高温環境下における乳牛の熱収支と乳生産

柴 田 正 貴

農林水産省熱帯農業研究センター，茨城県谷田部町 305

Thermal Balance and Lactation of Dairy Cattle in a Hot Environment

Masaki SHIBATA

Tropical Agriculture Research Center, MAFF Yatabe, Ibaraki 305

高温による家畜の生産性低下は古くから諸外国の研究によって注目され、特に乳牛においては、高温と生理・生産反応との関係、生理的立場からの適温の検討あるいは体温調節機構の解明など活発な研究が、主に米英両国においてなされてきた。これら家畜環境生理学の研究領域については、すでに山本²⁷⁷⁾が広く体系的に総説しているが、本稿では、高温と乳牛の生産機能との関係について、米、英およびわが国でこれまで行われた主な研究の流れを概観するとともに、高温環境が乳牛の乳生産に及ぼす影響ならびに乳牛の生産機能低下防止技術について考察する。

米、英およびわが国における高温と 乳牛の生理・生産反応に関する研究

米国では、ミズリー大学および同農業試験場において1948年以来、BRODY⁵²⁾を中心として広範な研究がなされ、また、その後JOHNSONらに引きつがれ、現在に至ってもそのPsychroenergetic laboratory²⁵⁰⁾を用いた環境生理学的研究は継続されている¹⁶⁵⁾。これらの研究成果は、Research Bulletinの中で、Environmental Physiology シリーズとして数多く刊行された(表1)が、それらの成果は、BRODYの総説⁵⁵⁾、著作⁵⁶⁾、JOHNSON^{120,121,123,124)}、およびYECK and STEWART²⁸⁰⁾の総説に詳しい。

また、McDOWELLはベルツビル農業研究センターにおいて、LEEらと乳牛の耐暑性^{150,151)}、発汗¹⁵²⁾に関する試験、自然環境下における夏期の高温の影響の解析^{148,158)}、およびMOODYらと人工気候室におけるエネルギー

と水の利用率に関する試験¹⁵⁴⁾などを行い、近年では開発途上国への技術援助の一環としてメキシコなどで野外記録の解析を行っている¹⁵⁷⁾。これら一連の成果は、彼の著作¹⁵⁵⁾、総説^{153,156)}に反映されているが、それらはミズリーグループの温熱環境に対して生理学的な検討を行ったものと異なり、温・熱帯地域における家畜飼養を栄養学的な見地から考慮し、提言したものとなっている。

そのほか、アリゾナにおいてはSTOTTらが、高温環境に対する粗繊維給与量低下の効果²³¹⁾や繁殖機能²³²⁻²³⁹⁾などについて実験を行い、THATCHER, ROMAN-PONCEらフロリダ大学のグループは、自然環境下における乳量や繁殖機能に及ぼす季節や環境の影響^{87-89,248)}および、ひ陰の効果^{204,205)}を検討した。またハワイ大学のSTANLEYは、OLBRICHらおよびUEYAMAらとともに乳量、乳成分に対する粗飼料給与水準²³⁰⁾ならびに第一胃内pH緩衝剤給与^{228,229)}の影響についての実験を行った。

これら米国における研究において特筆すべきことは、農業工学者が研究グループに参画し、主体的な役割を果たしたことである。ミズリーにおいては、YECKおよびSTEWARTが家畜環境生理学グループに参加するとともに環境工学的研究をも行った^{60,279)}。また、HAHNは牛舎冷房導入の採算性について米国各地域ごとに考察を加え^{92,93)}、合理的な畜舎および管理施設についての提言を行っている^{96,97)}。

アリゾナにおいては、WIERSMAがSTOTTと共同研究を行って蒸散冷房を普及せしめ²⁶⁴⁾、アリゾナやテキサス

表 1. ミズリー大学農学部研究報告 環境生理学シリーズ

研究項目**	Bull. No.***
研究の背景	423
乳量・乳成分・飼料摂取量	
環境温度・湿度	425, 436, 449, 460, 471, 485*, 521, 522, 578, 683, 687*, 688*, 786, 791, 846, 865, 902
風・放射熱	522, 545, 556
血液性状・成分・量	433, 488, 562, 608, 639*, 688*, 785
熱発生量・心肺機能	
温・湿度	435, 450, 464, 473, 601, 643, 743, 793, 862
放射熱	574
熱放散機能・体温調節	
温・湿度	451, 461, 479, 481, 484, 489, 497, 522, 531, 600, 645, 656, 701, 759, 792
風・放射熱	548, 552, 561, 574
被毛	616, 802
第一胃・直腸・血液温度	593
比較生理	515, 646, 648
順化	893, 916
甲状腺機能	576, 579, 649, 709, 710
成長	642, 646, 656, 705, 710, 770
卵巣機能	704
牛舎内温熱環境	542, 595, 618, 794
放射冷房	662*, 670*, 808

*環境生理学シリーズに含まれていない。

**表題より選択・分類した。

***多項目にわたるものは、すべての項目に重複して記した。

など夏期の湿度が極端に低い地方では画期的な成功をおさめたとしている²⁴⁰⁾。また、ミシシッピ州立大においても、BROWN, FUQUAY らが蒸散冷房についてその効果を検討する⁵⁸⁾とともに、天井の断熱、屋根への散水等が乳牛の生理・生産反応に及ぼす効果についても検討した⁷⁶⁾。これら米国における家畜の飼養環境に対する研究の成果と今後の展望は、広く畜産研究者をも含んだシンポジウムの Proceedings として刊行されており⁴⁾、家畜の飼養環境についての研究に対する農業工学会側の熱意を示しているものといえよう。

英国ではハナー酪農研究所(HDRI)において、FINDLAY が家畜環境生理学に関する研究を開始し^{71,72)}、JENKINSON, BEAKLEY, WHITTOV らとともに汗腺の形態と機能⁷³⁾、子牛の生理反応²³⁻²⁸⁾および panting のエネルギーコスト²⁶⁸⁾などについて研究を行った。さらに BIANCA^{33-36,38,40)}も家畜環境生理に関する研究を広く進め、また、牛の高温環境下における生理・生産反応について多くの総説^{87,89,41,42)}を発表した。これら HDRI における研究については山本²⁷⁷⁾の総説に詳しく述べてあるので、本稿

では重複を避けるが、FINDLAY を中心としたグループは、家畜の体温調節研究に大きく貢献したものと見える。

一方、FINDLAY らの研究と並行して HDRI では、BLAXTER⁴³⁾を中心として ARMSTRONG ら¹¹⁻¹⁵⁾ GRAHAM⁸⁴⁾、WAINMAN らによって栄養学的な観点から、特にエネルギー代謝を中心として体内における熱の産生とその放散がとりあげられ、それらに及ぼす風の影響⁴⁷⁾、臨界温度⁴⁵⁾、熱的中性圏あるいは第一胃内 VFA と熱増加の関係¹¹⁻¹⁵⁾が明らかにされた。これらの研究の成果は、代謝エネルギーを基礎とした英国飼養標準^{1,2)}の作成に大きく寄与するとともに BLAXTER⁴⁸⁾によってまとめられ、温熱環境と家畜の熱収支を論じたのみならず広く家畜のエネルギー代謝を明らかにしたものとして、BRODY⁵⁶⁾の“Bioenergetics and Growth”および KLEIBER¹⁴⁰⁾の“The Fire of Life”とともに家畜のエネルギー代謝に関する三大著作とも見える。

わが国では岡本が、早くから家畜に対する暑熱の影響に着目し、鹿児島大学において家畜の耐暑性に関する研究¹⁸³⁾を開始し、その後西山ら¹⁷⁷⁾、古賀ら¹⁸⁴⁾とともに

乳牛の耐暑性の遺伝について統計分析を加えるなど幅広い研究活動を行うとともに、環境生理に関するすぐれた著作¹⁸⁶⁾を著した。

広島大学においては、三村がめん羊の生産性についての研究を行い、その後、朝日田¹⁶⁻¹⁸⁾とともに体温調節機能について、さらに山本、伊藤らと家畜の体感温度に関する研究^{162, 274-276)}を行った。また、三村は、環境生理学を柱とした家畜管理学の体系化に努め、総説¹⁶⁰⁾、著作¹⁶¹⁾を発表し、森田とともに「家畜管理学」¹⁶³⁾を著わした。山本^{274, 277)}は温熱環境と家畜の生理・生産反応に関して体系的に総説した。

東北大学では梅津、津田を中心とするグループが反芻家畜と温熱環境の問題をとりあげ、山本ら²⁶⁹⁻²⁷³⁾、山岸²⁶⁸⁾、三浦¹⁶⁴⁾、SASAKI ら²⁰⁸⁾、大城ら¹⁹¹⁾、渡辺²⁵⁸⁾、佐野²⁰⁷⁾らによって精力的に研究が行われた。

また、東京大学においては、加納と野村^{131, 179)}が乳量に及ぼす気温の影響について時系列解析の手法を用いて検討し、筑波大学では SHIMIZU ら²²⁴⁾が水牛の体温調節機能についての比較生理学的研究を行っている。

一方、農水省では 1966 年に家畜環境実験室が辰巳らによって畜試に建設され、野附、宍戸、山岸らが日内変動をとともなう高温環境が泌乳牛の生理機能におよぼす影響¹⁶⁰⁾などを検討した。現在では、畜試の筑波移転にともないブートロンが新設され、温・湿度のみならず光強度、風速、降雨、放射熱の制御も可能な大規模のものとなり²²⁵⁾新たな研究の進展が期待されている。また、草地試においては古川、松本らが牛の生理反応に関する研究⁷⁸⁾を行い、家畜試では MATSUMOTO ら¹⁴⁷⁾が乳量と環境要因との関係について時系列解析の手法によって解析した。

九州農試畜産部では、1955 年に牛用人工気候室が建設され、石井¹¹¹⁾が体温、脈拍数、呼吸数の変動について、岡本ら¹⁸⁷⁾が乳量、乳質、血液成分および副腎皮質機能の変化について、その相互関係を検討した。引き続き、向居らは乳牛の消化機能に及ぼす高温の影響¹⁷⁰⁾を検討するとともに、管理面から、散水¹⁷¹⁾、送風¹⁷²⁾、冷房^{173, 221)}の効果を示した。またこの間、防暑対策の一環として石井ら¹¹²⁾および岡本と向居¹⁸⁸⁾によって暖地向き乳牛舎の具備すべき条件が整理された。さらに柴田は向居とともに、高温環境と乳牛のエネルギー代謝との関係を給与飼料との関連で解明する研究を開始し、一連の研究を行った^{213-215, 217-219)}。現在は、環境制御可能な呼吸試験装置を 4 基設置し、高温環境と乳牛のエネルギー要求量および利用効率についてさらに検討が進められている。

乳牛の生産機能に及ぼす高温の影響

1. 乳量 乳牛の泌乳量に及ぼす高温の影響は、乳牛の品種、年齢、乳期、泌乳量、遺伝的能力などによって異なる²⁵⁴⁾が、RAGSDALE ら¹⁹⁷⁾は、ホルスタイン種乳牛の泌乳のための適温範囲は約 4°C から 21°C までであり、21°C から乳量の減少が発現始めると報告し、また、JOHNSON¹²¹⁾は適温範囲を 4°C から 24°C までとし、その温度範囲外では生産を抑制して適応すると述べている。一方、乳生産には湿度も大きく関与し、湿度の上昇は乳量減少を大きくする^{22, 108)}。このため温熱環境を一元的に表現しようとする試みがなされ^{38, 132, 162, 274)}、JOHNSON ら¹¹⁹⁾は温湿度指標 (THI) と乳量減少との関係を検討した。

高温による乳量減少の程度は、適温環境に対して 30°C で 14.6%¹⁵⁵⁾、20~25%²¹⁵⁾、10% (27°C) および 35% (32°C)²⁸⁰⁾、体温 1°C 上昇あたり 1 kg⁹⁰⁾、などさまざまな数値があげられている。これは実験条件や乳量の違いに起因すると思われ、昼夜の環境温度を変更した場合では、日較差が 5~10°C (35°C/30, 25°C) では乳量減少が大きいが 35°C/18°C ではわずかな減少にとどまった⁶⁴⁾との報告もある。

わが国の自然環境下における飼養試験および調査結果では、中部九州地域での 6 月から 9 月にかけての乳量減少率は 16~20%^{187, 221)}と推定された。また、一卵性双子を 2 群に分けニュージーランドとフィジーで飼養した実験¹⁹⁴⁾では、平均温度で 12°C 以上高いフィジー群の乳量が 44% 低かったと報告されているが、一方、オーストラリア半乾燥地帯における放牧飼養の農家調査では、気温 27°C 以上の日とそれ以下の日の乳量に有意な差はなかったとする報告⁶⁸⁾もある。

高温による乳量減少の原因について、内分泌機能の変化と関連した考察がなされている¹²⁴⁾。しかし、サイロキシン投与に対する乳生産反応が、適温時と高温時では異なること²¹⁷⁾や、サイロキシンレベルと乳量との関係は、測定時の乳量で考察すべきではなく、泌乳能力との関連で把握すべきこと²²⁶⁾も指摘されており、ホルモン、環境温度、乳生産の相互関係はさらに検討されることが望まれる。

また、高温順化と泌乳牛の反応¹²²⁾や高温に対する泌乳牛の反応の乳期による違いも検討され¹⁴⁸⁾、泌乳中期のものがもっとも強く影響を受けたとされている。分娩月別による乳量の差を検討した結果では初産牛で 1~2 月分娩の方が 6~8 月分娩より 17% 多いとした報告¹⁵⁸⁾、経産牛では、冬分娩群が夏分娩群より 8.5% 多いとした報告⁷⁴⁾、分娩月別による変動に有意差を認めなかったが、

産乳曲線の型に変動を認めた報告¹⁸⁴⁾ などがある。

夏期の乳生産低下の要因として、飼料作物の質・量の低下による養分摂取量の低下¹²⁵⁾があげられている。しかし、飼料を定量給与しても乳量減少は発現すること²⁶⁹⁾、および高温時には乳房におけるグルコースとりこみが低下すること²⁰⁷⁾などから、夏期の乳量減少は単に飼料摂取量や飼料品質の低下のみによるものではなく、高温の影響が産乳機構にまで及んでいると思われる。

2. 乳質わが国の原料乳組成の月間変動を解析した結果では、乳脂率、蛋白質率とも夏期に低下している²¹²⁾。また、夏期の無脂固形分 (SNF) 率⁷⁾、蛋白質率^{8,190)}、乳糖率^{8,190)}、CI 濃度¹⁹⁰⁾ 低下の調査結果も報告されている。さらに、野外試験の結果でも乳脂率および蛋白質率は4月から8月まで低下傾向を示した。また、SNF 率では低下傾向が9月にまで及び²¹⁸⁾、これらの成分が外気温の上昇とともに低下することは明らかである。

一方、人工気候室を用いた試験では乳脂率について、高温時の上昇^{64,114,187,196,198)}、低下^{20,168,215)}、あるいは、環境温度27°Cまでは温度の上昇に伴って低下するが、27°C以上では逆に上昇を示す¹⁹⁷⁾との報告があるなど、野外試験の結果と必ずしも一致しない。この違いは、乳量の減少程度に関係するものと思われる¹⁸⁷⁾。また、乳脂肪中の脂肪酸組成は、一般に高温によって短鎖脂肪酸が低下し、長鎖脂肪酸は増加する^{20,86,114,117,168,201)}。この傾向の差違は、乳脂中の短鎖脂肪酸が主に第一胃内 VFA に由来するが、長鎖脂肪酸は主に体脂肪に由来するためと考察される¹¹⁴⁾。

SNF 率および蛋白質率は、野外試験での結果と同様多くの報告が高温時の低下を報じている^{20,62,167,200,215)}。蛋白質中の成分では、高温処理によるカゼイン²⁰⁰⁾の低下および夏期の β -グロブリンの低下⁶⁷⁾が報告されている。また、必須アミノ酸は夏期に増加するため、高温により蛋白合成が低下しても生物価は高いとの報告もある¹³⁸⁾。

灰分には季節変動が認められていない⁸⁾が、人工気候室における実験¹²⁸⁾では、高温処理によるクエン酸、P、Ca、Mg、K 含量および塩類バランスの低下ならびに Na 含量、Na/K 比の上昇が示されている。これら高温による塩類バランスの不均衡は、牛乳殺菌時の熱凝固やチーズ製造業の凝固不良などの問題を生む可能性がある。

このほか、高温環境下での氷点および牛乳 pH の上昇²⁰⁰⁾、32°C以下でのヨウ素価の上昇^{21,200)}および夏期のビタミン B₂ 含量の増加⁹⁾が報告されている。また、牛乳中細胞数について、環境温度との間に正の相関がある

とする報告²⁶⁰⁾および無関係であるとする報告¹⁹³⁾がある。

3. その他 夏期には受胎率が低下し^{88,89,232-238)}、受胎率と関係の深い気象要因として授精後の最高・最低温度および授精日の降雨、最低温度、放射熱があげられる⁸⁹⁾。また、THI の上昇に伴い受胎率は低下する¹⁰⁹⁾。このような高温による繁殖機能の低下は、雌牛について、発情一排卵および着床の2つの観点から検討されてきた。高温は、発情周期の延長、発情期間の短縮、発情徴候の微弱化および無発情をもたらす^{50,79,98,233)}。また、受精卵移植法によって排卵後のどの時期に高温の影響を受けるかを検討した実験から、高温処理は受精率を低め³⁾、胚が子宮に到達する以前に高温の影響を受けて死亡する²⁶⁷⁾ことが報告された。これら、高温による受胎率の低下は体温および呼吸数の増加と密接な関係にあり⁶⁹⁾、冷房などにより体温を低下せしめれば受胎率も増加する^{234,236,238)}ことが示された。

さらに、高温は繁殖機能に関与する内分泌機能の低下^{145,235)}、子宮内温度の上昇⁸⁸⁾、子宮動脈血流量の低下²⁰⁵⁾をもたらす。子宮への血流量の低下は、胚の成長に対する栄養素、酸素および水分の供給量減少²⁰⁵⁾および子宮からの熱放散量低下⁸⁷⁾につながる。

その他、高温は、初乳中 IgG₁ の吸収を障害し、新生子牛の死亡率の上昇²³⁹⁾、乳房炎の発生増加¹⁹³⁾、日射病類似の疾病発生^{245,246)}、トールフェスク草地放牧牛の中毒症状 (Summer toxicosis) の発生も助長する¹⁰⁶⁾ ことなどを通じ、乳牛の生産性低下をもたらす。

高温環境下における産熱反応と乳生産

高温環境下における乳量の減少は、体温の上昇を中心とし、それに伴って起こる飲水量、飼料摂取量、副腎皮質機能などの変化の結果現れること¹⁸⁷⁾から、防暑管理法の根本は体温上昇抑制にあるといえる。一方、体温の変動は牛体の熱収支を反映するものであり、高温時における乳牛の体温上昇抑制の方法は、エネルギー代謝の結果産生する熱および熱放散の両者に視点を置いて検討されねばならない。本項では、給与飼料と産熱との関連について考察する。

1. 飼料摂取量および消化率 高温環境下での生体の熱平衡に、給与飼料の種類および採食行動は大きな影響を持ち²⁶⁹⁻²⁷¹⁾、第一胃運動の低下¹⁹⁾、飼料の消化管内滞留時間の増加²⁶⁷⁾などにより飼料摂取時間¹⁹²⁾特に、乾草摂取時間の減少¹⁰⁾および飼料摂取量の減少^{155,215,259)}が認められる。飼料摂取量の減少は、ホルスタイン種泌乳牛では24°C付近から発現する^{196,197)}。また、わが国での

飼養試験成績を解析した結果では、20℃をピークとして減少している²⁴¹⁾。飼料摂取量に及ぼす高温の影響は飼料の種類によって異なり、乾草の方がサイレージより低い温度から摂取量の減少が発現し、濃厚飼料摂取量は環境温度35℃まで変化を示さない¹⁵⁵⁾。

人工気候室を用いて行った実験では、高温時に飼料の乾物消化率は上昇する^{213,215,219,257)}。これは、飼料の消化管内滞留時間の増加によるものである²⁵⁷⁾。しかし、飼料品質との関連では、夏期には飼料中の細胞壁成分および粗繊維含量が高くなり、可溶性炭水化物含量が低くなる結果、飼料の消化率は低下する⁶⁶⁾と言える。また、暖地型牧草は寒地型牧草に比べて非構造性炭水化物が少なく¹⁴⁶⁾、生育に伴う粗繊維含量の増加、リグニン化が著しい¹⁵⁵⁾ため消化性は悪く、乳牛に対する暑熱の影響を増幅する。

2. 熱発生量および第一胃内発酵 熱発生量は、飼料摂取量の減少¹³⁷⁾、甲状腺機能の低下^{49,118,195)}により、また、泌乳牛では乳量低下の要因も加わり高温時に減少するとされるが、暑熱感作時間、方法によって異なる²⁸⁴⁾。また、サイロキシン²⁸¹⁾、成長ホルモン²⁸²⁾、副腎皮質ホルモン²⁸³⁾の注入により増加する。しかし、高温時には熱放散を高めるために血流の増加、呼吸数の増加^{261,262)}など生理機能が高進し¹⁵⁴⁾、これが熱発生量増加の要因となる。したがって、飼料を定量給与された乾乳牛では、高温時に熱発生量は増加する^{121,213,219)}。

環境温度が熱的中性圏を越える高温域においては、生体はその恒温性を保つことが困難となり、採食^{46,269-271)}、運動²¹⁶⁾などによる熱発生量の増加が体温の上昇を招来し、その結果 van't Hoff の効果による代謝率の高進を導く⁴¹⁾。臨界高温度は、栄養水準および妊娠⁸⁵⁾、給与飼料²¹⁹⁾、乳量³²⁾によって異なり、安静状態の黒毛和種で30～35℃¹⁰²⁾、ホルスタイン種乾乳牛で27～28℃以上¹⁰¹⁾、乳量30 kg程度の泌乳牛で24℃³²⁾と推定され、乾草のみ給与した場合に比べ、濃厚飼料多給時では高温側に移動する²¹⁹⁾。また、高栄養水準で飼養された動物は、低栄養のものより暑熱の影響を強く受け^{111,202,278)}、熱発生量も、より低い温度から環境温度の上昇とともに増加する^{5,84,203,213,219)}。しかし、泌乳牛は必然的に高栄養水準で飼養せざるをえず、高栄養水準の乳牛は、乳量の増加に対応して熱発生量も増加する²⁹⁾が、高温時における熱発生量の増加は乳量減少および乳生産効率の低下を招く^{215,217)}。また、高温時には、体脂肪¹³⁰⁾、体蛋白^{127,129)}の損失が増加し、夏期のエネルギー補給が受胎率向上に有効¹⁴²⁾なことなどから、エネルギーの利用効率が高く、熱増加の少ない飼料の給与を検討せねばならない^{57,213)}。

第一胃内発酵も乳牛の体熱平衡に大きな意義を有し^{178,272)}、VFAの増加は熱発生量の増加につながる²¹⁴⁾。第一胃内容物の存在は、熱性多呼吸の発現に関与し²⁷²⁾、第一胃への温水投与により発現し、冷水投与によって消失する²⁷³⁾。また、冷水給与によるエネルギー利用効率の上昇¹⁴⁴⁾、飲水による体温低下¹⁷⁸⁾、ルーメンの加熱(51℃)によるVFA濃度の変化、体温上昇⁸¹⁾、甲状腺機能の低下²⁸⁵⁾も認められている。

環境温度の上昇に伴う総VFA濃度およびVFA組成の変化は、研究者によって結果が異なっており、総VFA濃度、酢酸、プロピオン酸濃度すべてに上昇を認めたものの^{214,230)}、低下を認めたもの^{135,189)}がある。高温とVFA濃度との関係には、給与飼料とともに高温時における第一胃運動の低下¹⁹⁾、VFA吸収率の低下および消化管内滞留時間の増大²⁵⁷⁾も影響を及ぼす。

VFA組成も熱増加に影響を与える。VFA点滴投与による実験では、酢酸の熱増加はプロピオン酸、酪酸に比べて著しく大きく^{12-14,105)}、プロピオン酸の割合が高まれば体温上昇は抑制され²¹⁴⁾、乳生産効率の上昇につながる⁷⁰⁾との報告がある。また、酢酸の熱増加は給与飼料によって影響を受け、乾草のみを給与した場合では非常に大きい²⁵³⁾。一方、第一胃内の酢酸濃度は飼料中の繊維含量が多くなるにつれて上昇する⁸³⁾ことから、反芻動物の熱増加は給与飼料の構成および組成によって変化する¹¹⁾。

3. 給与飼料と熱発生量 夏期に濃厚飼料を多給し、飼料中の繊維含量を低めた実験では、高繊維飼料を給与した場合より乳量は多く、体温、呼吸数は低かったことが報告されている^{206,215,231,252)}。また、高温環境下での濃厚飼料多給に際して、炭酸水素ナトリウムを添加することにより乳脂率および全固形分率の上昇²²⁹⁾、体温の上昇抑制および乳量の増加^{65,222)}も認められている。

飼料のペレット化や蒸煮圧べん処理などにより乳量、乳成分の増加^{256,266)}、第一胃内酢酸濃度の低下およびプロピオン酸濃度の上昇²¹²⁾、熱発生量の低下傾向¹⁰³⁾が認められており、夏期の給与試験でも細切乾草給与により体温、脈拍、呼吸数の減少が報告されている¹⁴¹⁾。また、給与回数の増加により熱発生量は低下する¹⁹⁹⁾。給与回数の増加により採食後の熱増加も平準化されることから、熱放散機能に対する過負荷を防ぐことができるが、同様の効果は、濃厚飼料多給によって飼料中栄養分のルーメンバイパス量を増加させた場合にも期待しうる^{215,219)}。

高温時における飼料摂取量の減少を補うために、給与飼料のエネルギー含量を高めることが必要である^{219,255)}。脂肪は、炭水化物などに比べ2倍以上のエネルギー

価を有し、熱増加も小さいこと¹⁴⁹⁾から、高温時に給与することは有効であろうと考えられる。また、不飽和脂肪酸は第1胃内でのプロピオン酸産生を高める²⁴³⁾ため、前述の検討からも有利であると言える。高温時における乳牛の給与飼料としての脂肪添加飼料の効果を検討した実験はほとんどないが、大豆油添加によって乳量が増加し¹⁶⁷⁾、また、乳脂肪中の脂肪酸組成では、C_{18:0}とC_{18:1}の含量が高まった¹⁶⁸⁾ことが報告されている。同様の試みは肉牛¹⁴³⁾、鶏⁷⁵⁾でもなされ良好な結果を得ている。

高温時には、皮膚からの窒素化合物損失の増大¹²⁷⁾、体蛋白の分解¹²⁹⁾、蛋白質利用効率の低下⁶⁾などにより蛋白質要求量は増加すると思われる。高温と飼料中蛋白質含量との関係では、飼料の蛋白質含量と耐暑性とは無関係であるとするもの^{111,202)}や、高蛋白質飼料給与によって乳量、全固形分率、SNF率、蛋白質率、カゼインおよび牛乳中NPNの増加¹⁰⁴⁾を認めた報告がある。

給与飼料の組成、構成、加工処理および給与方法と高温時の乳牛の生産性との関係を検討した実験は少なく、近年の栄養生理学の進歩をふまえて更に検討を加えることが望まれる²²⁰⁾。

高温環境下における放熱反応と乳生産

高温環境下において乳牛は、血流の増加、体表面および呼吸気道からの蒸発、ある種の内分泌腺の機能高進、行動、などによって熱放散を高める¹⁵⁶⁾、体内で産生された熱は、伝導、対流、放射および水分蒸発によって外界へ放散されるが、高温時における体熱放散の主役は、体表面および呼吸気道からの水分蒸発による蒸散冷却である¹⁸⁶⁾。飲水制限あるいは絶水処理によっても、糞および尿中水分排出量の低下で補償され、水分蒸発量の低下はわずかである^{211,251)}。体表からの蒸散は発汗と拡散によるが、拡散より汗腺の働きが重要である^{126,155)}。その分泌物はアルカリ性を呈し、無機P、蛋白質、乳酸などを含むが、塩化物は少なく、夏期に塩を補給する必要性は小さい¹²⁷⁾。蒸発量は部位により異なるが^{81,152,159)}、皮膚温度における飽和蒸気圧と空气中蒸気圧との差に比例する²⁴⁴⁾。また、環境温度の上昇につれて蒸発量も増加するが、35℃以上では減少傾向を示す^{136,152)}。野外での実験結果は、人工気候室で得られた値と異なり、日射の影響を受けて約2倍の数値を示し¹⁷⁵⁾、また、最大発汗量も冬期より夏期に高い季節変動を持つ²⁰⁹⁾。

呼吸数は環境温度の上昇に伴い増加し、呼吸気道からの水分蒸発量も増加する^{5,152)}。しかし、熱性多呼吸の状態に至れば飼料摂取および反芻を阻害し、熱発生量の増加を招く²⁶³⁾。また、全蒸発量に占める割合や1呼吸あた

りの熱放散量⁵⁾も環境温度の上昇とともに低下する¹⁵²⁾が、熱発生量に対する呼吸気道の放熱率は環境温度の高い日中に高まる³⁰⁾。

このほか、高温時には体深部より体表面への血流が増加し²⁸¹⁾、1回心拍出量、心拍数の増加^{219,262)}、皮膚温の上昇^{31,44,251)}を示す。顕熱放散は主に外界と皮膚温との差に関係するため、環境温度の上昇とともに低下し^{44,45)}、冬期に大きく日中に低下する³¹⁾。

体温調節機構の理解には、古くから工学的なプロセスコントロールの概念が用いられていた⁹⁹⁾が、近年、乳牛の体温調節の動特性に関する周波数解析がなされた¹³³⁾。このような試みも、乳牛の体温調節機能を理解する上で、重要な接近方法であろう。

温熱環境を規定する要因として最も重要なのは温度である²²⁷⁾が、一方、放射熱として受ける熱負荷も大きい。したがって管理面からの防暑対策は、放射熱を防ぐとともに牛体周辺の温熱環境を改善し、乳牛の熱放散量の増大をはかることである。

1. ひ陰 放射熱は暑熱地帯のみならず、北国においてさえ動物にかなりの熱負荷を与え⁶¹⁾、わが国北東北地方においても日射による発病率の増加、死亡例が報告されている²⁴⁵⁻²⁴⁷⁾。また、泌乳牛では環境温度21℃以上で放射熱量の増加とともに乳量、TDN摂取量の減少を招来し、減少程度は環境温度の高い程大きい⁵⁴⁾。放射熱は、快晴の日よりも雲が少しあるような状態の方が強く⁹⁵⁾、家畜が受ける熱量の95%は上方向からと地面からの反射熱である⁵¹⁾。

黒球温度は放射熱を反映するため、自然環境下での暑熱ストレスの程度を表現する指標として、乾湿球温度に黒球温度を加えた総合指標も検討された⁴²⁾。黒球温度は体温調節機能に対する有効な温度指標との報告³¹⁾もあるが、牛舎内では乾球温度以上の意義をもたない²¹⁸⁾。このほか、日照時間を加味した指標も検討されている²⁴⁹⁾。

牛舎内では放射熱も30~50%減じられる¹³⁴⁾。また、乳牛の生理反応についてのひ陰区と無ひ陰区との比較では、ひ陰区の方が体温は低く、呼吸数も少い^{68,100,204)}とされているが、体温については、気温32℃以上の場合のみ放射熱が影響する²⁶⁵⁾との報告もある。しかし、生産性については結果が一致せず、黒球温度の上昇は1~2日後の乳量減少をもたらし⁶³⁾、ひ陰による乳量¹¹⁰⁾、受胎率の向上および乳房炎発生率の低下²⁰⁴⁾を認めたものや、乳量に変化を認めなかったもの^{100,176)}がある。この差異は、地域、年次による気象要因の変動に起因し、高湿の地域ではひ陰の効果はない⁷⁷⁾。

放牧牛は歩行によって熱発生量が増加する²¹⁶⁾。そのた

め体内からの熱負荷が含飼牛より大きく⁷⁷⁾、最高温度が30℃を越えるような地域では、放牧牛の乳量は減少する¹²⁵⁾。また、放牧や不断給餌の場合、夜間の採食量が増加する^{107,125)}が、濃厚飼料摂取量は日中でも減少しない¹⁰⁷⁾。

ひ陰施設および牛舎については、その構造、建築資材の検討もなされ^{115,176,188)}、乾草の断熱性の良さが注目された¹¹⁵⁾。

2. 送風および牛体散水 送風は通常動物の熱放散を高め、体温上昇を抑制する効果が認められる^{172,181)}が、既に上昇した体温を低下させる効果はないとされる¹⁷²⁾。

風速が飼料摂取量、乳量に及ぼす影響は、環境温度27℃以下では小さい⁵³⁾。しかし、35℃では、低風速の場合より高風速の方が、乳量および飼料摂取量減少率は小さく、また、乳量や乳牛の体型が大きくなれば風速の影響は大きくなる⁵³⁾。

野外における試験では、送風による日増体量の増加を認めたとする報告もある¹¹⁶⁾が、一方、ひ陰と送風では肉牛の生産性に差は認められず⁸⁰⁾、生理反応に及ぼす影響も、ひ陰、散水、送風を組み合わせた時に大きかった²¹⁰⁾とする報告もある。また、気温が39℃以上の高温になる地域では、風速の増加はかえって加熱作用となる¹¹⁶⁾。ユニットクーラーを利用し、牛舎内で牛体へ冷風(23~25℃)を送風した場合では、体温の低下が明らかに認められ、飼料摂取量、乳量は、年次により結果が異なるが、減少が防止された¹³⁹⁾。

牛体散水のみでも体温の低下および飼料摂取量の増加¹⁶⁹⁾、乳量減少防止効果^{108,171)}が認められているが、年次によって効果が一律ではない¹⁷⁴⁾。

3. 牛舎冷房 牛舎冷房は、乳牛の飼養環境改善手法の中で最も効果的なものであり、冷房機を用いるもの以外に、気化冷却、地下冷却、冷水冷却など種々の簡易冷房法がある¹⁸⁰⁾。

牛舎冷房によって体温の低下および乳量の増加を認めた報告は多い^{82,94,185,221,248)}。しかし、このように冷房機を用いた冷房では経費もかかり、また、地域・年次により乳量減少率に差があるため、泌乳成績から冷房導入の経済性および運転時間の検討がなされた^{92,93,113,248)}が、繁殖成績をも含めて冷房効果を判定すべきことも主張されている²⁴⁸⁾。また、吸気のみを冷却する方法(Inspired-air cooling)^{59,91)}についても体温の低下、呼吸数の減少および飼料摂取量、乳量の増加が認められている。

水の気化冷却を利用した簡易な蒸散冷房(Evaporative cooling)²³⁷⁾も米国で普及し、舎内温度の10~20%の低下¹⁶⁶⁾、皮膚温¹⁶⁶⁾、体温の低下²³⁶⁾、乳量の増加²⁶⁴⁾、

受胎率の向上^{284,264)}が認められているが、年次による効果の違い⁵⁸⁾および効果のないこと¹⁷⁶⁾も報告されている。気化冷却は、わが国においてはパッドアンドファン方式として一時普及した¹⁸²⁾。現在では霧状散水方式¹⁸²⁾が九州を中心に普及して防暑効果が認められている²²⁸⁾。しかし、温湿度条件と効果との関係を整理する必要がある。

このほか、屋根上散水による環境温度の低下も検討され、乳量の増加が認められた⁷⁶⁾が、屋根上散水に関する試験成績は少ない。

おわりに

高温環境における乳牛の生産機能および環境改善効果は、乳牛の資質、飼養方式、地域性など、対象とされる牛群の所与の条件によって異なる。また、自然環境下における生理反応と気候順応も重要な要因となる。さらに、乳牛の飼養技術についても、近年、第一胃内発酵および下部消化管における栄養素吸収を中心とした栄養生理学の急速な進歩がみられる。このため、乳牛の防暑管理技術を確立するためには、個々の条件設定を明確にした上で、環境改善および飼料給与に関する個別技術の効果の検討がなされるべきである。また同時に、それら個別技術を組み合わせた防暑管理技術の検証も必要であろう。

本総説においては、以上の関連分野の研究を網羅することはできなかった。環境生理学分野²⁷⁷⁾および高温順化と内分泌^{120,124)}に関する総説と合わせて、本総説が乳牛の防暑管理技術確立のための一助となることを期待したい。

本総説は、筆者および向居が九州農業試験場で一連の研究を行うに際しての構想を骨格として、それに関係する研究をまとめて紹介したものである。ここに記して、前九州農業試験場畜産部 向居彰夫家畜第3研究室長(現農林水産技術会議研究管理官)に感謝の意を表したい。また、本稿の御校閲をいただいた、北海道大学農学部朝日田康司教授に深謝の意を表します。

文 献

- 1) AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, The Nutrient Requirements of Farm Livestock. No. 2, Ruminants. HMSO. London. 1965.
- 2) AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slough, England. 1980.
- 3) ALLISTON, C. W. and L. C. ULBERG, J. Anim. Sci., 20: 608-613. 1961.

- 4) AMERICAN SOCIETY of AGRICULTURAL ENGINEERS, Livestock Environment. Am. Soc. Agr. Engineers. St. Joseph, USA. 1974.
- 5) AMES, D. R., J. E. NELLOR and T. ADAMS, J. Anim. Sci., **32**: 784-788. 1971.
- 6) AMES, D. R. and D. R. BRINK, J. Anim. Sci., **44**: 136-140. 1977.
- 7) ANAGAMA, Y. and T. KAMI, J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **1**: 373-378. 1957.
- 8) ANAGAMA, Y. and T. KAMI, J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **2**: 79-85. 1958.
- 9) ANAGAMA, Y. and Y. KUZUYA, Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ., **34**: 387-392. 1973.
- 10) APPLEMAN, R. D. and J. C. DELOUCHE, J. Anim. Sci., **17**: 326-335. 1958.
- 11) ARMSTRONG, D. G. and K. L. BLAXTER, Nature, **177**: 1183-1184. 1956.
- 12) ARMSTRONG, D. G. and K. L. BLAXTER, Br. J. Nutr., **11**: 247-272. 1957.
- 13) ARMSTRONG, D. G., K. L. BLAXTER and N. McC. GRAHAM, Br. J. Nutr., **11**: 392-408. 1957.
- 14) ARMSTRONG, D. G. and K. L. BLAXTER, Br. J. Nutr., **11**: 413-425. 1957.
- 15) ARMSTRONG, D. G., K. L. BLAXTER, N. McC. GRAHAM and F. W. WAINMAN, Anim. Prod., **1**: 1-12. 1959.
- 16) 朝日田康司・三村 耕, 日畜会報, **29**: 117-121. 1958.
- 17) 朝日田康司・三村 耕, 日畜会報, **31**: 62-67. 1960.
- 18) 朝日田康司・三村 耕, 日畜会報, **36**: 431-435. 1965.
- 19) ATTEBERY, J. T. and H. D. JOHNSON, J. Anim. Sci., **29**: 734-737. 1969.
- 20) BANDARANAYAKA, D. D. and C. W. HOLMES, Trop. Anim. Hlth Prod., **8**: 38-46. 1976.
- 21) BARTLEY, E. E., J. H. ZALETEL, E. W. BIRD, C. Y. CANNON, G. H. WISE and O. KEMPTHORNE, J. Dairy Sci., **34**: 536-547. 1951.
- 22) BAYER, W., H. HIPPEN, D. STEINHAUF and J.-H. WENIGER, Z. Tierzuchtg. Zuchtgsbiol., **97**: 9-20. 1980.
- 23) BEAKLEY, W. R. and J. D. FINDLAY, J. agric. Sci., **45**: 339-352. 1955.
- 24) BEAKLEY, W. R. and J. D. FINDLAY, J. Agric. Sci., **45**: 353-364. 1955.
- 25) BEAKLEY, W. R. and J. D. FINDLAY, J. agric. Sci., **45**: 365-372. 1955.
- 26) BEAKLEY, W. R. and J. D. FINDLAY, J. agric. Sci., **45**: 373-379. 1955.
- 27) BEAKLEY, W. R. and J. D. FINDLAY, J. agric. Sci., **45**: 452-460. 1955.
- 28) BEAKLEY, W. R. and J. D. FINDLAY, J. agric. Sci., **45**: 461-468. 1955.
- 29) BERMAN, A., S. AMIR and R. VOLCANI, Aust. J. agric. Res., **16**: 874-881. 1963.
- 30) BERMAN, A., Aust. J. agric. Res., **19**: 181-189. 1968.
- 31) BERMAN, A. and M. MORAG, Aust. J. agric. Res., **22**: 671-680. 1971.
- 32) BERMAN, A. and A. MELTZER, Int. J. Biometeor., **17**: 167-176. 1973.
- 33) BIANCA, W., J. agric. Sci., **45**: 428-430. 1955.
- 34) BIANCA, W., J. agric. Sci., **51**: 321-324. 1958.
- 35) BIANCA, W., J. agric. Sci., **52**: 296-304. 1959.
- 36) BIANCA, W., J. agric. Sci., **52**: 305-312. 1959.
- 37) BIANCA, W., Int. J. Biometeor., **5**: 5-30. 1961.
- 38) BIANCA, W., Nature, **195**: 251-252. 1962.
- 39) BIANCA, W., J. Dairy Res., **32**: 291-345. 1965.
- 40) BIANCA, W., J. agric. Sci., **66**: 57-60. 1966.
- 41) BIANCA, W., in Adaptation of Domestic Animals. (HAFEZ, E. S. E. ed.) 97-118. Lea & Febiger. Philadelphia. 1968.
- 42) BIANCA, W., Int. J. Biometeor., **20**: 139-156. 1976.
- 43) BLAXTER, K. L., Proc. Nutr. Soc., **17**: 191-197. 1958.
- 44) BLAXTER, K. L., N. McC. GRAHAM, F. W. WAINMAN and D. G. ARMSTRONG, J. agric. Sci., **52**: 25-40. 1959.
- 45) BLAXTER, K. L. and F. W. WAINMAN, J. agric. Sci., **56**: 81-90. 1961.
- 46) BLAXTER, K. L. and J. P. JOYCE, Br. J. Nutr., **17**: 523-537. 1963.
- 47) BLAXTER, K. L. and F. W. WAINMAN, J. agric. Sci., **62**: 207-214. 1964.
- 48) BLAXTER, K. L., The Energy Metabolism of Ruminants. 2nd. ed. Hutchinson Scientific and Technical. London. 1967.
- 49) BLINCOE, C. and S. BRODY, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 576. 1955.
- 50) BOND, J. and R. E. McDOWELL, J. anim. Sci., **35**: 820-829. 1972.
- 51) BOND, T. E., C. F. KELLY and N. R. ITTNER, Agr. Engr., **35**: 389-392. 1954. cited from BOND, T. E., in Ground Level Climatology (SHAW, R. H. ed.) 207-220. Am. Assoc. Adv. Sci. Washington, D. C. 1967.
- 52) BRODY, S., Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 423. 1948.
- 53) BRODY, S., A. C. RAGSDALE, H. J. THOMPSON and D. M. WORSTELL, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 545. 1954.
- 54) BRODY, S., A. C. RAGSDALE, H. J. THOMPSON and D. M. WORSTELL, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 556. 1954.
- 55) BRODY, S., J. Dairy Sci., **39**: 715-725. 1956.
- 56) BRODY, S., Bioenergetics and Growth. Hafner Publ. Co., Inc. New York. 1968.
- 57) BROKKEN, R. F., J. Anim. Sci., **32**: 692-703.

- 1971.
- 58) BROWN, W. H., J. W. FUQUAY, W. H. MCGEE and S. S. IYENGAR, Transactions ASAE., 17: 513-515. 1974.
- 59) CANTON, G. H., D. E. BUFFINGTON and R. J. COLLIER, Transactions ASAE., 25: 730-734. 1982.
- 60) CARGILL, B. F., R. E. STEWART and H. D. JOHNSON, Mo. Agric. Exp. Sta. Res., Bull. No. 794. 1962.
- 61) CLAPPERTON, J. L., J. P. JOYCE and K. L. BLAXTER, J. agric. Sci., 64: 37-49. 1965.
- 62) COBBLE, J. W. and H. A. HERMAN, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 485. 1951.
- 63) COLLIER, R. J., R. M. ELEY, A. K. SHARMA, R. M. PEREIRA and D. E. BUFFINGTON, J. Dairy Sci., 64: 844-849. 1981.
- 64) COMBERG, G. und H. FEDER, Zuchtungsk., 44: 172-188. 1972.
- 65) COPPOCK, C. E., P. A. GRANT, S. J. PORTZER, D. A. CHARLES and A. ESCOBOSA, J. Dairy Sci., 65: 566-576. 1982.
- 66) DEINUM, B., A. J. H. van Es and P. J. VAN SOEST, Netherlands J. agric. Sci., 16: 217-223. 1968.
- 67) DELLAMONICA, E. S., T. F. HOLDEN, M. J. CALHOUN and N. C. ACETO, J. Dairy Sci., 48: 1585-1590. 1965.
- 68) DRAGOVICH, D., Int. J. Biometeor., 22: 279-284. 1978.
- 69) DUNLAP, S. E. and C. K. VINCENT, J. Anim. Sci., 32: 1216-1218. 1971.
- 70) ELLIOT, J. M. and J. K. LOOSLI, J. Dairy Sci., 42: 843-848. 1959.
- 71) FINDLAY, J. D., The Hannah Dairy Res. Institute Bull. No. 9. 1950.
- 72) FINDLAY, J. D. and W. R. BEAKLEY, in Progress in the Physiology of Farm Animals. (HAMMOND, J. ed.) 252-298. Butterworths. London. 1954.
- 73) FINDLAY, J. D. and D. M. JENKINSON, J. agric. Sci., 55: 247-249. 1960.
- 74) FOLMAN, Y., A. BERMAN, Z. HERZ, M. KAIM, M. ROSENBERG, M. MAMEN and S. GORDIN, J. Dairy Res., 46: 411-425. 1979.
- 75) FULLER, H. L. and M. RENDON, Poultry Sci., 58: 1234-1238. 1979.
- 76) FUQUAY, J. W., A. B. ZOOK, J. W. DANIEL, W. H. BROWN and W. E. POE, J. Dairy Sci., 62: 577-583. 1979.
- 77) FUQUAY, J. W., J. Anim. Sci., 52: 164-174. 1981.
- 78) 古川良平・松本英人・飯屋喜弘, 草地試研報, 15: 142-151. 1979.
- 79) GANGWAR, P. C., C. BRANTON and D. L. EVANS, J. Dairy Sci., 48: 222-227. 1965.
- 80) GARRETT, W. N., T. E. BOND and C. F. KELLY, J. Anim. Sci., 19: 60-66. 1960.
- 81) GENGLER, W. R., F. A. MARTZ and H. D. JOHNSON, J. Dairy Sci., 53: 434-437. 1970.
- 82) GOMILA, L. F., J. D. ROUSSEL and J. F. BEATTY, J. Dairy Sci., 60: 129-132. 1977.
- 83) GORDON, F. J. and T. J. FORBES, J. Dairy Res., 38: 381-391. 1971.
- 84) GRAHAM, N. McC., F. W. WAINMAN, K. L. BLAXTER and D. G. ARMSTRONG, J. agric. Sci., 52: 13-24. 1959.
- 85) GRAHAM, N. McC., Aust. J. agric. Res., 15: 982-988. 1964.
- 86) GRAY, I. K., J. Dairy Res., 40: 207-214. 1973.
- 87) GWAZDAUSKAS, F. C., R. M. ABRAMS, W. W. THATCHER, F. W. BAZER and D. CATON, J. Anim. Sci., 39: 87-92. 1974.
- 88) GWAZDAUSKAS, F. C., W. W. THATCHER and C. J. WILCOX, J. Dairy Sci., 56: 873-877. 1973.
- 89) GWAZDAUSKAS, F. C., C. J. WILCOX and W. W. THATCHER, J. Dairy Sci., 58: 88-92. 1975.
- 90) HAFEZ, E. S. E., Adaptation of Domestic Animals. 1st. ed. 74-93. Lea & Febiger, Philadelphia. 1968.
- 91) HAHN, G. L., H. D. JOHNSON, M. SHANKLIN and H. H. KIBLER, Transactions ASAE., 8: 332-334, 337. 1965.
- 92) HAHN, L. and D. D. OSBURN, ASAE Paper No. MC-68-303. ASAE. St. Joseph, USA. 1968.
- 93) HAHN, L., J. Dairy Sci., 52: 800-802. 1969.
- 94) HAHN, G. L., J. D. SIKES, M. D. SHANKLIN and H. D. JOHNSON, Transactions ASAE., 12: 202-204, 208. 1969.
- 95) HAHN, G. L., J. D. MCQUIGG and W. L. DECKER, ASAE Paper No. 70-826. ASAE Winter Meeting. 1970. cited from FUQUAY, J. W., J. Anim. Sci., 52: 164-174. 1981.
- 96) HAHN, G. L., Biometeorology, 6: 106-114. 1976.
- 97) HAHN, G. L., J. Anim. Sci., 52: 175-186. 1981.
- 98) HALL, J. G., C. BRANTON and E. J. STONE, J. Dairy Sci., 42: 1086-1094. 1959.
- 99) HARDY, J. D., Physiol. Rev., 41: 521-606. 1961.
- 100) HARRIS, D. L., R. R. SHRODE, I. W. RUPEL and R. E. LEIGHTON, J. Dairy Sci., 43: 1255-1262. 1960.
- 101) 橋爪徳三・増淵敏彦・浜田龍夫・安部道夫・千葉博・横田千尺, 畜試研報, 2: 61-68. 1963.
- 102) 橋爪徳三・加藤道弘・針生程吉・辰己博・増淵敏彦・波田野松重, 畜試研報, 11: 39-47. 1966.
- 103) 橋爪徳三・針生程吉・伊藤稔・田辺忍・森本宏, 畜試研報, 16: 61-74. 1968.
- 104) HASSAN, A. and J. D. ROUSSEL, J. agric. Sci., 85: 409-415. 1975.
- 105) HOLTER, J. B., C. W. HEALD and N. F. COLOVOS, J. Dairy Sci., 53: 1241-1247. 1970.
- 106) HURLEY, W. L., E. M. CONVEY, K. LEUNG, L. A.

- EDGERTON and R. W. HEMKEN, J. Anim. Sci., **51**: 374-379. 1980.
- 107) HUTSON, F. M., J. W. FUQUAY, J. T. CARDWELL and W. H. BROWN, J. Dairy Sci., **54**: 459. 1971.
- 108) IGNO, M. O., H. D. JOHNSON, B. J. STEEVENS, M. D. SHANKLIN, L. TELGEA and H. BROCKWAY, J. Dairy Sci., **66** (Suppl. 1): 218. 1983.
- 109) INGRAHAM, R. H., D. D. GILLETTE and W. D. WAGNER, J. Dairy Sci., **57**: 476-481. 1974.
- 110) INGRAHAM, R. H., R. W. STANLEY and W. C. WAGNER, Am. J. Vet. Res., **40**: 1792-1797. 1979.
- 111) 石井尚一, 九州農試彙報, **9**: 399-491. 1964.
- 112) 石井尚一・犬童幸人・向居彰夫・岡本昌三, 九農研, **27**: 274-275. 1965.
- 113) 石井尚一, 乳牛の暑熱対策(全国乳質改善協会 編) 423-435. 全国乳質改善協会. 東京. 1981.
- 114) ITABASHI, H., T. KOBAYASHI, N. YAMAGISHI and H. SHISHIDO, Jpn. J. Zootech. Sci., **53**: 499-502. 1982.
- 115) ITTNER, N. R. and C. F. KELLY, J. Anim. Sci., **10**: 184-194. 1951.
- 116) ITTNER, N. R., C. F. KELLY and T. E. BOND, J. Anim. Sci., **16**: 732-738. 1957.
- 117) JENSEN, R. G., G. W. GANDER and J. SAMPUGNA, J. Dairy Sci., **45**: 329-331. 1962.
- 118) JOHNSON, H. D. and A. C. RAGSDALE, J. agric. Sci., **54**: 421-426. 1960.
- 119) JOHNSON, H. D., A. C. RAGSDALE, I. L. BERRY and M. D. SHANKLIN, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bul. No. 791. 1962.
- 120) JOHNSON, H. D., Int. J. Biometeor., **9**: 103-116. 1965.
- 121) JOHNSON, H. D., in Ground Level Climatology. (SHAW, R. H. ed.) 189-206. Am. Assoc. Adv. Sci. Washington, D. C. 1967.
- 122) JOHNSON, H. D., L. HAHN, H. H. KIBLER, M. D. SHANKLIN and J. EDMONDSON, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bul. No. 916. 1967.
- 123) JOHNSON, H. D., in Progress in Biometeorology. Div. B. (JOHNSON, H. D. ed.) 358-366. SWETZ & ZEITLINGER B. V. Amsterdam. 1976.
- 124) JOHNSON, H. D. and W. J. VANJONACK, J. Dairy Sci., **59**: 1603-1617. 1976.
- 125) JOHNSON, J. E., J. Hered., **49**: 65-68. 1958.
- 126) JOSHI, B. C., R. E. McDOWELL and D. P. SADHU, J. Dairy Sci., **51**: 915-917. 1968.
- 127) JOSHI, B. C., H. B. JOSHI, R. E. McDOWELL and D. P. SADHU, J. Dairy Sci., **51**: 917-920. 1968.
- 128) KAMAL, T. H., H. D. JOHNSON and A. C. RAGSDALE, J. Dairy Sci., **44**: 1655-1667. 1961.
- 129) KAMAL, T. H. and H. D. JOHNSON, J. Dairy Sci., **53**: 1734-1738. 1970.
- 130) KAMAL, T. H. and H. D. JOHNSON, J. Anim. Sci., **32**: 306-311. 1971.
- 131) 加納康彦, 日獣誌, **30**: 299-307. 1968.
- 132) 加藤道弘, 昭和44年度畜試年報, 42-43. 1971.
- 133) KEENER, H. M., H. R. CONRAD and G. L. NELSON, Transactions ASAE., **20**: 150-154. 1977.
- 134) KELLY, C. F. and N. R. ITTNER, Agr. Engr., **29**: 239-242. 1948. cited from BOND, T. E., C. F. KELLY and H. HEITMAN, Jr., J. Hered., **49**: 75-79. 1958.
- 135) KELLY, R. O., F. A. MARTZ and H. D. JOHNSON, J. Dairy Sci., **50**: 531-533. 1967.
- 136) KIBLER, H. H. and S. BRODY, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 461. 1950.
- 137) KIBLER, H. H., Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 643. 1957.
- 138) KIRCHMEIER, O., Milchwissenschaft, **28**: 440-443. 1973.
- 139) 清末真一・伊東成雄・石黒 潔, 畜産技術, **239**: 1-7. 1975.
- 140) KLEIBER, M., The Fire of Life. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1961.
- 141) LEIGHTON, R. E., J. Dairy Sci., **48**: 796. 1965.
- 142) LEMENAGER, R. P., W. H. SMITH, T. G. MARTIN, W. L. SINGLETON and J. R. HODGES, J. Anim. Sci., **51**: 837-842. 1980.
- 143) LOFGREEN, G. P., 13th California Feeder's Day., 81-85. 1974.
- 144) LOFGREEN, G. P., R. L. GIVENS, S. R. MORRISON and T. E. BOND, J. Anim. Sci., **40**: 223-229. 1975.
- 145) MADAN, M. L. and H. D. JOHNSON, J. Dairy Sci., **56**: 1420-1423. 1973.
- 146) 榎木茂彦・大山嘉信, 日畜会報, **49**: 659-664. 1978.
- 147) MATSUMOTO, H., Y. SAIGUSA and H. AKAIKE, Nat. Inst. Anim. Hlth Quart., **3**: 83-92. 1963.
- 148) MAUST, L. E., R. E. McDOWELL and N. W. HOOVEN, J. Dairy Sci., **55**: 1133-1139. 1972.
- 149) MAYNARD, L. A., J. K. LOOSLI, H. F. HINTZ and R. G. WARNER, Animal Nutrition. 7th ed. 104-135. McGraw-Hill, New York. 1979.
- 150) McDOWELL, R. E., D. H. K. LEE, M. H. FOHRMAN and R. S. ANDERSON, J. Anim. Sci., **12**: 573-581. 1953.
- 151) McDOWELL, R. E., C. A. MATTHEWS, D. H. K. LEE and M. H. FOHRMAN, J. Anim. Sci., **12**: 757-764. 1953.
- 152) McDOWELL, R. E., B. T. McDANIEL, M. S. BARADA and D. H. K. LEE, J. Anim. Sci., **20**: 380-385. 1961.
- 153) McDOWELL, R. E., in Ground Level Climatology. (SHAW, R. H. ed.) 277-291. Am. Assoc. Adv. Sci. Washington, D. C. 1967.
- 154) McDOWELL, R. E., E. G. MOODY, P. J. VAN SOEST, R. P. LEHMANN and G. L. FORD, J. Dairy Sci., **52**: 188-194. 1969.

- 155) McDOWELL, R. E., *Improvement of Livestock Production in Warm Climates*. 1st. ed. W. H. Freeman and Co. San Francisco. 1972.
- 156) McDOWELL, R. E., *in* *Livestock Environment*. (ASAE) 220-231. Am. Soc. Agr. Engineers. St. Joseph, USA. 1974.
- 157) McDOWELL, R. E., J. K. CAMOENS, L. D. VAN VLECK, E. CHRISTENSEN and E. C. FRIAS, J. Dairy Sci., **59**: 722-729. 1976.
- 158) McDOWELL, R. E., N. W. HOOVEN and J. K. CAMOENS, J. Dairy Sci., **59**: 965-973. 1976.
- 159) McLEAN, J. A., J. agric. Sci., **61**: 275-280. 1963.
- 160) 三村 耕, 日畜会報, **31**: 161-168. 1960.
- 161) 三村 耕, 家畜管理の技術, 養賢堂. 東京. 1965.
- 162) 三村 耕・山本禎紀・伊藤敏男・住田正彦・新谷勝弘・藤井宏融, 日畜会報, **42**: 493-500. 1971.
- 163) 三村 耕・森田琢磨, 家畜管理学. 養賢堂. 東京. 1980.
- 164) 三浦 稔, 栄養生理研報, **17**: 9-17. 1973.
- 165) MOHAMMED, M. E. and H. D. JOHNSON, J. Dairy Sci., **66** (Suppl. 1): 217-218. 1983.
- 166) MONTY, JR., D. E. and J. L. GARBARENO, Am. J. Vet. Res., **39**: 877-882. 1978.
- 167) MOODY, E. G., P. J. VAN SOEST, R. E. McDOWELL and G. L. FORD, J. Dairy Sci., **50**: 1909-1916. 1967.
- 168) MOODY, E. G., P. J. VAN SOEST, R. E. McDOWELL and G. L. FORD, J. Dairy Sci., **54**: 1457-1460. 1971.
- 169) MORRISON, S. R., R. L. GIVENS and G. P. LOFGREEN, J. Anim. Sci., **36**: 428-431. 1973.
- 170) 向居彰夫・相井孝允・岡本昌三・野見山敬一, 第21回西日本畜産学会大会講演要旨, 6-7. 1970.
- 171) 向居彰夫・岡本昌三・相井孝允, 九州農試報告, **15**: 367-401. 1970.
- 172) MUKAI, A., ASPAC Extension Bull. No. 28. 1973.
- 173) 向居彰夫・柴田正貴・武田 功・相井孝允, 昭和49年度九州農試年報, 57-61. 1976.
- 174) 村田定信・足利忠敬・岩切徹夫・谷岩秀次郎, 九農研, **39**: 133. 1977.
- 175) MURRAY, D. M., J. agric. Sci., **66**: 175-179. 1966.
- 176) NELSON, G. L., G. W. A. MAHONEY and E. R. BEROUSEK, Oklahoma State Univ. Tech. Bull. T-87. 1961.
- 177) 西山久吉・小川清彦・藤島 通・岡本正幹, 鹿大農学術報告, **13**: 173-181. 1963.
- 178) NOFFSINGER, T. L., K. K. OTAGAKI and C. T. FURUKAWA, J. Anim. Sci., **20**: 718-722. 1961.
- 179) 野村晋一・加納康彦, 日獣誌, **28**: 129-140. 1966.
- 180) 野村 巖・山岸規昭・宍戸弘明・尾台昌治・渡辺利夫・河原 卓, 日畜会報, **44** (学会号): 3. 1973.
- 181) NOTSUKI, I., JARQ, **8**: 165-170. 1974.
- 182) 野附 巖, 乳牛の暑熱対策. (全国乳質改善協会編) 170-194. 全国乳質改善協会. 東京. 1981.
- 183) 岡本正幹・大坪孝雄・海江田 穂, 日畜会報, **26**: 71-74. 1955.
- 184) 岡本正幹・古賀 脩・武富萬次郎・松尾昭雄・西山久吉・藤島 通・岡内敬三, 九大農学雑誌, **20**: 199-204. 1963.
- 185) 岡本正幹・古賀 脩・佐藤義親, 九大農学雑誌, **20**: 279-282. 1963.
- 186) 岡本正幹, 家畜家禽の環境と生理. 養賢堂. 東京. 1971.
- 187) 岡本昌三・石井尚一・向居彰夫・犬童幸人, 九州農試彙報, **11**: 183-243. 1965.
- 188) 岡本昌三・向居彰夫, 昭和40年度九州農試年報, 78-84. 1967.
- 189) OLBRICH, C. E., F. A. MARTZ, H. D. JOHNSON, S. W. PHILLIPS, A. C. LIPPINCOTT and E. S. HILDERBRAND, J. Anim. Sci., **34**: 64-69. 1972.
- 190) 大島正尚・布施 洋・石井忠雄, 日畜会報, **50**: 666-669. 1979.
- 191) 大城政一・佐々木康之・三浦 稔・津田恒之, 日畜会報, **47**: 481-485. 1976.
- 192) OWEN, G. L., F. A. MARTZ, J. R. CAMPBELL, A. G. MATCHES and E. S. HILDERBRAND, J. Anim. Sci., **42**: 1534-1540. 1976.
- 193) PAAPE, M. J., W. D. SCHULTZE, R. H. MILLER and J. W. SMITH, J. Dairy Sci., **56**: 84-91. 1973.
- 194) PAYNE, W. J. A. and J. HANCOCK, Empire J. Exp. Agric., **25**: 321-338. 1957.
- 195) PREMACHANDRA, B. N., G. W. PIPES and C. W. TURNER, J. Dairy Sci., **41**: 1609-1615. 1958.
- 196) RAGSDALE, A. C., D. M. WORSTELL, H. J. THOMPSON and S. BRODY, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 449. 1949.
- 197) RAGSDALE, A. C., H. J. THOMPSON, D. M. WORSTELL and S. BRODY, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 460. 1950.
- 198) RAGSDALE, A. C., H. J. THOMPSON, D. M. WORSTELL and S. BRODY, Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 521. 1953.
- 199) RAKES, A. H., E. E. LISTER and J. T. REID, J. Nutr., **75**: 86-92. 1961.
- 200) REGAN, W. M. and G. A. RICHARDSON, J. Dairy Sci., **21**: 73-79. 1938.
- 201) RICHARDSON, C. W., H. D. JOHNSON, C. W. GEHRKE and D. F. GOERLITZ, J. Dairy Sci., **44**: 1937-1940. 1961.
- 202) ROBINSON, K. W. and D. H. K. LEE, J. Anim. Sci., **6**: 182-194. 1947.
- 203) ROGERSON, A., J. agric. Sci., **55**: 359-364. 1960.
- 204) ROMAN-PONCE, H., W. W. THATCHER, D. E. BUFINGTON, C. J. WILCOX and H. H. VAN HORN, J. Dairy Sci., **60**: 424-430. 1977.
- 205) ROMAN-PONCE, H., W. W. THATCHER, D. CATON, D. H. BARRON and C. J. WILCOX, J. anim. Sci.,

- 46: 175-180. 1978.
- 206) RUPEL, I. W. and R. E. LEIGHTON, J. Dairy Sci., **40**: 1391. 1957.
- 207) 佐野宏明, 栄養生理研報, **27**: 1-11. 1983.
- 208) SASAKI, Y., S. OSHIRO, M. MIURA and T. TSUDA, Jap. J. Zootech. Sci., **44**: 248-257. 1973.
- 209) SCHLEGER, A. V. and H. G. TURNER, Aust. J. agric. Res., **16**: 92-106. 1965.
- 210) SEATH, D. M. and G. D. MILLER, J. Dairy Sci., **31**: 361-366. 1948.
- 211) SEIF, S. M., H. D. JOHNSON and L. HAHN, J. Dairy Sci., **56**: 581-586. 1973.
- 212) SHAW, J. C., W. L. ENSOR, H. F. TELLECHEA and S. D. LEE, J. Nutr., **71**: 203-208. 1960.
- 213) 柴田正貴・向居彰夫, 日畜会報, **48**: 509-514. 1977.
- 214) 柴田正貴・向居彰夫, 日畜会報, **50**: 265-270. 1979.
- 215) SHIBATA, M. and A. MUKAI, Jpn. J. Zootech. Sci., **50**: 630-637. 1979.
- 216) SHIBATA, M., A. MUKAI and S. KUME, Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn., **21**: 589-609. 1981.
- 217) 柴田正貴・向居彰夫, 栄養生理研報, **25**: 60-82. 1981.
- 218) 柴田正貴・向居彰夫, 家畜の管理, **17**: 43-50. 1981.
- 219) 柴田正貴・向居彰夫, 日畜会報, **53**: 33-38. 1982.
- 220) 柴田正貴, 畜研, **36**: 481-485. 1982.
- 221) 柴田正貴・向居彰夫・武田 功・荒 智・相井孝允, 家畜の管理, **18**: 48-57. 1982.
- 222) 柴田正貴・向居彰夫・栗原光規・久米新一, 第74回日畜学会大会講演要旨, 25. 1983.
- 223) 志垣 啓・磯川宗逸・木場俊太郎・赤星達正・寺本一人, 九農研, **43**: 120. 1981.
- 224) SHIMIZU, H., T. CHIKAMUNE, T. ICHIKAWA, H. HOMMA and Y. KANAI, *in* Report of Special Research Project on Tropical Agricultural Resources I. 41-58. Univ. Tsukuba. 1982.
- 225) 宍戸弘明・山岸規昭・古谷 修・上野孝志・野附巖, 第72回日畜学会大会講演要旨, 83. 1981.
- 226) 正田陽一・石井忠雄, 日畜会報, **48**: 215-219. 1977.
- 227) SHRODE, R. R., F. R. QUAZI, I. W. RUPEL and R. E. LEIGHTON, J. Dairy Sci., **43**: 1235-1244. 1960.
- 228) STANLEY, R. W., K. MORITA and E. UHEYAMA, J. Dairy Sci., **47**: 258-262. 1964.
- 229) STANLEY, R. W., N. KANJANIPIBUL, K. MORITA and S. M. ISHIZAKI, J. Dairy Sci., **55**: 959-963. 1972.
- 230) STANLEY, R. W., S. E. OLBRICH, F. A. MARTZ, H. D. JOHNSON and E. S. HILDERBRAND, Trop. Agric., **52**: 213-221. 1975.
- 231) STOTT, G. H. and E. G. MOODY, J. Dairy Sci., **43**: 871. 1960.
- 232) STOTT, G. H., J. Dairy Sci., **44**: 1698-1704. 1961.
- 233) STOTT, G. H. and R. J. WILLIAMS, J. Dairy Sci., **45**: 1369-1375. 1962.
- 234) STOTT, G. H., F. WIERSMA and J. M. WOODS, J. Am. Vet. Med. Assoc., **161**: 1339-1344. 1972.
- 235) STOTT, G. H. and F. WIERSMA, Int. J. Biometeor., **17**: 115-122. 1973.
- 236) STOTT, G. H., F. WIERSMA and V. VAZ, Progressive Agr. Az., **25**: 10-11, 16. 1973.
- 237) STOTT, G. H. and F. WIERSMA, *in* Livestock Environment. (ASAE) 88-95. Am. Soc. Agr. Engineers. St. Joseph, USA. 1974.
- 238) STOTT, G. H. and F. WIERSMA, Int. J. Biometeor., **20**: 344-350. 1976.
- 239) STOTT, G. H., F. WIERSMA, B. E. MENEFFEE and F. R. RADWANSKI, J. Dairy Sci., **59**: 1306-1311. 1976.
- 240) STOTT, G. H., Personal communication. 1980.
- 241) 鈴木義則・谷口利策, 農業気象, **30**: 187-190. 1975.
- 242) 武村和男・野沢竜子, 酪農科研, **22**: A212-A220. 1973.
- 243) TANAKA, K., I. NAKAJIMA and H. HAYASHI, Jpn. J. Zootech. Sci., **44**: 165-173. 1973.
- 244) TANEJA, G. C., J. agric. Sci., **52**: 62-65. 1959.
- 245) 照井信一・金田義宏・松田一男, 家衛試研報, **75**: 42-49. 1977.
- 246) 照井信一・石野清之・吉田 勲・金田義宏・松田一男, 家衛試研報, **76**: 10-16. 1978.
- 247) 照井信一・石野清之・松田一男, 家衛試研報, **77**: 50-57. 1978.
- 248) THATCHER, W. W., F. C. GWAZDAUSKAS, C. J. WILCOX, J. TOMS, H. H. HEAD, D. E. BUFFINGTON and W. B. FREDRIKSSON, J. Dairy Sci., **57**: 304-307. 1974.
- 249) THOMAS, C. K. and R. M. ACHARYA, Indian J. Anim. Sci., **51**: 351-356. 1981.
- 250) THOMPSON, H. J., Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 542. 1964.
- 251) TOGASHI, K. and S. TANAKA, Jpn. J. Zootech. Sci., **50**: 320-327. 1979.
- 252) TSAI, Y. C., L. S. CASTILLO, W. A. HARDISON and W. J. A. PAYNE, J. Dairy Sci., **50**: 1126-1129. 1967.
- 253) TYRRELL, H. F., P. J. REYNOLDS and P. W. MOE, J. Anim. Sci., **48**: 598-606. 1979.
- 254) ULBERG, L. C., C. W. ALLISTON and A. C. WARNICK, *in* A Guide to Environmental Research on Animals. (Committee on Physiological Effects of Environmental Factors on Animals) 189-214. Natl. Academy of Sciences. Washington, D. C. 1971.
- 255) VOHNOUT, K. and J. V. BATEMAN, J. agric. Sci.,

- 78: 413-416. 1972.
- 256) WALDERN, D. E. and G. CEDENO, J. Dairy Sci., **53**: 317-324. 1970.
- 257) WARREN, W. P., F. A. MARTZ, K. H. ASAY, E. S. HILDERBRAND, C. G. PAYNE and J. R. VOGT, J. Anim. Sci., **39**: 93-96. 1974.
- 258) 渡辺 享, 栄養生理研報, **18**: 16-28. 1974.
- 259) WAYMAN, O., H. D. JOHNSON, C. P. MERILAN and I. L. BERRY, J. Dairy Sci., **45**: 1472-1478. 1962.
- 260) WEGNER, T. N., J. D. SCHUH, F. E. NELSON and G. H. STOTT, J. Dairy Sci., **59**: 949-956. 1976.
- 261) WHITTOW, G. C., J. agric. Sci., **58**: 109-120. 1962.
- 262) WHITTOW, G. C., Quart. J. Exp. Physiol., **50**: 300-311. 1965.
- 263) WHITTOW, G. C. and J. D. FINDLAY, Am. J. Physiol., **214**: 94-99. 1968.
- 264) WIERSMA, F. and G. H. STOTT, Transactions ASAE., **9**: 309-311, 313. 1966.
- 265) WILLIAMS, J. S., R. R. SHRODE, R. E. LEIGHTON and I. W. RUPEL, J. Dairy Sci., **43**: 1245-1254. 1960.
- 266) WILLIAMSON, J. L., *in* Effect of Processing on the Nutritional Value of Feeds. 349-355. Natl. Academy of Sciences. Washington, D. C. 1973.
- 267) WOODY, C. O. and L. C. ULBERG, J. Reprod. Fertil., **7**: 275-280. 1964.
- 268) 山岸規昭, 栄養生理研報, **15**: 25-43. 1971.
- 269) 山本禎紀・梅津元昌, 日畜会報, **36**: 137-144. 1965.
- 270) 山本禎紀・梅津元昌, 日畜会報, **36**: 368-375. 1965.
- 271) 山本禎紀・梅津元昌, 日畜会報, **37**: 171-176. 1966.
- 272) 山本禎紀・芳賀 仁・藤沢昭男・荒 智・大友泰・津田恒之・梅津元昌, 日畜会報, **39**: 456-461. 1968.
- 273) 山本禎紀・梅津元昌, 日畜会報, **40**: 327-333. 1969.
- 274) 山本禎紀, 日獣会誌, **24**: 477-483. 1971.
- 275) 山本禎紀・所 和暢・富島信行・伊藤敏男・三村耕, 日畜会報, **42**: 609-616. 1971.
- 276) 山本禎紀・伊藤敏男・伊藤久孝・松本千秋・三村耕, 日畜会報, **46**: 161-166. 1975.
- 277) 山本禎紀, 日畜会報, **47**: 687-697. 1976.
- 278) YEATES, N. T. M., Nature, **178**: 702-703. 1956.
- 279) YECK, R. G., Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 595. 1955.
- 280) YECK, R. G. and STEWART, R. E., Transactions ASAE., **2**: 71-77. 1959.
- 281) YOUSEF, M. K. and H. D. JOHNSON, J. Anim. Sci., **25**: 150-156. 1966.
- 282) YOUSEF, M. K. and H. D. JOHNSON, J. Anim. Sci., **25**: 1076-1082. 1966.
- 283) YOUSEF, M. K. and H. D. JOHNSON, J. Anim. Sci., **26**: 1087-1093. 1967.
- 284) YOUSEF, M. K., L. HAHN and H. D. JOHNSON, *in* Adaptation of Domestic Animals. (HAFEZ, E. S. E. ed.) 233-245. Lea & Febiger. Philadelphia. 1968.
- 285) YOUSEF, M. K., W. D. ROBERTSON, H. D. JOHNSON and L. HAHN, J. Anim. Sci., **27**: 677-683. 1968.