huang, C., Tsuruta, S., Bertrand, J. K., Misztal, I., Lawlor, T. J., Clay, J. S. 2009. Trends for conception rate of Holsteins over time in the southeastern United States. *J. Dairy Sci.* 92: 4641–4647.
- [12] Moghaddam, A., Karimi, I., Pooyanmehr, M. 2009. Effects of short-term cooling on pregnancy rate of dairy heifers under summer heat stress. *Vet. Res. Commun.* 33:567-575.
- [13] Mori, M., Hayashi, T., Isozaki, Y., Takenouchi, N., Sakatani, M. 2015. Heat shock decreases the embryonic quality of frozen-thawed bovine blastocysts produced in vitro. *J. Reprod. Dev.* 61:423-429.
- [14] Morse, D., Delorenzo, M. A., Wilcox, C. J., Collier, R. J., Natzke, R. P., Bray, D. R. 1988. Climatic effects on occurrence of clinical mastitis. *J. Dairy Sci.* 71:848-853.
- [15] Nabenishi, H., Outa, H., Nishimoto, T., Morita, T., Ashizawa, K., Tsuzuki, Y. 2011. Effect of temperature-humidity index on body temperature and conception rate of lactating dairy cows in southwestern Japan. *J. Reprod. Dev.* 57:450-456.
- [16] Nabenishi, H., Ohta, H., Nishimoto, T., Morita, T., Ashizawa, K., Tsuzuki, Y. 2012. The effects of cysteine addition during in vitro maturation on the developmental competence, ROS GSH and apoptosis level of bovine oocytes exposed to heat stress. *Zygote* 20:249-259.
- [17] Payton, R. R., Roma, R., Coy, P., Saton, A. M., Lawrence, J. L., Edwards, J. L. 2004. Susceptibility of bovine germinal vesicle-stage oocytes from antral follicles to direct effects of heat stress in vitro. *Biol. Reprod.* 71:1303-1308.
- [18] Polsky, L., von Keyserlingk, M. A. G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100:8645-8657.
- [19] Putney, D. J., Malayer, J. R., Gross, T. S., Thatcher, W. W., Hansen, P. J., Drost, M. 1988. Heat stress-induced alterations in the synthesis and secretion of proteins and prostaglandins by cultured bovine conceptuses and uterine endometrium. *Biol. Reprod.* 39:717-728.
- [20] Rahman, M. B., Vandaele, L., Rijsselaere, T., El-Deen, M. S., Maes, D., Shamsuddin, M., Van Soom, A. 2014. Bovine spermatozoa react to in vitro heat stress by activating the mitogen-activated protein kinase 14 signaling pathway. *Reprod. Fertil. Dev.* 26:245-257.
- [21] Rispoli, L. A., Lawrence, J. L., Payton, R. R., Saxton, A. M., Schrock, G. E., Schrick, F. N., Middlebrooks, B. W., Dunlap, J. R., Parrish, J. J., Edwards, J. L. 2011. Disparate consequences of heat stress exposure during meiotic maturation: embryo development after chemical activation vs fertilization in bovine oocytes. *Reproduction* 142:831-843.
- [22] Roth, Z., Meidan, R., Braw-Tal, R., Wolfenson, D. 2001. Delayed effects of HS on steroidogenesis in bovine preovulatory follicles. *Reproduction* 121:745-751.
- [23] Roth, Z., Hansen, P. J. 2004. Involvement of apoptosis in disruption of developmental competence of bovine oocytes by heat shock during maturation. *Biol. Reprod.* 71:1898-1906.
- [24] Roth, Z., Hansen, P. J. 2005. Disruption of nuclear maturation and rearrangement of cytoskeletal elements in bovine oocytes exposed to heat shock during maturation. *Reproduction* 129:235-244.
- [25] Roth, Z. 2008. Heat stress, the follicle, and its enclosed oocyte: mechanisms and potential strategies to improve fertility in dairy cows. *Reprod. Domest. Anim.* 43: 238-244.
- [26] Roth, Z., Wolfenson, D. 2015. Comparing the effects of heat stress and mastitis on ovarian function in lactating cows: basic and applied aspects. *Domest. Anim. Endoc.* 56:S218-S227.
- [27] Sakatani, M., Kobayashi, S., Takahashi, M. 2004. Effects of heat shock on in vitro development and intracellular oxidative state of bovine preimplantation embryos. *Mol. Reprod. Dev.* 67: 77–82.
- [28] Sakatani, M., Suda, I., Oki, T., Kobayashi, S., Kobayashi, S., Takahashi, M. 2007. Effects of purple sweet potato anthocyanins on development and intracellular redox status of bovine preimplantation embryos exposed to heat shock. *J. Reprod. Dev.* 53: 605–614.
- [29] Sakatani, M., Yamanaka, K., Kobayashi, S., Takahashi, M. 2008. Heat shock-derived reactive oxygen species induce embryonic mortality in in vitro early stage bovine embryos. *J. Reprod. Dev.* 54: 496–501.
- [30] Sakatani, M., Balboula, A. Z., Yamanaka, K.,

- Takahashi, M. 2012. Effect of summer heat environment on body temperature, estrous cycles and blood antioxidant levels in Japanese Black cow. *Anim. Sci. J.* 83 : 394-402.
- [31] Sakatani, M., Alvarez, N. V., Takahashi, M., Hansen, P. J. 2012. Consequences of physiological heat shock beginning at the zygote stage on embryonic development and expression of stress response genes in cattle. *J. Dairy Sci.* 95: 3080–3091.
- [32] Sakatani, M., Bonilla, L., Dobbs, K. B., Block, J., Ozawa, M., Shanker, S., Yao, J., Hansen, P. J. 2013. Changes in the transcriptome of morula-stage bovine embryos caused by heat shock: relationship to developmental acquisition of thermotolerance. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 11: 3.
- [33] Sakatani, M., Yamanaka, K., Balboula, A. Z., Takenouchi, N., Takahashi, M. 2015. Heat stress during in vitro fertilization decreases fertilization success by disrupting anti-polyspermy systems of the oocytes. *Mol. Reprod Dev.* 82:36-47.
- [34] Sakatani, M., Yamanaka, K., Balboula, A.Z., Takahashi, M. 2017. Different thermotolerance in in-vitro-produced embryos derived from different maternal and paternal genetic backgrounds. *Anim. Sci. J.* 88:1934-1942.
- [35] Tanaka, M. Kamiya, Y., Kamiya, M., Nakai, Y. 2007. Effect of high environmental temperatures on ascorbic acid, sulfhydryl residue and oxidized lipid concentrations in plasma of dairy cows. *Anim. Sci. J.* 78:301-306.
- [36] Thom, E.C. 1959 The discomfort index. *Weatherwise* 12:57-69.
- [37] Waage, S., Sviland, S., Ødegaard, S.A. 1998. Identification of risk factors for clinical mastitis in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 81:1275-1284.
- [38] Wolfenson, D. Roth, Z., Meiden, R. 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61: 535-547.
- [39] 阪谷美樹 . 2015. 暑熱ストレスが産業動物の生産性に与える影響. *産業動物臨床医誌* 5 : 238-246.
- [40] 菅沢早苗、加瀬道生、森清之、川名清和、増戸弘典、鈴木延夫、矢光潤. 2001. 暑熱時における乳牛の受胎成績と施設及び環境との関連. *家畜人工授精* 204:55-61.
- [41] 竹之内直樹、福重直輝 2013. 発情行動・微弱発情 *日本胚移植学雑誌* 35 : 97-108.

Effect of heat stress on bovine reproduction

Miki Sakatani

Division of Animal Feeding and Management Research,
Institute of Livestock and Grassland Science,
National Agriculture and Food Research Organization (NARO)
768 Senbonmatsu, Nasushiobara, Tochigi 329-2793 Japan
Tel/Fax: +81-287-37-7810

[Abstract]

The effect of the summer heat stress on reproduction has been a crucial issue in the beef and dairy industries. The elevation of body temperature induced the negative energy balance which alters the ovarian function and the steroid hormone secretions. These changes increase the weak estrus behavior and disrupt the estrus cycles. They lead to lower number of breeding in summer. In addition, the decrease of ovarian function such as lower estradiol concentration, small corpus luteum size and lower progesterone concentration affects the oocyte quality. In vitro experiments revealed that heat stress induced the oxidative stress levels and apoptosis in oocytes and led to the lower developmental competence. The heat stress affects not only oocyte quality but also the fertilization success and early embryonic development. Early stage embryos showed higher mortality than those of advanced stage embryos and the oxidative stress has a crucial role. Although advanced stage embryos showed heat tolerance, the freezing treatment compensates the heat tolerance and frozen-thawed blastocysts showed higher heat sensitivity than those of non-frozen blastocysts. On the other hand, the negative energy balance due to the heat stress has a greater risk for infective diseases such as mastitis. Mastitis results in the lower conception rate due to the decrease of oocyte quality. Therefore, summer heat stress affects the reproduction in cattle by various aspects.

Keywords: Bovine, Embryo, Heat stress, Reproduction