

水牛の飼料消化生理を特色づける水浴習性

本間秀彌*

筑波大学農林学系, 305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

水牛の粗飼料消化性をホルスタイン牛と比較すると、高品質粗飼料では差が認められないが低品質粗飼料の消化率が高い。この理由は、ホルスタインではルーメン（第一胃）内バクテリア濃度が飼料の品質に比例して高くなり、そのセルラーゼ活性も品質に比例して高くなるが、水牛ではこれらが飼料の品質に関係なく常に高く、飼料片に付着する細菌量が多いことに起因している。しかし、酵素の比活性（セルラーゼ活性/細菌量）には差がないことから水牛のルーメン内セルロース分解菌の比率は牛とほぼ同じであり、水牛に特有のセルロース分解能の高い細菌は存在しないと言える。ルーメン内アンモニア濃度も水牛の方が常に高いので、低品質飼料のように蛋白質含量の少ない飼料では、この高濃度のアンモニアが細菌への窒素供給源として利用され、微生物が増殖することで、飼料の分解効率が高まるばかりでなく、低蛋白質飼料でも、宿主に高品質の菌体蛋白質を多量に供給するのに役立っていると思われる。水牛はルーメン容量が小さいので飼料摂取量も少ないが、その内容物濃度は常に高く、ルーメン内飼料滞留時間も長いことも低品質飼料の利用性を高める一因と言える。このような水牛特有のルーメン性状が生じる原因は、水牛が「水浴」を前提とした特有の体温調節機構で湿潤熱帯の厳しい環境に適応していることと密接に関係している。水浴で過体温を効率的に冷やすには、体深部の熱を体表面に迅速に移動させる必要があるが、このために熱の移動媒体として血液中の血漿量を増加し、血液循環量を高めることでこれに対処している。血漿量の増加は細胞外水分量が気温によって変動しないことから消化管からの水分吸収の増加により賄われていると言える。通常、消化管の主な水分吸収部位は第三胃と大腸であるが、水牛は第一胃からの総水分流出率がホルスタインと同じであるにもかかわらず第二胃以降に流出する液相の流出率（ルーメン液回転率）はルーメン壁を通過しない液相指標物質を用いて測定するとむしろ低く推定される。このことは、もう一つの水分の出入口であるルーメン壁から多量の水分が血管系に流出して血漿量が増加することを意味する。このように、水浴による体温調節のためにルーメン壁から水分が血管系に流出することは、ルーメン内容物が濃縮されることにつながる。更に、微生物濃度やアンモニア濃度を高めるばかりでなく、飼料のルーメン内滞留時間も長くするなど、ルーメン微生物が低品質飼料の利用性を高めるのに適したルーメン性状が形成される原因となっている。このように水牛の飼料消化生理の特色は、水浴という習性による独特の体温調節機構の一環として機能しているのである。

* Corresponding Author: buf7falo@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

キーワード：消化特性，飼料通過速度，水牛，水浴，ルーメン液相回転率，ルーメン微生物

はじめに

現在，水牛は日本国内で沖縄県に数十頭飼育されているにすぎないので家畜としてはあまり馴染みがない動物である。しかし，世界的にみると牛の一割に当たる一億四千万頭生息しており，その96%は南アジアや東南アジアに集中していることから，この地域の家畜生産においては欧米におけるウシに匹敵する重要な役割を持っている大型家畜であることがうかがわれる（宮重1992）。水牛は分類学上ウシ科（Bovinae）であるが，ウシ属（bos）ではなくスイギュウ属（Bubalus）に分類され，大別すると河川型（River type）と沼沢型（Swamp type）の二種類に分かれる。前者は染色体数： $2N=50$ であり，主にインドやパキスタンで乳用として飼育されている。一方，後者は染色体数： $2N=48$ であるが，前者との間にF1の作成は可能であることからF1を用いた乳生産も可能である。しかし東南アジアでは主に役用として農作業全般に「生けるトラクター」として畜力を提供し，廃用後は肉に回されている（Chantalakhana and Bunyavejchewin 1990）。

南アジアや東南アジアでは，農家の水牛飼育頭数は2～3頭なので，欧米に見られるような本格的な粗飼料生産基盤は殆ど確立していない。しかし，飼料の大部分は河川敷や道端の雑草および耕地や水田・プランテーションなどから生じる農業残渣から供給されているので，飼育経費が殆どかからない家畜生産が成り立っている（Cockrill 1974, 1977, 1980）。水牛に給与されるこのような農業副産物を主体とする飼料は当然のことながら難消化性の繊維成分が多く，蛋白質やビタミン・ミネラルに乏しく，栄養価が低いものが多い。このような劣悪な飼料条件にも拘らず水牛は同様の飼料を食べている現地のウシに比べて肥えていることから，古来，水牛は低品質飼料の利用性が高いという評判を得てきた（Chalmers 1977, Cockrill 1980, 柏原1984）。

近年，特に東南アジアの経済成長は著しく発展しており，生活水準も向上しているので，動物性蛋白質の需要も増加してきている。また，人口も急激に増加していることから現状の農業生産性では将来，食料不足を招く恐れがあるとFAOは警告している（Cockrill 1980, Jul and Padda 1984）。このような現状に鑑み，将来に備えて畜産物の増加を図りながら食料の安定的確保を実現する為には，この地域の生育の速い草資源や豊富な未利用の植物資源および農業副産物を活用して，地域に適応している水牛や牛などの在来家畜を飼育し，人類と家畜が食料を競合しない形で肉やミルクを生産するシステムを確立することが望まれている。水牛はこのシステムに組み込まれるべき重要な家畜の一つであると考えられる。しかし，水牛は発展途上国に偏在していることから，これまであまり科学的関心が払われておらず，牛と比べて研究資料の蓄積が圧倒的に少ない。現在，一部，経済発展の著しい地域では水牛は減少傾向にあるので，栄養・飼養・管理・繁殖など多方面から研究して家畜としての能力や特性を明らかにしておくことは急務であるばかりでなく，畜産学的にも意義深いことである。

本稿は，筆者がこれまで調べた水牛の飼料消化生理特性をホルスタイン牛と比較して明らかにされた研究成果を中心に，水牛の低品質飼料の利用性が高い理由を解明するという視点からまとめたものである。

水牛の飼料消化性と採食・反芻行動

水牛と牛の飼料消化性を比較した研究はこれまで多くの報告があるが、そのほとんどは水牛の消化性が優れているというものであり (Ichhponai ら 1962, Ponnappa ら 1971, Ichikawa and Homma 1986, Pradhan ら 1991, Pradhan 1992), 用いる飼料により, あるいは濃厚飼料の併用により差がない場合もあるが (Kennedy ら 1992), 逆に, 牛より劣るという報告は見当たらない。特に, 低品質飼料を用いた場合その差が明瞭になる (Ichikawa and Homma 1986, Pradhan ら 1991)。この理由を採食行動や反芻行動から検討してみると, ホルスタインは一回の採食量が多く採食回数は少ないのに対し, 水牛は少量の飼料を短時間で何回も食べる (Ichikawa and Homma 1986)。これは水牛が体重に比べてルーメン容積がホルスタインよりも小さいためである (Homma 1989, 1994a, 1994b)。ルーメン容積が小さいことは飼料摂取量が少なくなり, 栄養分を獲得しうえで不利であると思われる。しかし, 飼料を少量ずつ何回にも分けて採食するという行動は, 小さなルーメン容積でも摂取する飼料量を増加させるばかりでなく, ルーメン微生物の発酵を考慮すると, 一度に多量の飼料が流入するよりもルーメン内の恒常性が保たれるので発酵効率が良いと思われる。また, ルーメン内の固形物濃度が高まることで飼料滞留時間が長くなると考えられるので難消化性の飼料は微生物による分解を長時間受けることになり, 飼料の利用性が高まると思われる。

一日当たりの反芻時間はルーメン内の物理的性状を表す指標となるが, 牛よりも水牛の方が長い (Ichikawa and Homma 1986)。これは飼料のルーメン滞留時間が長いことから内容物濃度が常に高いので一回当たりの噛みこむ食塊の量が多いことも関係していると思われる。しかし, それよりも噛む動作そのものがゆっくりしており (Ichikawa and Homma 1986), 牛よりも明らかに遅いことが反芻時間を長くする原因であり, これは水牛と牛の種特有の違いであると思われる。

ルーメン内の微生物活性

反芻家畜のルーメンには嫌気性の細菌, プロトゾアおよび真菌などの微生物が生息しており, 採食された飼料の種類や量に応じて一定の微生物叢を形成し独特の生態系を維持しながら宿主と共生している。この微生物叢は摂取する飼料の品質により大きく変動することから, 飼料の品質と消化性および利用性との関係を検討する手段として古くから利用されている。水牛は低品質飼料の利用性が牛よりも高いことから, その微生物叢にも興味を持たれている。Pant and Roy (1970) はムギワラと青刈飼料および濃厚飼料の混合飼料ではプロトゾア数に差はないが細菌数は水牛の方が多くと報告した。Pradhan ら (1991) は, 低品質飼料としてイナワラおよびムギワラを, 高品質飼料としてエンバク乾草およびマメ科の粗飼料を給与した時, 細菌数およびセルロース分解菌が飼料の品質にかかわらず水牛の方が高く, プロトゾア数も低品質飼料で水牛のほうが高いと報告した。しかし, Naga and Shazly (1969) はイナワラ主体の飼料で水牛のプロトゾア数が牛より少なかったと報告している。Kennedy (1992) はイナワラ主体の飼料で水牛はルーメン液のセルロース分解能は高いが, プロトゾア数は牛と差がなかったと報告した。また, 真菌についての報告は限られているが, Ho ら (1988a, 1988b) はギニアグラスを摂取した水牛と牛の真菌数や種類には差がないと報告している。このように,

水牛と牛のルーメン内微生物叢を比較するとプロトゾア数には一貫した結果が見られないが、細菌数は水牛の方が高いといえる。低品質飼料の主成分は難消化性のセルロースであり、これを効率よく分解するルーメン内微生物は主に細菌類であることから水牛の細菌濃度が高いことは低品質飼料の利用性が高いことと密接に関係していると思われる。

ルーメン微生物叢の検索は顕微鏡技術や嫌気性培養法により調べられているが、この方法で用いられるルーメン液はガーゼなどで殆どの飼料片が除かれているので飼料片に付着した微生物についての情報は不明である。Forsberg and Lam (1977) は飼料片に付着した細菌は全体の60~75%に達すると報告している。そこで近年、細菌の細胞膜にのみ存在する Diaminopimelic acid (DAP) というアミノ酸を指標として細菌量を測定する方法が用いられるようになった。筆者は DAP を用いて水牛と牛のルーメン細菌濃度を調べ同時にセルラーゼ活性を調べた。その結果、水牛の DAP とセルラーゼ活性は粗飼料の品質に関係なく常に高い値を維持するのに対し、牛は品質の向上に応じて高くなることが判った (Homma and Ichikawa 1983, Homma 1986)。また、酵素の比活性 (セルラーゼ/DAP) はどの飼料でも両者に差がないことから水牛では細菌濃度が高くてもセルロース分解菌の割合はほぼ同じであり、セルロース分解能が特別高い細菌の種類が存在しないことも判明した (Homma and Ichikawa 1983)。

ルーメン液の性状と内容物の通過速度

反芻家畜が摂取した飼料は大量の唾液と共にルーメン内に流れ込み、そこに生息する微生物による発酵を受け、生じた生産物や代謝産物が家畜の重要な栄養源となってルーメンで吸収・利用され、更に下部消化管へと流出して行く。この一連の行程でルーメン内の発酵は分解者である微生物ばかりでなく飼料の消化性に関する様々な外的および内的要因によって影響をうける。特に、ルーメン液の性状は重要な要因の一つである。水牛のルーメン液は牛と比べて固形分含量が高く、尿素やアンモニアの濃度も高い (Homma and Ichikawa 1983, Homma 1994a)。飼料を除く尿素やアンモニアの供給経路は唾液とルーメン壁であるが、唾液中のこれらの成分も水牛のほうが高い (Homma 1994a)。また、ルーメン内無機リン濃度も水牛の方が約2倍近く高いが、これは飼料を除いては唾液のみから供給され、その無機リン濃度も牛の約2倍である (Homma 1994a)。このように、水牛の特徴的なルーメン内の性状はある程度唾液の成分濃度を反映しているように見える。

ルーメン液相の指示物質として Co-EDTA を用いルーメン容積と液相回転率を求めるとどちらも水牛の方が低い値であった (Homma and Ichikawa 1983, Homma 1994a)。また、ルーメン液相流出量から水分摂取量を差し引いて唾液分泌量 (代謝体重当たり) を間接的に求めると水牛は牛の約半分に留まった (Homma 1994a)。しかし、Verma ら (1972) は耳下腺からの唾液分泌量を直接測定した結果では水牛と牛で差がないと報告している。水牛の唾液分泌量が、液相指標物質を用いて求めた値のように牛の半分程度であるとすれば、たとえ水牛のルーメン容積が小さいことを考慮にいれても、ルーメン液の無機リン濃度は牛と比べてそれほど高くはないはずである。しかしながら、水牛のルーメン内無機リン濃度が牛の2倍も高いのは説明がつかない。この矛盾は水分摂取量に大きな差がなければ指標物質を用いて間接的に求めたルーメン液相回転率が何らかの要因が関与して過少に算出された為、唾液分泌量が低い値を示したものと考えられる。

水牛は代謝体重当たりの乾物摂取量や水分摂取量が牛と大差ないにもかかわらず、ルーメン内容物濃度が牛よりも明らかに高い。そればかりでなく、前述したように細菌濃度も常に高い濃度を維持している。水分摂取量や唾液分泌量に水牛と牛で差がないとすれば、何故水牛はルーメン内容物や細菌濃度が高いのかという疑問が残る。ルーメン液相の指標物質である Co-EDTA はルーメン壁を通過できない化合物であり、主に温帯に生息する牛や羊に用いてルーメン液相回転率を求めるのに使われる。その際、通常ルーメン壁と血管を浸透圧較差で出入りしている水分量は無視できるという前提に立っている (Dobson ら 1971, 1976, Ellis ら 1979)。しかし、「水浴」という独特の体温調節機構を身に付けて熱帯に適応した水牛は生体の水分活用機構もおのずと温帯の家畜とは異なっていると考えられる。Koga ら (1991) は高温度環境下で水牛は消化管から水分を吸収し血漿量を増加させ水浴による冷却効率をあげると報告している。もしもルーメン壁からの水分が血管に流出して血漿量を増加させていると仮定するとルーメン内容物は濃縮されることになり、前述の疑問が全て解決することになる。

Ponnappa ら (1971) は染色粗飼料の糞中排泄パターンの解析から水牛は牛よりも飼料の消化管内滞留時間が長いと報告している。Homma and Kurata (1989) は希土類元素の一つである Yb の付着したイナワラを用いて消化管内飼料通過速度を比較した結果、ルーメン内滞留時間が水牛の方が長いことを報告した。水牛はルーメン容積が小さいので少量ずつ回数を多くして採食する習性があるが、このような採食行動もルーメン内容物濃度を常に高く保ち消化管内飼料通過速度を遅くして低品質飼料の消化性を高めるのに役立っていると考えられる。

ルーメン内水分流出率と体温調節との関係

反芻家畜の消化生理においてルーメンの発酵は最も重要なプロセスであるが、高温度環境では、ルーメンで生じる大量の発酵熱をどのように取り除くかが大きな問題となる。一般に温帯でも夏季の高温度時には暑熱ストレスによりホルスタインなどの乳牛では一時的に採食量が低下し、生産量が落ちることが知られている。熱帯の反芻家畜である水牛は常に暑熱とルーメン発酵熱という二重の熱負荷から身を守る必要に迫られている。ホルスタインでは消化生理と体温調節機構との関係は夏季の高温度下という特殊環境で生じる特別な場合として捉えられており、通常の飼養管理でこの関係はあまり問題にされることはなかった。しかし、水牛は湿潤熱帯という反芻家畜にとって最も過酷な条件下で体温を生理的範囲内に保ちながら栄養を摂取し生産性を上げているのである。このことは熱帯における反芻家畜の生産の常識からみると驚くべきことであるが、これまでの水牛の消化機能に関する研究は不思議なことに環境生理との関係が取り立てて話題に上る事はなかった。水牛の消化性の問題と耐暑性の問題はそれぞれ別の問題として扱われてきたのである。水牛の置かれている飼養環境を考慮すると消化機能の研究から得られた科学的事実を栄養生理学的観点からのみ検討することは、この家畜の生体機能を正しく理解することに繋がらない。むしろ、体温調節機能などの環境生理との整合性を意識しながら検討を加えることが消化生理の特性を正確に把握するのに繋がると思われる。

体温調節機構は、一般に生命活動によって生じた体熱が伝導・対流・放射および蒸散という四つの物理的プロセスが関係して体外に移動するのを、呼吸系および循環系の二つの熱放散経路における生理的機能の関与によって制御されている。血液による循環系の熱伝導は体内対流とよばれており、

体内中心部の体熱が血液に運ばれて体表面に移動する。そして、皮膚表面と環境温度との間の伝導・対流および放射による放熱は感放熱 (sensible heat loss) と言われており、その放熱量は主に体表温度と環境温度との差によって左右される。他方、蒸発による放熱は水の持つ大きな潜熱を利用するもので発汗と不感放熱 (insensible heat loss) に区別される。不感放熱はさらに呼吸と皮膚表面からの蒸発に細別される。そして、これらの体熱放散経路は動物種および環境条件によって異なっている。

Chikamune (1986, 1987) は水牛とホルスタインの環境生理に関する一連の比較実験から次のような結果を得ている。すなわち、水牛はホルスタインと比べて①体温は低いが、外気温の変動に呼応して容易に変動する、②単位時間あたりの呼吸数および呼吸量が少ない、③単位時間当たりの心拍数が少ない、④発汗率が低い。また、血液については、外気温の上昇に伴い⑤血漿量が増加する、⑥ヘマトクリット値が下がる、⑦浸透圧が下がる、などの大きな相違が認められる。これらの結果から水牛とホルスタインの体温調節機構に明瞭な違いがあることが分かる。すなわち、ホルスタインは発汗と不感放熱によって過体温を防ぎ、主に呼吸系によって熱放散を行っている。一方、水牛は発汗と不感放熱による体温調節機能は牛より劣っているが、血液量を増加させて体内対流を活発にし、深部体温を体表面に移動している様子がうかがわれる。これは主に循環系を利用した熱放散であるが、「水浴」という習性を前提とした体温調節機構であると言える。

水牛は体温調節の効率を上げるために血液量を増加させるが、これはヘマトクリット値が低下していることから血漿量の増加によるものであることが分かる (Koga ら 1991)。血漿量の増加は細胞外水分か、もしくは消化管からの水分吸収が原因となるが、血液の浸透圧の低下を伴っていることから、血液とはほぼ等張である細胞外水分が原因とは考えられないので、消化管から血管系に水分が移動していることがわかる (Koga ら 1991)。

反芻家畜の場合、水分吸収の主要な部位は第三胃と大腸である。しかし、前項で述べたように水牛のルーメン内液相回転率が牛よりも少ないことから、ルーメンから下部消化管に移動する水分量は牛よりも少ないことになり、消化管から血管系に十分な水分を供給することは困難となる。従って、従来の論理では水牛のルーメン内消化生理と体温調節生理との間に生じた体水分の移動に関する矛盾を説明できない。

ルーメン内水分の流出経路は通常の第二・三胃を経由して下部消化管へ流出する経路とルーメン壁から血管系へ流出する経路の二つである。この内、ルーメン壁の方は薄い膜を隔てて血管系と接し、浸透圧較差で出入りしている。温帯に生息する牛や羊では、この浸透圧較差は僅かであり、ルーメン壁を出入りする水分量は無視できるものとされている (Dobson ら 1971, Dobson ら 1976)。従って、ルーメン壁を通過しない Co-EDTA や Cr-EDTA をルーメン液相の指標物質として用いて、ルーメン液相回転率を求めることが可能となる。一方、熱帯に生息する水牛は温帯に生息する牛や羊とは異なり、消化管内の水分を血管系に吸収して血漿量を増加させて血液循環量を増やしながら体温調節に有効に活用している。従って、仮に、ルーメン壁からの水分流出量が無視できる量とすれば、下部消化管への水分流出率が牛よりも高くなければならない。しかし、体内における最大の水瓶であるルーメン内水分がルーメン壁から血管系に流出し体温調節に利用されるとすれば上述した矛盾は解消することになる。筆者はルーメン内水分の流出速度を二種類の水分マーカーを用いて調べた。すなわち、ルーメンからの総水分流出率をルーメン壁に対して水と同じ通過速度を持つエチルアルコールを使い (Dobson

ら 1976), ルーメン液相回転率は従来通りルーメン壁を通過しない Co-EDTA を用いて, 水牛とホルスタインのルーメンから流出する水分流出率を比較した。すると, 総水分流出率は水牛と牛で差がなかったが, 下部消化管に流出するルーメン液相回転率は水牛の方が低かった (Homma 1994b)。この結果はルーメンから水分の流出は水牛ではルーメン壁から流出する水分が牛とは異なり無視できない量であることを示唆している。そして, ルーメン液相回転率が低く算出されるのは, ルーメン壁から流出する水分量が無視できない量であるため, マーカー自体が濃縮されて濃度が高くなるためであると考えられる。おそらく, このルーメン壁からかなりの水分量が血管系に流出し, 血漿量を増加させて体内対流を活発にしているのであろう。そして, これによって深部体温を体表面に効率よく移動させて「水浴」により外部の水に放熱しているものと思われる。

図 1 に水牛の飼料消化性と体温調節機構との関係を模式図で示した。水牛が低品質飼料の消化性が牛よりも優れている理由はルーメン内の細菌濃度が高く, そのセルロース分解能も高いことによる。また, アンモニア濃度も高いので, 蛋白質含量の少ない低品質飼料でも微生物の成育に必要な窒素源が不足しないことも要因の一つである。ルーメン内容物濃度も高いので飼料のルーメン内滞留時間が長くなることも繊維質の多い難分解性の基質の消化性を高めるのに役立っている。このような牛とは異なる水牛特有のルーメン性状が生じるのは, 水牛の体温調節機構が牛と異なっていることに起因している。「水浴」を前提とした水牛の体温調節機構はルーメン壁から多量の水分を血液に吸収し血液量を増加することで血液循環量を高め, 深部体温を効率よく体表面に移動し過体温を冷却する。同時に, このルーメン壁からの水分流出はルーメン内容物を濃縮し, 水牛特有の濃厚なルーメン液が形成される原因になっている。水牛が低品質飼料の利用性が高いのは主にこの濃縮されたルーメン液の性状に起因しているのである。

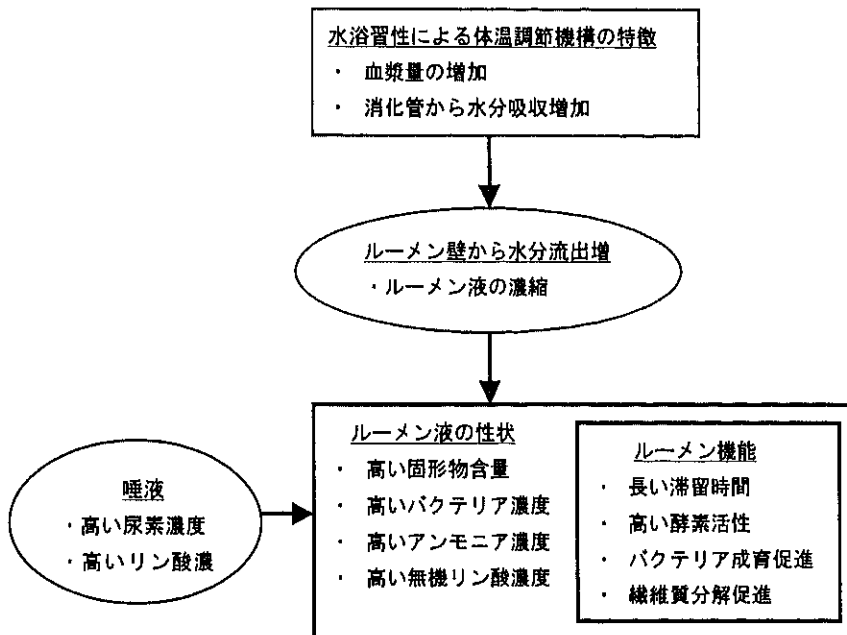


図 1 水牛の飼料消化特性と水浴に依存する体温調節機能との関係。

引用文献

- Chantalakhana, C. and P. Bunyavejchewin 1990 Draught power from swamp buffalo in Asia. Proceedings of a workshop in Bangkok, Thailand.
- Chalmers, M.I. 1977 Nutrition. In: the water buffalo, Ed. W.R. Cockrill. FAO, Rome 48-57.
- Chikamune, T. 1986. Effects of environmental temperature on thermoregulatory responses and oxygen consumption in swamp buffaloes and Holstein cattle. Buffalo J. 2: 151-160.
- Chikamune, T. 1987. Energy-saving characteristics of buffalo. Buffalo bulletin 6: 28-34
- Cockrill, W.R. 1974 The husbandry and health of domestic water buffalo. FAO, Rome.
- Cockrill, W.R. 1977 The water buffalo. FAO, Rome.
- Cockrill, W.R. 1980 The ascendant water buffalo-key domestic animal. World Animal Rev. 33: 2-13.
- Dobson, A., A.F. Sellers and S.O. Thorlacius 1971 Limitation of diffusion by blood flow through bovine ruminal epithelium. Am. J. Physiol. 220: 1337-1343.
- Dobson, A., A.F. Sellers and V.H. Gatewood 1976 Absorption and exchange of water across rumen epithelium. Am. J. Physiol. 231: 1588-1594.
- Ellis, W.C., J.H. Matis and C. Lascano 1979 Quantitating ruminal turnover. Federation Proceeding 38: 2702-2706.
- Forsberg, C.W. and S.E. Lam 1977 Cellulase and xylanase release from *Bacteroides succinogenes* and its importance in rumen environment. Appl. Environ. Microbio 32: 886-896.
- Ho, Y. W., N. Abdullah and S. Jalaludin 1988a Colonization of guinea grass by anaerobic rumen fungi in swamp buffalo and cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 22: 161-171.
- Ho, Y.W., N. Abdullah and S. Jalaludin 1988b Penetrating structures of anaerobic rumen fungi in cattle and swamp buffalo. J. Gen. Microb. 134: 177-181.
- Homma, H. and T. Ichikawa 1983 Cellulolytic activity, nitrogenous components and volatile fatty acids in rumen digesta of cattle and buffaloes. Jpn. J. Zootech. Sci. 54: 690-696
- Homma, H. 1986 Cellulase activities of bacteria in liquid and solid phases of rumen digesta of buffaloes and cattle. Jpn. J. Zootech. Sci. 57: 336-341.
- Homma, H. and K. Kurata 1989 Passage rate of rice straw in the digestive tract of buffaloes and cattle. Aust. J. Anim. Sci. 2: 287-288.
- Homma, H. 1994a Ruminal liquid turnover rate and saliva flow in buffaloes and Holstein cattle. Anim. Sci. Technol. (Jpn) 65: 239-243.
- Homma, H. 1994b Liquid turnover rate and water flux rate in the rumen of cattle and buffaloes. Anim. Sci. Technol. (Jpn) 65: 258-260.
- Ichiponani, J.S., G.S. Makkar, G. S. Sidhu and A.L. Moxon 1962 Cellulose digestion in water buffalo and zebu cattle. J. Anim. Sci. 21: 1001, Abstr.
- Ichikawa, T. and Homma 1986 Comparative studies on feeding buffalo and cattle. 1. DM intake and nutrients digestibility. Japan. J. Trop. Agr. 30: 251-256.
- Ichikawa, T. and Homma 1990 Comparative studies on feeding buffalo and cattle. 2. Drinking and eliminative behavior. Japan. J. Trop. Agr. 34: 1-7.
- Jul, M. and G. S. Padda 1984 Meat production in India; The potential of buffalo beef. World Animal Review 50: 36-44. FAO, Rome.
- 柏原孝夫 1984 熱帯の水牛 国際農業協力協会
- Kenedy, P.M., C.S. McSweeney, D. Foulkes, A. John, A.C. Schlink, R.P. Lefevre and J.D. Kerr 1992 Intake and digestion in swamp buffaloes and cattle. 1. The digestion of rice straw (*Oryza sativa*). J. agric. Sc. Camb. 119: 227-242.
- Koga, A., T. Chikamune, Y. Kanai, H. Homma, A. Tajima, N. Ishikawa, R. Furakawa, T. Ueno, M. Nakajima and T. Watanabe 1991 Effects of high environmental temperatures on some physicochemical parameters of blood and heat production in swamp buffaloes and Holstein cattle. Anim. Sci. Technol. (Jpn) 62: 1022-1028.
- Naga, M.A. and K. El-Shazly 1969 Activities of rumen micro-organisms in water buffalo (*Bos bubalis L.*)

- and zebu cattle. *J. Dairy Res.* 36: 1-10.
- 宮重俊一 1992 東南アジアにおける家畜生産の展開と問題. *日畜会報*, 63: 98-107.
- Pant, R.C. and A. Roy 1970 Studies on the rumen microbial activity of buffalo and zebu cattle ; Concentrations of micro-organisms in the rumen liquor. *Indian J. Anim. Sci.* 40: 600-609.
- Ponnappa, C.G., MD. Noor Uddin and G.V. Raghavan 1971 Rate of passage of food and its relation to digestibility of nutrients in Murrah buffaloes and Haryana cattle. *Indian J. Anim. Sci.* 41: 1026-1031.
- Pradhan, K., S.K. Bhatia and D.C. Sangwan 1991 Relative rumen ecosystem and nutrient digestibility in cattle and buffalo fed high fiber diets. Department of Animal Nutrition Haryana Agricultural University, Haryana, India.
- Pradhan, K. 1992 Feeding value of poor quality feeds in cattle and buffalo. In; Utilization of feed resources in relation to nutrition and physiology of ruminants in tropics. Proceedings of the 25th international symposium on tropical agriculture research. Tsukuba, Japan pp. 35-45.
- Verma, M.L., L.S. Bhatia and A.S. Kochar 1972 Influence of diet on secretion of parotid saliva. II. Variation in the rate of salivary secretion in cattle and buffalo. *Indian J. Anim. Sci.* 42: 257-264.