寒冷暴露時におけるめん羊の血液グルコースのターン・オーバー率, リサイクル率および酸化寄与率について¹⁾

安 保 佳 一, 藤 田 正 範, 菅 原 盛 幸, 津 田 恒 之*

東北大学農学部家畜生理学教室*

常温 (20°C) ならびに寒冷 (0°C) 環境下におけるめん羊のグルコース代謝の動態が, ¹⁴C および ³H-グルコースを用いる同位元素希釈法によって測定された。

常温時において, グルコースのプール・サイズは 159.5 mg/kg, 総ターン・オーバー率は 2.63 mg/min/kg, リサイクル率は 0.40 mg/min/kg, また, 呼吸 CO₂ への酸化寄与率は 5.37% であった。0°C 暴露 4 日目には, そのプール・サイズは 266.0 mg/kg (1.67 倍), 総ターン・オーバー率は 4.88 mg/min/kg (1.86 倍), リサイクル率は 1.17 mg/min/kg (2.93 倍), さらに, 酸化寄与率も 12.0% (2.23 倍) に増加した。

これらの結果は, グルコースが消化管でほとんど吸収されないめん羊でも, 体内で糖を新生して, 単胃動物に匹敵する量のグルコースを利用していること, 寒冷暴露時には, グルコースの代謝回転は著しく増大し, 熱生産の素材としても大きく貢献していることを示している。

1976 年 8 月 24 日受付

はじめに

第一胃発酵という特異な消化過程があるために, その栄養のしくみに大きな特徴をもつ反芻動物が, 種々の環境条件下において, 熱生産ならびに糖新生の素材を何に求めるのかという問題を解明するための一環として, われわれは, めん羊を 0°C 環境下で 1 週間飼育し, その際の一般生理反応および血液・尿成分を観測した¹⁾。その結果, 寒冷暴露時には, 一般生理反応の変化を通じて, 著しい代謝亢進が起っていることが示されたにもかかわらず, 血漿遊離脂肪酸濃度の増加を除いて, 血液・尿の諸成分には明瞭な変化がみられなかった。

これらの事実は, その寒冷暴露期間には, 種々の物質代謝が協調しあって血液における恒常性の破綻が招来されなかったことを示唆するものであり, 同時に, 個々の代謝物質の動態を血液中の濃度だけから知ろうとすることには自ずから限界があることを示すものと考えられた。

そこで, 本報告では, 体内で利用される糖のほとんどを糖新生に依存するという反芻動物の栄養生理的特徴に焦点をあて, 常温および寒冷環境下におけるめん羊のグルコース代謝の動態を追跡するために, 同位元素希釈法を用いて検索をすすめた。

実験方法

動物および処置: 実験には, 体重 29~35 kg のコリデール種の去勢雄めん羊 3 頭を, 被毛長 1 cm 以下の状態で用いた。

まず, 動物を温度 20°C, 相対湿度 70% に調節したズートロン内において 14~20 日間飼育した後に, グルコースの同位元素希釈法を実施した (常温時)。また, 寒冷暴露時の代謝については, 予め, 動物を 20°C, 70% のズートロン内において 14 日間飼育した後, 室温を 0°C に下げ, その後 4 日目, すなわち 72 時間後にグルコースの同位元素希釈法を行ってしらべた。常温時, 寒冷暴露時を通じて, 午前 9 時に, オーチャードグラス乾草および配合飼料 (小麦, トウモロコシ, 大豆粕, 糖蜜, 無機物: TDN 68%, DCP 14.5%) を体重の 1% ずつ給与した。水は自由に飲ませた。

なお, 同位元素希釈法を実施する前日, めん羊の両側頸静脈内にポリエチレンカテーテル (外径: 1 $\frac{1}{8}$ mm) を挿入し, カテーテル内にヘパリンの 0.85% 食塩水溶液

¹⁾ Kaichi AMBO, Masanori FUJITA, Moriyuki SUGAWARA and Tsuneyuki TSUDA*: Rates of Turnover, Recycle and Oxidation of Blood Glucose on Cold Exposure in Sheep.

* Division of Animal Physiology, Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai.

(100 単位/ml) をみたして凝血を防いだ。

^{14}C - および ^3H -グルコースの注入と試料採取: まず、グルコースのターン・オーバー率およびリサイクル率を測定するために、 ^{14}C - および ^3H -グルコースの Single injection 法を行った。すなわち、実験当日の採食後 3 時間目 (午前 11 時) に、一側のカテーテルから $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコース $250\text{ }\mu\text{Ci}$ と $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコース $25\text{ }\mu\text{Ci}$ を 10 ml の 0.85% 食塩水溶液とともに 20 秒間で静脈内に注入した。注入後、2 時間にわたって 20 分間隔で、他側のカテーテルから血液を 4 ml ずつ採取した。

2 時間目の採食終了後、グルコースの呼気 CO_2 への酸化寄与率を測定するために、 $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコースの Primed continuous infusion 法を行った。すなわち、注入用カテーテルから、あらためて $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコース $20\text{ }\mu\text{Ci}$ (10 ml の 0.85% 食塩水溶液) を 20 秒間で注入し、その直後から $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコース (0.85% 食塩水溶液) を、 $0.25\text{ }\mu\text{Ci}/0.5\text{ ml/min}$ の割合で、マイクロポンプを用いて 6 時間連続注入した。そして、連続注入開始後 3 時間目から 6 時間まで、30 分間隔で他側カテーテルから 4 ml ずつ採血した。また、連続注入開始後、動物には顔マスクを装着し、換気用ポンプで吸引しながら (10 l/min)、呼気を濃硫酸 (10 l) および 4 N NaOH 溶液 (10 l) 中を通過させ、呼気中に排出される $^3\text{H}_2\text{O}$ および $^{14}\text{CO}_2$ を捕集した。そして、上記の採血と同じ時間に、呼気の一部を、バイパスパイプによって一定時間 2 N NaOH 溶液 100 ml を入れたシリンダーの中を通し、 CO_2 を捕集した。

グルコースおよび CO_2 の定量ならびに放射能計測: 血漿グルコース濃度はグルコースオキシダーゼを用いる HUGGETT & NIXON 法²⁾ により定量した。また、血漿グルコースの比放射能を測定するための血漿中からのグルコースの単離はイオン交換樹脂処理によって行った。まず、血漿に等量の 12% HClO_4 溶液を加えて除蛋白した後、一定量の上清を 30% KOH 溶液で pH 5.8 に中和した。それを遠心分離した後、一定量の上清を Amberlite IR 4B と Dowex 50W の混合樹脂 (混合重量比 2:1) 1 g に加え、充分混和して 30 分放置した後、濾過した。この樹脂処理、濾過操作は 2 回繰返し行った。この濾液の一定量をバイアルにとり、デシケーター内で一昼夜真空乾燥した後、シンチラミン-OH (1 M メタノール溶液) 0.5 ml を加えて溶解させ、さらに、シンチレーション溶液 (PPO: 2,5-diphenyloxazole 5 g, POPOP: 1,4-bis[2-(5-phenyloxazolyl)]benzene 100 mg, toluene 1 l) 10 ml を加えて、 ^{14}C および ^3H の放射活性を計測した。また、濾液の一定量について HUGGETT &

NIXON 法²⁾ によってグルコースを定量し、比放射能を求めた。なお、この樹脂処理法によれば、グルタミン酸、乳酸、プロピオン酸はすべて樹脂に吸着されること、グルコースの回収率は常に 90% であることが確認されている³⁾。

呼気 CO_2 の比放射能は、バイパスパイプによって呼気を捕集した 2 N NaOH 100 ml を試料として測定した。試料中の CO_2 濃度は、1 N BaCl 水溶液を加えた後、フェノールフタレンとメチルオレンジの 2 種の指示薬を用い、1 N および 0.1 N HCl によって中和滴定する WINKLER 法⁴⁾ によって定量した。また、 $^{14}\text{CO}_2$ の放射活性測定には、まず、内室にシンチラミン-OH 1 ml を入れた三角コルベンの外室に試料 10 ml をとり、二重ゴムキャップで密栓した後、キャップを通して注射器で 6 N H_2SO_4 5 ml を外室に加え、90 分以上放置した。拡散した CO_2 を吸着したシンチラミン-OH を、上記のシンチレーション溶液 10 ml でバイアル中に洗い出し、放射活性を測定した。なお、放射活性の測定は、Aloka 液体シンチレーションスペクトロフォトメーター (model 601) を用いて行った。

計算法: 血漿中のグルコースについて計測した ^3H お

Fig. 1 Specific activity of plasma glucose following simultaneous injection of $2\text{-}^3\text{H}$ -glucose and $\text{U-}^{14}\text{C}$ -glucose.
●—●, ^3H ; ●- - ●, ^{14}C .

Fig. 2 Concentration and specific activities (S.A.) of plasma glucose and expired CO₂ during a continuous intravenous infusion of U-¹⁴C-glucose.

よび ¹⁴C の比放射能を経時的に片対数グラフにプロットした結果を Fig. 1 に示した。その直線からそれぞれの半減期を求め、fractional turnover rate を算出した。グルコースのプール・サイズは直線を 0 時間に外挿して得られた比放射能で、注入した放射能を除して求めた。また、グルコースのプール・サイズに ³H-グルコースの fractional turnover rate を乗ずることによって、グルコースのターン・オーバー率を算出した。さらに、代謝されたグルコースのうち、グルコースに再び合成される割合（リサイクルの割合）を KATZ⁵⁾ らの計算式によって求めた。

また、U-¹⁴C-グルコース連続注入時における血漿グルコースおよび呼気 CO₂ の比放射能を Fig. 2 に示したが、呼気 ¹⁴CO₂ の平均比放射能を血漿グルコースの平均放射能で除すことによって、グルコース由来の CO₂ の割合（酸化寄与率）を求めた。

結 果

3 頭のめん羊について、それぞれ、常温時と寒冷暴露時に測定したグルコース代謝のパラメーターを Table 1 および Table 2 に示した。

Table 1 Half-lives and fractional turnover rates of 2-³H-glucose and U-¹⁴C-glucose in plasma and proportions of glucose recycled in normal and cold-exposed sheep.

Ambient temperature	Sheep No.	Blood glucose (mg/dl)	Half-life (min)		Fractional turnover rate (% pool per min)		Portion of the recycled glucose (%)
			³ H	¹⁴ C	³ H	¹⁴ C	
20°C	1	39.5	38.0	45.0	1.82	1.54	15.6
	2	38.5	37.0	45.0	1.87	1.54	17.8
	3	44.3	53.5	60.5	1.30	1.15	11.6
	mean	40.8	42.8	50.2	1.66	1.41	15.0
	± S.D.	± 2.53					± 2.8
0°C	1	41.0	41.0	58.0	1.69	1.20	29.3
	2	41.8	32.5	43.5	2.13	1.59	24.7
	3	44.8	49.5	61.5	1.40	1.13	19.5
	1 ^{a)}	37.6	33.0	42.0	2.10	1.65	21.4
	mean	41.3	39.0	51.1	1.83	1.39	23.7
	± S.D.	± 2.56					± 4.4

^{a)} Same animal as No. 1 but reexamined at about 2 months after previous experiment.

Table 2 Glucose pool size, total turnover rate, irreversible loss and rate of expired CO₂ from glucose in normal and cold-exposed sheep.

Ambient temperature	Sheep No.	Body weight (kg)	Pool size (mg/kg)	Total turnover rate (mg/min/kg)	Glucose recycled (mg/min/kg)	Irreversible loss (mg/min/kg)	CO ₂ derived from glucose (%)
20°C	1	34.5	151.8	2.76	0.43	2.33	5.31
	2	29.0	156.9	2.93	0.52	2.41	5.59
	3	35.0	169.9	2.21	0.26	1.95	5.21
	mean	32.8	159.5	2.63	0.40	2.23	5.37
	± S.D.	±2.7	±8.4	±0.30	±0.11	±0.43	±0.10
0°C	1	32.0	258.0	4.36	1.28	3.08	12.90
	2	21.0	307.2	6.54	1.61	4.93	12.20
	3	28.5	270.5	3.79	0.74	3.03	10.20
	1 ^{a)}	30.0	229.0	4.81	1.03	3.78	12.70
	mean	27.9	266.0	4.88	1.17	3.71	12.00
	± S.D.	±4.2	±22.0	±0.97	±0.32	±0.71	±1.31

^{a)} Same animal as No. 1 but reexamined at about 2 months after previous experiment.

血液グルコース濃度は常温時の 40.8±2.53 mg/dl に対して寒冷暴露時では 41.3±2.56 mg/dl で、ほとんど差がみられなかった。また、グルコースの同位元素希釈法を行った 8 時間の間、いずれの動物でも、血漿グルコース濃度はほぼ同じレベルに保たれていた。したがって、この測定期間内では、そのプールへのグルコースの出入が定常状態にあったと考えられる。

グルコースのプール・サイズは寒冷暴露によって増加し、常温時の 1.67 倍の 266 mg/kg となった。一方、このプールからの流出速度をあらわす fractional turnover rate は両環境下においてほとんど同様な値であった。したがって、ターン・オーバーされるグルコースの絶対量は、常温時 (2.63 mg/min/kg) より寒冷暴露時 (4.88 mg/min/kg) の方が明らかに大きかった。さらに、ターン・オーバーされるグルコースのうち、再びグルコースにとりこまれる割合 (リサイクルの割合) もまた寒冷暴露時には常温時の値の 1.58 倍に増加した。このことは、血漿グルコースの ³H および ¹⁴C の半減時間の差が、常温時には 7.4 分であったものが、寒冷暴露時には 12.1 分へと明らかに大きくなったという事実にもとづいている (Table 1)。

このように、リサイクルの割合が増加するにもかかわらず、総ターン・オーバー率の増加割合がより大きいために、リサイクルされる実量を差し引いたいわゆる正味のターン・オーバー率 (irreversible loss) は寒冷暴露時の方が常温時よりも明らかに大きくなった (1.66 倍) (Table 2)。

また、めん羊の全呼吸 CO₂ 生産の中に占めるグルコース由来の CO₂ の割合も常温時の 5.37% から寒冷暴露

時には 12.0% へと増加することが確かめられた (Table 2)。

考 察

第一胃発酵産物である低級脂肪酸をエネルギーの主流としている反芻動物におけるグルコース利用の様様は糖負荷試験や糖による人工栄養試験などによってもうかがい知ることができる。しかし、1956 年に STEEL ら⁶⁾がイヌの糖代謝研究のために確立した同位元素希釈法が反芻動物に応用されるにおよんで、そのグルコース代謝の動態が定量的に明らかにされてきた⁷⁻¹⁰⁾。ところで、それらの同位元素希釈法を用いた研究では、多くの場合、トレーサーとして ¹⁴C-グルコースが使用されてきた。そしてその際、¹⁴C の希釈程度からプールへの出入りの割合、すなわちターン・オーバー率を測定できるのは、グルコースを生成する器官 (肝・腎) が、もっぱら ¹²C-グルコースだけを生成するという仮定にもとづいている。しかし、この仮定は理論的に正確ではないことが指摘された⁵⁾。何故ならば、¹⁴C-グルコースは代謝される過程で、乳酸、ピルビン酸、アラニン、グリセリンなどの ^{3-¹⁴C} 化合物を生ずるが、それらの物質は肝で再びグルコース合成にくみこまれるために、¹²C-グルコースだけでなく、¹⁴C-グルコースもまた生成されることになるからであり、さらに、¹⁴C-グルコースによって肝グリコーゲンの外側の分枝がラベルされ、それが分解して、肝内のグルコース-6-P プールに ¹⁴C-グルコースを供給することになるからである。そのような点を考慮して、U-¹⁴C-グルコースとともに、2,3 または 6 位の炭素と結合して

いる H を ^3H でラベルしたグルコースを頸静脈内に同時に注射し、血漿グルコースの ^{14}C および ^3H の比放射能の減衰速度にもとづいて、それぞれのターン・オーバー率を測定する試みが行われた。その結果、 ^3H ラベルのグルコースのターン・オーバー率はいずれも $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコースのそれを上回ることで、とりわけ、 $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコース注入の場合に最も高い値が得られることが明らかにされた¹¹⁾。そしてこのことは、グルコースの2位の ^3H は、その最も初期の反応段階であるグルコース-6-P のフラクトース-6-P への異性体化に伴う水素転移反応によって、 $^3\text{H}_2\text{O}$ として反応系外に失われるためであり、この $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコースと $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコースとのターン・オーバー率の差は、グリセリン、乳酸、アラニン、グリコーゲンを經由する ^{14}C のリサイクルによるものであることも指摘された。このような知見にもとづいて、 $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコースは、グルコースの真のターン・オーバー率を測定する上で、最適のトレーサーであると考えられている。

寒冷暴露時におけるめん羊のグルコース代謝の動態を明らかにしようとする本研究に、われわれが $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコースを用いたのはそのような理由からである。また、ここで、 $\text{U-}^{14}\text{C}$ -グルコースを同時に用いたのは、 $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコースとの減衰速度の差から、グルコースのリサイクルの割合を知ろうとしたためである。前述のように、 ^{14}C -グルコース希釈法の応用によって、反芻動物でも単胃動物に匹敵する量のグルコースを体内で利用していることが明らかとなってきた。しかし、利用するグルコースのほとんどすべてを糖以外の物質からの新生に依存している反芻動物において、糖新生の材料を何に求めているのかという問題を解明するためには、まず、ターン・オーバーされるグルコースのうち、どの程度がリサイクルして再びグルコース生成にくみこまれるのかということを明らかにしておくことが必要である。その量が判明した上で、はじめて、新生すべき糖の正味の量が把握されるからである。

本研究において、3頭のめん羊について常温時に得られたグルコースのプール・サイズ (159.5 mg/kg)、正味のターン・オーバー率 (2.23 mg/min/kg)、および酸化寄与率 (5.4%) は、いずれも、これまでに報告された正常採食めん羊についての値と一致している¹²⁻¹⁴⁾。また、ターン・オーバー率については、ヒト^{15,16)} (1.41~2.67 mg/min/kg) およびイス¹⁷⁾ (2.51~4.01 mg/min/kg) の値に匹敵するものであった。しかし、酸化寄与率は、イス (19%) およびラット (20%) と比較して¹⁸⁾ 明らかに低い値であった。この相違は、反芻動物におけるエネルギーの主要な供給源

が第一胃で産生される低級脂肪酸であるという事実と結びついているものと考えられる。また、 $2\text{-}^3\text{H}$ -グルコースを用いてリサイクル率を求めた研究は非常に限られているが^{11,19)}、それらの報告 (13.0% および 15.9%) は本研究における測定値 (15.0%) とほぼ同じであった。ただ、イスにおける 30~34% という値²⁰⁾ よりは、かなり低かった。

いま、試みに、本研究で得られた値を体重 30 kg のめん羊にあてはめてみると、1日に約 114 g のグルコースが代謝されることになるが、そのうち、約 17 g は再びグルコース生成にくみこまれ、したがって、正味のグルコース代謝量は約 97 g となる。前述のように、反芻動物においては、通常の飼料給与のもとでは、飼料中の炭水化物の大部分は第一胃内で低級脂肪酸に変換してしまうために、グルコースは消化管でほとんど吸収されないもので、このグルコースの正味の代謝量約 97 g は糖新生によってまかなわなければならないわけである。なお、従来の研究では、反芻動物における糖新生は消化管で吸収されるプロピオン酸およびアミノ酸を主な材料とし、その他に、体脂肪の分解に由来するグリセロール、筋肉などでの解糖の結果生ずる乳酸および体蛋白質の分解によって生ずるアミノ酸をつかって行われると考えられている^{7,20)}。

一方、めん羊を 0°C に暴露すると、全身に激しい“ふるえ”がおこり、心拍数の著しい増加をともなって熱生産が増加した。このような生理反応がみられる 0°C 暴露の4日目に同位元素希釈法を行って得られた本研究の結果は、グルコースの代謝が著しく亢進し、熱生産の素材として大きく貢献していることを示した。すなわち、常温時と比較して寒冷暴露時には、グルコースのプール・サイズは 1.67 倍、総ターン・オーバー率は 1.86 倍、リサイクルされる実量は 2.93 倍、正味のターン・オーバー率は 1.66 倍へと増加し、また、総 CO_2 生産に対するグルコース由来の CO_2 の割合も 2.24 倍に増加した。

反芻動物において、同位元素希釈法を用いて寒冷暴露時のグルコース代謝を測定した報告はみられないが、イスでは、 0°C 暴露時にはグルコースのターン・オーバー率は 4.2 mg/min/kg、酸化寄与率は 11.8%、また、 -25°C 暴露時にはそれぞれ 6.5 mg/min/kg、11.8% という値が報告されている²¹⁾。本研究で得られた値はそれらとほぼ一致している。すなわち、低級脂肪酸を主要な熱源とする反芻動物でも、単胃動物と同様に、寒冷暴露時にはより多量のグルコースを利用することが明らかとなったといえる。ここで、前に試みたと同様な計算をし

てみると、30 kg のめん羊では1日に約 211 g のグルコースが代謝され、そのうち約 50 g がリサイクルされるので、約 160 g が正味の代謝量となり、この量が新生されたグルコース量に相当する。

Table 1 に示したように、寒冷暴露の前後においてめん羊の血液グルコース濃度には明瞭な変化がみられなかった。しかし、同位元素希釈法によって得られた結果は、寒冷暴露時には、グルコースの利用と生成が協調し合ってともに亢進したために、血液グルコース濃度がほぼ一定に保たれたことを示唆している。

従来、単胃動物において、寒冷時に増大する熱生産の燃料には、炭水化物や蛋白質よりも脂肪がつかわれると考えられてきた²²⁾。しかし、DEPOCAS ら²³⁾が、温環境に馴らしたラットを寒冷にさらすと、血液グルコースのターン・オーバー率が著しく増大することを明らかにして以来、寒冷時におけるグルコース代謝の意義についての問題意識が高まってきた。

この点について、中川ら²⁴⁾は糖新生の面から研究を進め、寒冷に暴露したラットでは蛋白質の分解が活発となり、アミノ酸からの糖新生が増加すること、しかも、このアミノ酸の糖への交換の増加は炭水化物の多いエサで飼ったラットにおいてさえ起ることを明らかにした。また、これらの知見と一致して、アイソトープでラベルしたコハク酸やアミノ酸のグルコースへの転換が寒冷暴露時に著しく増加することも報告されている^{25,26)}。さらに、中川ら²⁴⁾は、ラットを寒冷に暴露すると、肝の糖新生系酵素の活性が高まり、同時に骨格筋の解糖系酵素活性の増強、肝の解糖系酵素活性の低下が起ることをみとめ、これらの変化は、寒冷暴露時には糖新生を増加させることによって、充分量のグルコースを“ふるえ状態”の筋組織に供給することを示唆するものであろうと述べている。また、BELL ら²⁷⁾は、若い牡牛の後肢を還流する動静脈血のグルコース、乳糖、O₂ などの濃度差および血流量を測定した結果にもとづいて、寒冷暴露時の“ふるえ状態”の後肢骨格筋における酸化的代謝によって、血中グルコースが重要な熱源となっていることを報告している。

本研究では、常温時における体維持量の飼料を寒冷暴露時にも同一量給与したが、寒冷暴露時における熱生産量は常温時の2倍近くにまで増加しているので、暴露時には供試めん羊のエネルギー平衡は、当然、負になっているはずである。われわれは、別報²⁸⁾において、最も典型的な負のエネルギー平衡状態である絶食時には、めん羊におけるグルコースのプール・サイズおよびターン・オーバー率は著しく減少することを示した。しかるに、

本研究では、絶食と同様にエネルギー平衡が負の状態であっても、寒冷暴露の場合にはグルコース代謝は著しく亢進するという、対照的な結果が得られた。この実験条件のもとでは、常温時および寒冷暴露時を通じて、消化管で吸収されるプロピオン酸やアミノ酸などの糖新生の材料は、多分、同程度の量であろうと考えられる。したがって、寒冷暴露時にその代謝量が増大するグルコースを補給するために、糖新生が、どのような物質を材料として、また、どのような代謝経路を通して行われるのかということが、今後解決すべき重要な課題となった。

なお、本研究は文部省科学研究費特定研究「生物生産プロセスのシステム化」の補助をうけておこなったものの一部である。付記して謝意を表します。

文 献

- 1) 藤田正範・菅原盛幸・安保佳一・津田恒之。1976. 寒冷暴露時におけるめん羊の一般生理反応および血液・尿成分の変化。生物環境調節 **14**: 107-114.
- 2) HUGGETT, A. ST. G. and D. A. NIXON. 1957. Enzymic determination of blood glucose. *Biochem. J.* **66**: 12.
- 3) MURAMATSU, M., M. SUGAWARA, S. SASAKI, K. AMBO, and T. TSUDA. 1974. Change in the rates of recycling and turnover of glucose during development of sheep. *Agr. Biol. Chem.* **38**: 259-265.
- 4) 有井癸巳雄。1959. 「実験化学 (分析篇)」275. 内田老鶴園。東京。
- 5) KATZ, J. and A. DUNN. 1967. Glucose-2-*t* as a tracer for glucose metabolism. *Biochem. J.* **6**: 1-5.
- 6) STEEL, R., J. S. WALL, R. C. DE BODO, and N. ALTSZULER. 1956. Measurement of size and turnover rate of body glucose pool by the isotope dilution method. *Amer. J. Physiol.* **187**: 15-24.
- 7) LENG, R. A. 1970. Glucose synthesis in ruminants. *Adv. Vet. Sci.* **14**: 209-214.
- 8) WHITE, R. G., J. W. STEER, R. A. LENG, and J. R. LUICK. 1969. Evaluation of three isotope dilution techniques for studying the kinetics of glucose metabolism in sheep. *Biochem. J.* **114**: 203-214.
- 9) BALLARD, F. J., R. W. HANSON, and D. S. KRONFELD. 1969. Gluconeogenesis and lipogenesis in tissue from ruminant and nonruminant animals. *Fed. Proc.* **28**: 218-231.
- 10) BERGMAN, B. N. 1963. Quantitative aspects of glucose metabolism in pregnant and non-pregnant sheep. *Amer. J. Physiol.* **204**: 147-152.
- 11) JUDSON, G. J. and R. A. LENG. 1972. Estimation of the total entry rate and resynthesis of glucose in sheep using glucose uniformly labelled

- with ^{14}C and variously labelled with ^3H . *Aust. J. Biol. Sci.* **25**: 1313-1332.
- 12) ANNISON, E. F. and R. R. WHITE. 1961. Glucose utilization in sheep. *Biochem. J.* **80**: 162-169.
 - 13) BERGMAN, E. N. and D. E. HOGUE. 1967. Glucose turnover and oxidation rates in lactating sheep. *Amer. J. Physiol.* **213**: 1378-1384.
 - 14) ANNISON, E. F., R. H. BROWN, R. A. LENG, D. B. LINDSAY, and G. E. WEST. 1967. Rates of entry and oxidation of acetate, glucose, D(-)- β -hydroxy-butyrate, palmitate, oleate and stearate, and rates of production and oxidation of propionate and butyrate in fed and starved sheep. *Biochem. J.* **104**: 135-147.
 - 15) SHREEVE, W. W., N. BAKER, M. MILLER, R. A. SHIPLEY, G. E. INCEFY, and J. W. CRAIG. 1956. ^{14}C studies in carbohydrate metabolism. II. The oxidation of glucose in diabetic human subjects. *Metabolism*. **5**: 22-34.
 - 16) STANTON, S., M. BERMAN, and A. BLAIR. 1961. The metabolism of variously ^{14}C -labelled glucose in man and an estimation of the extent of glucose metabolism by the hexose monophosphate pathway. *J. Clin. Invest.* **40**: 1263-1279.
 - 17) SEAGALE, G. L., E. H. STRISOWER, and I. L. CHAIKOFF. 1954. Glucose pool and glucose space in the normal and diabetic dog. *Amer. J. Physiol.* **176**: 190-194.
 - 18) ARMSTRONG, D. G. 1965. Carbohydrate metabolism in ruminants and energy supply. "Physiology of digestion in the ruminant" (Ed. by DOUGHERTY, R. W.) 272-288, Butterworths, London.
 - 19) 菅原盛幸・藤田正範・安保佳一・津田恒之. 1975. 長期 glucose 注入めん羊における glucose の turnover rate と re-cycle について. *日畜会報* **46**. (第 64 回大会講演要旨): 71.
 - 20) LINDSAY, D. B. 1970. Carbohydrate metabolism in ruminants. "Physiology of digestion and metabolism in the ruminant" (Ed. by PHYLLIPSON, A. T.) 431-451, Oriel Press Limited, England.
 - 21) ANDRÉ, P., J. CLAUDE, V. FALQUET, M. J. JOMAIN and Y. MINAIRE. 1972. Glucose and glycogen as fuels for thermogenesis in cold exposed dogs. *Life Sci.* **11**: 475-482.
 - 22) MASORO, E. J. 1966. Effect of cold metabolic use of lipids. *Physiol. Rev.* **46**: 67-101.
 - 23) DEPOCAS, F. and R. MASIRONI. 1960. Body glucose as fuel for thermogenesis in the white rat exposed to cold. *Amer. J. Physiol.* **199**: 1051-1055.
 - 24) NAKAGAWA, H. and K. NAGAI. 1971. Cold adaptation. I. Effect of cold-exposure on gluconeogenesis. *J. Biochem.* **69**: 923-934.
 - 25) PENNER, P. E. and J. HIMMS-HAGEN. 1968. Gluconeogenesis in rats during cold acclimation. *Can. J. Biochem.* **46**: 1205-1213.
 - 26) KLAIN, G. L. and J. P. HANNON. 1969. Gluconeogenesis in cold-exposed rats. *Fed. Proc.* **28**: 965-968.
 - 27) BELL, A. W., J. W. GARDNER, W. MANSON, and G. E. THOMPSON. 1975. Acute cold exposure and the metabolism of blood glucose, lactate and pyruvate, and plasma amino acids in the hind leg of the fed and fasted young ox. *Br. J. Nutr.* **33**: 207-217.
 - 28) 菅原盛幸・村松道子・佐々木晋一・安保佳一・津田恒之. 1973. めん羊の飢餓時と glucose 注入時における glucose の turnover rate と Cori-cycle の変化. *日畜会報* **44**. (第 61 回大会講演要旨): 17.

Summary

The glucose metabolism of sheep under the constant environmental temperatures of 20°C and 0°C was measured by isotope dilution method with the single injection and the constant infusion of ^{14}C - and ^3H -labelled glucose.

In the environmental temperature of 20°C , the pool size, turnover rate, re-cycling rate of glucose and the percentage of CO_2 derived from glucose to the total expired CO_2 were 159.5 mg/kg, 2.63 mg/min/kg, 0.40 mg/min/kg and 5.37%, respectively.

On the 4th day after the exposure to 0°C , the values of pool size, turnover rate, re-cycling rate and CO_2 percentage derived from glucose were increased to 1.67 (226.0 mg/kg), 1.86 (4.88 mg/min/kg), 2.93 (1.17 mg/min/kg) and 2.23 (12.0%) times high compared with those of 20°C .

These results indicated that the sheep which scarcely absorbs glucose from the alimentary tracts synthesize glucose by gluconeogenesis and utilize it with the same rate as the monogastric animal. Under the cold environment, the turnover rate of glucose increased remarkably to be used to quite a large extent as the sources for the heat production.

(Received August 24, 1976)