

乳牛の繁殖性低下の現状と繁殖技術による受胎性向上

今井 敬

酪農学園大学農食環境学群循環農学類

はじめに

近年の乳牛は泌乳量と飼養頭数の増加に伴う飼養環境の変化により、人工授精の受胎率が年々低下している。その結果、分娩間隔の延長および繁殖障害による淘汰率の上昇を招き、低受胎率は乳房炎と並び酪農経営における損失の要因として上げられるようになった。この原因としては牛個体の発情の微弱化および発情持続時間の短縮など牛の発情行動に起因する発情発見率の低下、多頭数飼育の飼養管理に起因する発情発見に費やせる時間の短縮、泌乳量の増加による負のエネルギーバランスなど栄養学的な問題があげられている。本稿ではこれら乳牛における受胎率に関与する事項について考察する。

1. 乳牛における人工授精の受胎率の現状

乳牛における人工授精の受胎率の低下が報告されている。図1に家畜改良事業団による配布精液を用いた人工授精の未経産牛と経産牛を合わせた

初回受胎率の25年間の推移を示した。1989年に62%であった受胎率は年々減少し、2013年には44%となり、25年間で18ポイント減少している。また、北海道家畜人工授精師教会の調査では、北海道における人工授精の成績はここ30年間に初回受胎率は経産牛で55%から37%へ18ポイント低下し、未経産牛では65%から55%へ10ポイント低下している。

これら低下の原因として繋ぎ牛舎による個体管理からフリーストールあるいはフリーバーン牛舎による群管理への移行による飼養管理の複雑化、牛の繁殖行動（発情行動）への制約を与えるコンクリート牛床など牛舎構造の変化による発情行動の減少や発情持続時間の短縮などが挙げられている。これら発情行動の微弱化に関しては、泌乳量の増加に伴い採食量が増加し、代謝のために肝臓への血流量が増加したことで、卵巣で産生されるエストロゲンやプロゲステロンが肝臓で代謝され血液中の濃度が低下することも大きく関わっ

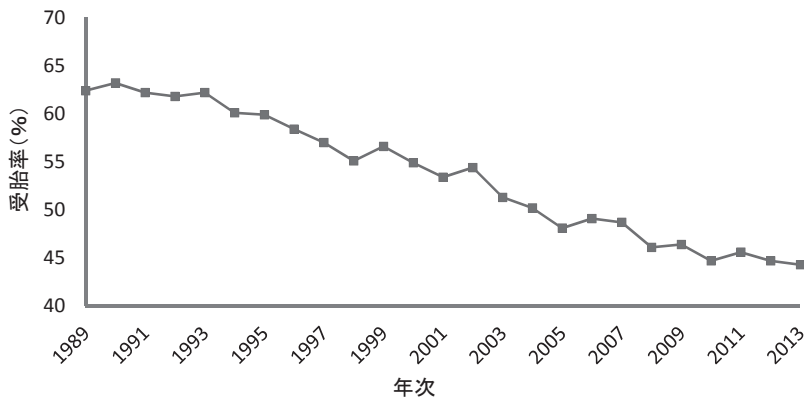


図1. 家畜改良事業団配布精液を用いた乳用牛における初回人工授精の受胎率（家畜改良事業団調べ）

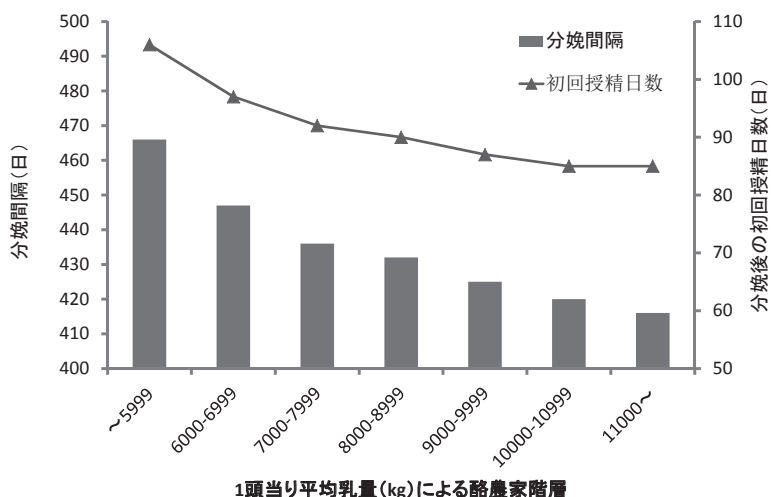


図2. 北海道の酪農家における乳量別の分娩間隔および初回授精日数(北海道酪農検定検査協会調べ)

ている¹⁾。また、経産牛では泌乳量の増加による負のエネルギーバランスが早期化および長期化することで、脂肪肝や潜在性ケトーシスの罹患率が高くなり繁殖成績が低下すると考えられている²⁾。さらに、高泌乳牛ではエネルギーバランスの改善のために穀物飼料が多給される傾向にあり、乳牛の職業病といわれる潜在性アシドーシスになる可能性が高くなり、卵胞囊腫など卵巣機能の低下の原因となっている³⁾。負のエネルギーバランスが長期間継続することで、初回排卵や初回発情の遅延あるいは初回発情は観察されるものの、その後無発情になる牛が多くなり空胎期間の延長に繋がっている⁴⁾。

一方、図2に北海道の酪農家における乳量別の分娩間隔および初回授精日数を示した。この図から1頭当たりの平均乳量が11,000 kg以上の酪農家が最も分娩間隔が短く、初回授精日数が早いことが窺え、平均乳量が少なくなるほど分娩間隔および初回授精日数が遅くなる傾向があることが示されている。これはこれまでの乳量が多くなったために人工授精の受胎率が低下しているという仮説と相反するデータとなっている。しかしながら、乳量は各酪農家の飼養管理および改良の成否を示しており、飼養管理の良い牛群は分娩後の子宮回復が早く、発情回復も早いことが考えられる。一

方、乳量の少ない牛群は粗放的な飼養管理をされていることが多く、結果として分娩間隔が長くなっていると考えられる。

2. 乳牛における複数排卵および双子の増加

受胎率の低下の他に乳牛に特徴的な問題として2つ以上の卵子を排卵する(複数排卵)牛が増えていることが上げられる。牛は本来1つの卵子を排卵する単胎動物である。しかしながら、Lopez et al.⁵⁾は乳量が増加すると複数排卵が増加すること、特に日乳量が40 kgを超えるとその頻度が上昇することを報告している(図3)。この原因として乳量の多い牛はエネルギー摂取量が高く、肝

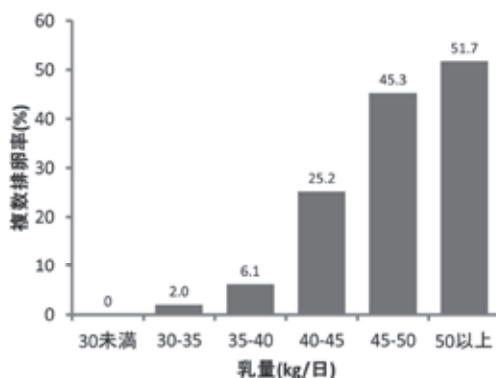


図3. 発情前の日乳量と複数排卵の発生頻度

臓への血流量が高くなるため、黄体や卵胞で産生されたプロゲステロンやエストロジオールが肝臓で分解され、それらホルモンの血中濃度が低下するため、それらのホルモンによる負のフィードバックが十分に働かず、結果として2つの卵胞が成長し、その卵胞がLHサージに反応して排卵することになり⁶⁾、双子妊娠・分娩が増加している⁷⁾。この双子分娩率は初産牛よりも産次を重ねた牛ほど多く、1980年代に生まれた種雄牛よりも1991年以降に生まれた種雄牛の娘牛で高かった⁸⁾。また、1996年から2004年の調査では双子率は3.4%から4.8%に上昇し、子牛の死亡率は単子では5.0%であったが双子では25.5%と報告されている⁹⁾。日本の報告では1991年以前に生まれた種雄牛の娘牛の双子率は2.3%であり、1992年以降の種雄牛の娘牛では3.4%と報告され¹⁰⁾、北米と同様の傾向を示した。さらに、双子分娩では子牛の死亡率、後産停滞の発生率および子宮内膜炎の発生率が高く、分娩牛の淘汰率が高いことが報告されている¹¹⁾。

3. 人工授精による受胎率低下の対策

人工授精の受胎率低下の予防及び改善のために分娩後30日前後におけるフレッシュチェックが実施され、初回排卵などの卵巢機能および子宮の回復状況を調査する。また、牛群の健康状態や生産効率を維持向上させるために血液検査による代謝プロファイルテストが実施され、エネルギーやタンパク質の代謝、肝機能、ケトosisおよびア

シドーシスなどの疾病の有無、ボディコンディションスコア(BCS)などが検査され、牛群の健康状態の把握や異常牛の抽出が可能となっている¹²⁾。エネルギー摂取および肝臓の代謝機能とその後の繁殖成績の関連が明らかとなり、人工授精の受胎率に関して一定の効果を上げているが、初回受胎率の低下は現在も継続している。

表1に北海道の各地方の人工授精の成績を示した。ここでまず目を引くのがB地区における初回授精受胎率の高さである。B地区では他の地域よりも初回授精受胎率が10から20%高い53.9%を記録している。平均授精回数は1.94回であり、北海道平均よりも少ない。また、総妊娠率が91.7%と最も高く多くの牛を受胎させている。これは酪農家と人工授精を実施する術者の協力により牛の発情状態の稟告や把握などが確実になされた結果と考えられる。一方、分娩期間は他の地域と差は認められず435日となっている。この原因として初回授精日数が95日と一番遅いことも一因であるが、90%以上と総妊娠率を高くするために延長されたと考えられる。一般に現在の乳牛の受胎性は子宮および卵巢機能の回復が遅く分娩後150日くらいまでは上昇すると考えられており、初回人工授精よりも2回目、3回目の方が受胎率は高いことが報告されている⁴⁾。E地区は初回授精日数が最も早い地区であるが、初回授精受胎率は34.5%と低い結果となっている。次にA地区は平均授精回数が最も少ない1.75回を記録している。しかしながら、総妊娠率は74.8%と低い結

表1. 北海道各地区における人工授精による受胎性と乳量

地区*	A	B	C	D	E	全道
初回授精受胎率(%)	38.8	53.9	44.3	36.7	34.5	37.2
平均授精回数(回)	1.75	1.94	1.92	2.13	2.17	2.08
初回授精日数(日)	89	95	88	90	84	88
分娩間隔(日)	426	435	420	428	427	428
総妊娠率(%)	74.8	91.7	83.1	84.1	84.4	82.9
乳量(kg)	9,748	9,054	9,739	9,952	8,793	9,306

*13地区より5地区を抜粋

北海道家畜人工授精師協会および北海道酪農検査検定協会調べより作成

果となっており、人工授精に対する地区ごとの考え方の違いがあると考えられる。C地区は全ての項目で全道平均を上回っており、特に分娩間隔はもっとも短い420日を記録している。D地区は乳量が最も多く全道平均と乳量を比較すると600kg以上も多くなっているが、各項目について全道平均と同様な数値を示している。このことから乳量の増加だけが人工授精成績の悪化の原因でないことが示されている。

これらのことから初回授精受胎率を高くするにはフレッシュチェックや定期的な繁殖健診により十分な子宮および卵巣の回復を確認すること、また牛の健康状態の把握に努め、画一的な人工授精をすることが重要であると考えられる。

4. 性選別精液の利用における受胎率の向上

近年、精子の性選別技術の発展により、雌選別精液を利用した雌牛生産により後継牛を安定的に確保することが考えられる。雌選別精液を用いた人工授精では未経産牛の方が経産牛よりも受胎率が高く、未経産牛では通常精液の70-80%であり、経産牛ではさらに低下すると報告されている¹³⁻¹⁵⁾。表2に性選別精液を用いた人工授精の受胎率を示した。一般の精液を用いた未経産牛の受胎率は40-58%を記録するなかで、性選別精液

では32-46%の受胎率を示し、上記の報告のとおり一般精液の70-80%を示している¹⁶⁻²⁰⁾。一方、経産牛では性判別精液は25-41%の受胎率を示し、一般精液の受胎率の65-85%を示している¹⁸⁻²¹⁾。欧米の精液供給会社では経産牛の人工授精において性選別精液の使用を推奨しておらず、未経産牛に使用すべきとしている。しかしながら日本では経産牛においても比較的良好的な受胎率が得られている。また、家畜改良事業団が開発した性選別精液の凍結法である二層式ストロー(FCMax)は未経産牛および経産牛ともに受胎率が約6%上がると報告されている²²⁾。

平成27年の北海道における性選別精液の利用は未経産牛(実頭数)で14.7%であり²³⁾、仮に通常精液の受胎率が50%、性選別精液の受胎率が通常精液の80%だとすると未経産牛の受胎率は約1.6ポイント低下していることになる。また、雌選別精液を利用した受精卵の採取も検討され、採取した雌受精卵の移植による受胎率は一般の受精卵と変わらないこと、雌選別精液を用いて妊娠した牛の93%が雌子牛を出産すると報告されている²⁴⁾。乳牛の増産や後継牛の安定的な確保という観点から雌選別精液の利用は必須と考えられ、受胎率の向上が望まれている。現状では人工授精に受胎率低下のリスクはあるものの、未経産牛か

表2. 性選別精液を用いた人工授精による受胎率

品 種	産 歴	受胎率 (%)		文 献
		性選別精液	一般精液	
ホルスタイン種	未経産牛	44	55	Djedović et al, 2016 (16)
		32	40	Healy et al, 2013 (17)
		39	56	Norman et al, 2010 (18)
		46	58	木村ら, 2009 (19)
		45	-	GH 北海道, 2008 (20)
	経産牛	25	30	Norman et al, 2010 (18)
		25	38	Schenk et al, 2009 (21)
		34	40	木村ら, 2009 (19)
		41	-	GH 北海道, 2008 (20)
		30	48	木村ら, 2009 (19)
黒毛和種	未経産牛	53	59	木村ら, 2009 (19)
	経産牛	30	48	木村ら, 2009 (19)

ら後継雌牛を効率的に生産可能である。さらに、雌子牛を分娩した牛の難産や死産は少なく、空胎期間は雄子牛を分娩した牛よりも短くなることが報告され、分娩間隔を改善する一つの方法として活用が可能と考えられている²⁴⁾。将来的には雌の受精卵として流通すれば、受胎率低下のリスクはさらに低減され、より酪農家が利用しやすい技術となると考えられる。

性選別精子による人工授精において精液の注入位置は受胎率に影響しないとされていた。すなわち、子宮体と子宮角（浅部）への注入では受胎率に差はなかった²⁵⁾。しかしながら、砂川²⁶⁾は過剰排卵処理の人工授精において受精卵移植に用いる受精卵の深部注入器（モ-4号、ミサワ医科工業）を用いることにより採取した卵の正常受精率が向上することを報告した。また、砂川²⁷⁾はこの精液の子宮内深部注入を人工授精にも適用して一般精液の人工授精と比較して差のない50%の受胎率を得ている。さらに、性選別精液の深部注入と浅部注入を比較し、有意に高い受胎率であることを報告した。一方、加藤ら²⁸⁾は深部注入器（モ-4号および新型のモ-5号）を用いて人工授精することで、浅部注入よりも有意に高い受胎率が得られ、また、Anら²⁹⁾も深部注入することで一般精液と比較しても差が認められない高い受胎率を得ている（表3）。

5. 乳牛の繁殖管理への受精卵移植の応用

乳牛の繁殖では四季を通じて繁殖率および受胎率を落とさないことが理想である。しかしながら、

現状では暑熱ストレスの影響を受ける夏の人工授精による受胎率は低く³⁰⁾、夏に人工授精を実施しない農家も数多くある。牛乳の需要は夏に一番高くなると考えられ、春に分娩させ夏に牛乳を出荷できる牛の頭数を多く確保することが重要と考えられる。しかしながら、春分娩ということは夏に人工授精して妊娠させることが必要となり、暑熱ストレスを受けた乳牛の繁殖生理を考えると非常に難しい。この暑熱ストレスの影響を低減する方法として受精卵移植の利用が考えられる³¹⁾。事実、体外新鮮卵を定時移植した時の受胎率は定時人工授精の受胎率よりも高いことが報告されている³²⁾。また、受精卵移植では採取した受精卵を凍結保存した後、受卵牛に移植することが可能となる。すなわち、受精卵の採取を夏以外の季節に実施することで暑熱ストレスを回避した受精卵を移植することが可能であり、暑熱期においてもある一定の割合で受胎が確保できる。

日本において受精卵移植の受卵牛は約70%が乳牛である。前述のように人工授精の初回授精受胎率は年々低下しているが、体内受精卵による受精卵移植はここ15年以上受胎率が新鮮卵で50-52%、凍結卵で45-46%と安定しており、また、体外受精卵による受精卵移植においても新鮮卵の受胎率は40%前後で変わらないが凍結卵は受胎率が34%から39%へ改善されている（図4）。これらのことから乳牛の経産牛における受胎率は人工授精より受精卵移植の方が高いと考える技術者も増えている。すなわち、受精卵移植は夏期の利用に限らず、四季を通じて比較的安定した受胎率

表3. 子宮角深部へ性選別精液を注入された未經産牛の受胎率

使用注入器	受胎率 (%)			文 献
	対 称	子宮角深部	子宮体・浅部	
モ-4号	55	50	-	砂川, 2012 (26)
モ-4号	-	51	27	砂川, 2013 (27)
モ-4・5号	47	50(57*)	21	加藤, 2015 (28)
	60	53		An et al, 2010 (29)

* モ-5号を使用時の受胎率

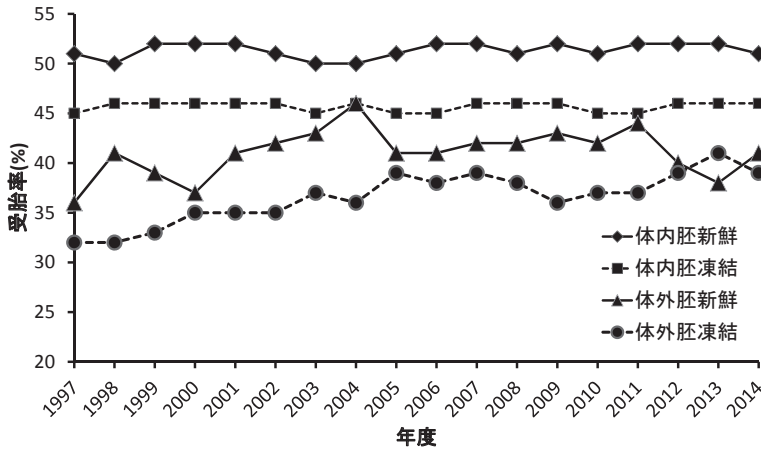


図4. 体内および体外受精卵の移植における受胎率の推移

農林水産省調べより作図

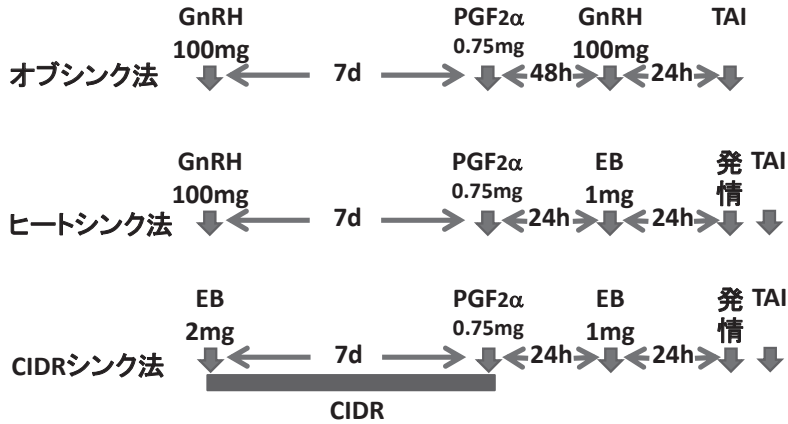


図5. 種々の発情・排卵同期化法と定時人工授精

EB：安息香酸エストラジオール TAI：定時人工授精 CIDR：腔内留置型黄体ホルモン製剤

が得られる技術として提供されている。

また、近年ではリピートブリーダーへ人工授精を行い、7日後に受精卵移植する追い移植が多く実施されるようになった。追い移植では2回繁殖の機会があり、高い受胎率が得られる可能性が高い。正常な供試牛へ新鮮卵を追い移植した結果は100%と91%と非常に高い受胎率を示した^{33, 34)}。これら1980年代後半から1990年代に掛けては追い移植は双子生産を目的として実施されていた。

6. 排卵同期化による定時人工授精による妊娠率の向上

分娩後に発情の来ない牛および発情発見率が低い牛群では空胎日数を少なくするために、生理的空胎期間が終了したら発情誘起が実施されることが多い。一般的な発情誘起は直腸検査をして黄体の存在する牛に対してプロスタグランジン F2α (PGF2α) を投与し、2-4日後に発情が発現する方法が取られる。しかし、この方法は初回排卵しておらず黄体がない牛には使えない。さらに、発情観察による発情発見を必要とし、発情発見率の

低い牛群に有効とはいえない。そこで、図5に示すようなオブシンク法³⁵⁾、ヒートシンク法³⁶⁾、CIDR シンク法³⁷⁾などの発情・排卵同期化法が用いられる。オブシンク法は排卵同期化法であり、定時人工授精に使われる。ヒートシンク法は卵胞波の調節とPGF2 α 後に投与する安息香酸エストラジオール(EB)の影響で明瞭な発情行動が観察できるのが特徴の一つである。また、CIDRシンク法はCIDRにより血中黄体ホルモン濃度が高くなるため、初回発情を示していない牛でより効果の高い同期化法と考えられる。また、これらの方法は少しずつ改良が重ねられ、定時人工授精の時間が少しずつ変わっている。その他の方法としてプレシンク法³⁸⁾およびダブルオブシンク法³⁹⁾などが考案され、改良が重ねられ、オブシンク法やヒートシンク法を単独で用いるよりも高い受胎率が望めると報告されている^{38,39)}。しかし、これらの方法は数多くの薬剤投与を必要とし、GnRHおよびPGF2 α の高い日本では全ての対象牛に適用するのは難しいと考えられる。

このように発情・排卵同期化法を用いて人工授精することで、計画的に交配できる。また、受胎率も自然発情による人工授精と遜色がないと報告されており、人工授精の機会を増やすことで牛群全体の妊娠率を向上させることが可能となる。さらに、これらの方法で発情・排卵同期化した牛は受精卵移植にも適用できることから、繁殖方法の選択肢を広げることが可能である。

おわりに

乳牛の人工授精の受胎率はここ20年間で徐々に低下してきた。しかしながら欧米ではフランスや米国のように人工授精の受胎率が回復してきた国もあるといわれている。これは牛の改良はもちろんのこと牛舎環境の改善、栄養生理学的な改善および定時人工授精、受精卵移植、性選別精液などを駆使した繁殖技術の進展が関係していると考えられる。牛の改良増殖には生体卵子吸引と体外受精による受精卵生産技術や生殖工学に関連する技術が必要になると考えられている。今後も引き

続きこれらの技術の研究開発に携わっていきたいと考える。

引用文献

- 1) Sartori, R., J.M. Haughian, R.D. Shaver, G.J. Rosa & M.C. Wiltbank (2004), *J. Dairy Sci.*, 87: 905-920.
- 2) 及川伸 (2015), *日獣会誌*, 68: 33-42.
- 3) 大場真人 (2012), *移行期を科学する*, 43-47, デーリィ・ジャパン社, 東京.
- 4) 堂地修 (2016), *乳牛改良で生産性向上*, 160-168, デーリィマン社, 東京.
- 5) Lopez, H., R. Sartori & M.C. Wiltbank (2005), *Biol. Reprod.*, 72: 788-795.
- 6) Wiltbank, M.C., P.M. Fricke, S. Sangsritavong, R. Sartori & O.J. Ginther (2000), *J. Dairy Sci.*, 83: 2998-3007.
- 7) Fitzgerald, A.M., D.P. Berry, T. Carthy, A.R. Cromie & D.P. Ryan (2014), *J. Anim. Sci.*, 92: 966-973.
- 8) Johanson, J.M., P.J. Berget, B.W. Kirkpatrick & M.R. Dentine (2001), *J. Dairy Sci.*, 84: 2081-2088.
- 9) Silva-Del-Río, N., S. Stewart, P. Rapnicki, M. Chang & P.M. Fricke (2007), *J. Dairy Sci.*, 90: 1255-1264.
- 10) Masuda, Y., T. Baba & M. Suzuki (2015), *Anim. Sci. J.*, 86: 31-36.
- 11) Andreu-Vázquez, C., I. Garcia-Ispuerto, S. Ganau, P.M. Fricke & F. López-Gatiús (2012), *Theriogenology*, 78: 2061-2070.
- 12) Kida, K. (2002), *J. Vet. Med. Sci.*, 64: 1003-1010.
- 13) Seidel, G.E. Jr. (2003), *Theriogenology*, 59: 585-598.
- 14) Seidel G.E. Jr. (2014), *Animal*, 8: 160-164.
- 15) Karakaya, E., G. Yilmazbas-Mecitoglu, A. Keskin, A. Alkan, U. Tasdemir, J.E. Santos & A. Gumen (2014), *Reprod. Domest. Anim.*, 49: 333-337.

- 16) Djedović, R., V. Bogdanović, D. Stanojević, Z. Nemes, A. Gáspárdy & S. Cseh (2016), *Acta Vet. Hung.*, 64: 229-238.
- 17) Healy, A.A., J.K. House & P.C. Thomson (2013), *J. Dairy Sci.*, 96: 1905-1914.
- 18) Norman, H.D., J.L. Hutchison & R.H. Miller (2010), *J. Dairy Sci.*, 93: 3880-3890.
- 19) 木村博久 (2009), 家畜人工授精, 251 : 1-16.
- 20) ジェネティクス北海道, 性選別精液 (GH-X-F, GH-Y), ホームページ <http://www.genetics-hokkaido.ne.jp/250-gh-xf/250-hg-xf.html>.
- 21) Schenk, J.L., D.G. Cran, R.W. Everett & G.E. Seidel Jr. (2009), *Theriogenology*, 71: 717-728.
- 22) 内山京子, 湊芳明 (2015), 人工授精用ストロー, 特許第 5738314 号.
- 23) 北海道家畜人工授精師協会 (2016), 人工授精通信, 375 : 12.
- 24) 萩原精一, 菅野智裕, 伊藤純一, 廣田和久, 永野昌志, 片桐成二 (2016), 日獣会誌, 63 : 383-389.
- 25) 湊芳明 (2008), 家畜人工授精, 245 : 21-34.
- 26) 砂川政弘 (2012), 日本胚移植学雑誌, 34 : 91-95.
- 27) 砂川政弘 (2013), 家畜人工授精, 275 : 11-14.
- 28) 加藤聡 (2015), 畜産技術, 719 : 36-39.
- 29) An, L., Z.H. Wu, Y.F. Wu, X.L. Zhang, X. Liu, Y.B. Zhu, W.M. Cheng, H.M. Gao, M. Guo & J.H. Tian (2010), *Reprod. Domest. Anim.*, 45: e344-350.
- 30) Schüller, L.K., O. Burfeind & W. Heuwieser (2016), *J. Dairy Sci.*, 99: 2996-3002.
- 31) Demetrio, D.G., R.M. Santos, C.G. Demetrio & J.L. Vasconcelos (2007), *J. Dairy Sci.*, 90: 5073-5082.
- 32) Al-Katanani, Y.M., M. Drost, R.L. Monson, J.J. Rutledge, C.E. Krininger 3rd, J. Block, W.W. Thatcher & P.J. Hanse (2002), *Theriogenology*, 58: 171-182.
- 33) 鈴木修, 下司雅也, 米内美晴, 坂口実 (1996), 日畜会報, 67 : 732-739.
- 34) 堂地修, 今井敬, 高倉宏輔, 武田哲夫, 橋谷田豊, 高橋博人, 有山健一 (1989), 北海道牛受精卵移植研究会会報, 8 : 26-30.
- 35) Pursley, J.R., M.O. Mee & M.C. Wiltbank (1995), *Theriogenology*, 44: 915-923.
- 36) Barros, C.M., M.B. Moreira, R.A. Figueiredo, A.B. Teixeira & L.A. Trinca (2000), *Theriogenology*, 53: 1121-1134.
- 37) Ryan, D.P, J.A. Galvin & K.J. O'Farrell (1999), *Anim. Reprod. Sci.*, 56: 153-168.
- 38) Keith, B.R., K.E. Leslie, W.H. Johnson & J.S. Walton (2005), *Theriogenology*, 63: 722-738.
- 39) Souza, A.H., H. Ayres, R.M. Ferreira & M.C. Wiltbank (2008), *Theriogenology*, 70: 208-215.