屋外気温と畜舎換気量の関係式¹⁾

堂 腰 純*

北海道大学農学部*

I. は し が き

養鶏，養豚，酪農の飼育が多頭化の方向に進むにしたがって換気の問題が重要視され，これに関連した研究も多く発表されるようになってきた。気温が高い場合の換気の必要性はいうまでもないが，北海道のごとき寒冷地においては，冬期間の換気のしすぎは逆に舎内温度を不必要に低下するおそれがあり，また換気の不足は建築構造上の断熱および加温との関係において結露現象となつてあらわれている。常時呼吸を営んでいる動物が密閉された舎内において飼育される以上，適切な換気量を与えてやることは当然なことといえよう。したがって適切な換気量を与えるためには，成育時期に対応した換気量と屋外気温との関係の関数関係が明らかにされなければならない。

このような基礎的実験はある程度以上の羽数ないし頭数で実施されたものでなければ，多頭飼育の指標として利用することはできないが，国内においてはほとんどそのための実験が行なわれてはいない。

ここに述べるものは，理論的關係式の誘導ではなくして実験的に最適環境を与えるとみられる換気量と外気温との関係を，米国において見出されたものについて実験式として組立てたものである。

鶏舎の換気については 8,000 羽の実験について発表されたもの⁽¹⁾を基礎とし，牛舎の換気については成牛の乳牛⁽²⁾について，それぞれ最適換気量として発表されたものにもとづいて換気実験式をみちびいた。

II. 1,000 羽を単位とした鶏舎の換気実験式

気温が日変化をしていることは周知の事実であるが，1 日の気温の変化のうち最高気温の起時は，北大農場の昭和 24 年 1 月上旬の気象観測資料を例にとると 10 時から 15 時 30 分の間におこり，平均 13 時であり，最低

気温は 20 時から 8 時の間で平均 2 時にあらわれている。またその最高気温の平均は -3.1°C ，最低気温の平均は -9.7°C である。この実測結果からも判明するように，畜舎管理の上から日中気温が高いことは舎内の相対湿度改善に役立つが，真夜中の最低気温は逆に舎内の相対湿度増加と結露の傾向を促進することになる。したがって舎内温度が低下しないようにしながら舎内の除湿をしなければならない。そのためには断熱をよくして最小限必要な換気を行なわなければならない。幸いなことに外気温が低くなった場合には，空気中の絶対湿度は極めて低くなることは空気線図⁽³⁾のよく示すところであり，少ない換気量で舎内の相対湿度が改善されるわけであるから，不必要に多い換気は舎内温度を低下させることになり，外気温に応じた適切な換気量が大切であるといえる。真夜中の管理は実際上なかなか実施でき難いことでもあり，自動制御方式が必要であろう。

ここに述べる鶏舎の換気実験式は Idaho University の寒地ブロイラー舎試験にもとづくものであり，その規模は 40×200 フィートのブロイラー舎に 8,000 羽を収容し，1,900 cfm の換気扇 (1/6 HP) 2 個，3,500 cfm の換気扇 (1/3 HP) 6 個が装備され，10 分間タイマーを用いて冬期換気計画によって実施されたものである。なお 10°C 以上の場合にはサーモスタットが併用されている。また換気にとって極めて重要な入気口についても十分な考慮が払われ，1×4 インチの入気口が 10 箇所，天井に設けられている。この入気口は調節できるようになっており，寒冷地における換気体系のあり方をものがたっている。

以上のことがらを考慮に入れて，ここに換気についての基本的考察をこころみよう。密閉された舎内において動物を飼育する場合に，

(1) 動物が健全に飼育されるための絶対必要な環境条件が守られねばならないこと。これを逸脱しては病気発生，飼料効率の低下，肥育速度等の低下のため飼育ないしは事業の意味をなさない。

(2) 外気の気象条件は時々刻々変化し，年間を通じて夏期と冬期に大きな差がみられること。これにもかかわらず (1) の環境条件は守られねばならないこと。

¹⁾ Jun DOHKOSHI*: Studies on the Relationship between Outside Temperature and Ventilation Rate of Poultry House and Building for Dairy Cattle.

*) Department of Agricultural Engineering, Hokkaido University, Sapporo.

表 1 Idaho University 寒地ブロイラー舎冬期換気計画
(40'×200' 収容羽数: 8,000 羽, 10 分間タイマー使用)

外 気 温	0°F (−17.8°C)		15°F (−9.4°C)		30°F (−1.1°C)		50°F (10.0°C)	
ブロイラー日令	ファン番号	タイマー時 間	ファン番号	タイマー時 間	ファン番号	タイマー時 間	ファン番号	タイマー時 間
1 日	1, 2	1/3分	1, 2	1/2分	1, 2	1/2分	1, 2	1 分
1 週	1, 2	1 ¹ / ₂	1, 2	2	1, 2	2 ¹ / ₂	1, 2	4 ¹ / ₂
2 "	1, 2	2 ¹ / ₂	1, 2	3 ¹ / ₂	1, 2	4	1, 2 3, 4	5 1
3 "	1, 2	3 ¹ / ₂	1, 2	4 ¹ / ₂	1, 2	5 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 3
4 "	1, 2	4 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 1/2	1, 2 3, 4	5 1 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 3
5 "	1, 2 3, 4	5 1 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 1	1, 2 3, 4	5 2	1, 2 3, 4	6 6
6 "	1, 2 3, 4	5 1	1, 2 3, 4	5 1 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 2 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	7 7
7 "	1, 2 3, 4	5 1 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 2	1, 2 3, 4	5 3	1, 2 3, 4	8 8
8 "	1, 2 3, 4	5 2	1, 2 3, 4	5 2 ¹ / ₂	1, 2 3, 4	5 4	1, 2 3, 4	9 9

図 1 日, 週令別鶏舎換気量 (m³/mn・1,000 羽)

(3) 動物は瞬時も休まず呼吸を続け、水分の発生とともに舎内に放熱が行なわれ、高温多湿の傾向に進みつつあること。したがって、ある時間には飽和水蒸気の空気、すなわち露点に達する。(2)の条件からも自然換気では、除湿が困難になる。自然換気の場合に無風状態で、舎内外の温度差がなくなったときの換気不良は多くの経験するところである。したがって強制換気が絶対必要である。

(4) 畜舎内の相対湿度を低下させるためには、i) 畜舎内温度を高める方法と、ii) 絶対湿度の少ない空気を入れて、多い空気を排出する方法のいずれかまたは併用が考えられる。動物からは自然発生的に発熱が行

なわれており、これを有効に利用するのが好ましく、そのためには畜舎の断熱が必要になる。後者のためにはここでも換気が必要である。

(5) 畜舎の天井、壁、床からは熱の伝導放射が行なわれ、舎内温度を動物飼育に耐えられないような夏期の異常高温にも冬期の低温にもなりうることから、年間を通じて(1)の条件を満足するためには断熱が必要となる。

(6) 畜舎の周囲からは熱の授受があるのに対し、水分の出入がなく、水分の除去のためには換気以外の方法がない。相対湿度は温度と水蒸気量から決定されることから、換気と断熱を切りはなしては考えられない。

(7) したがって換気と断熱は車の両輪のごとく、密接な関係にあり、換気の効果を適切ならしめるには断熱が絶対必要である。いずれを欠いても適切な環境条件をつくることは不可能である。

(8) 換気をするということは畜舎内に新鮮な空気ができるだけ様に入り、汚れた空気が排出されることで、そのためには適切な位置に入気口が必要であり適切な位置に換気扇が配置されなければならない。入気口のない換気など、およそ意味をなさないが、実際にはかなり多くこのような畜舎が見受けられる。

(9) 冷い入気が直接動物にあたるのは避けること。入気口の位置が制約される。

(10) 断熱の不良な畜舎では天井温度が高くなり、また汚れた空気は下層にあり、夏期は天井近くの空気の排出に、冬期には下層の空気の排出が容易なものであること。

(11) 入気口の断面積は換気に必要な断面積であること。すなわち、入気口の断面積の調節ができるものであることが好ましい。

(12) 日令および外気温にしたがって計算された換気量が時刻をえらばず実施されていること。

(13) 換気計画によって換気が実施されても温度の低下がある場合には断熱の不適切または加温の不足が原因であること。したがって換気計画にもとづいた断熱の熱収支計算がなされなければならない(本稿では熱収支についてはふれない)。

以上の各項にもとづいて十分な換気立案がなされて実施されなければならないが、実施面においては若干の考慮が必要である。すなわち、一般に換気扇の風量は一定であり、二段ないし三段切換可能なものもあらわれているがおおむね風量調節は困難である。したがって適切な風量を得るためには、換気扇の運転時間を調節して全体として目的の平均風量になる方法が具体的であろう。

すなわち、10 分間タイマーのごときタイマーを用いて運転時間の調節を行なう。換気扇風量は連続運転で所定最大風量が得られるものであればよい。また換気扇の圧力は所定の風量が得られれば十分で、圧力の高い必要がない。入気口のない畜舎ではいかような圧力換気扇でも効果はない。

表 1 より著者は北海道のような寒冷地で外気温が -30°C にもおよぶような酷寒のときでも夏期の高温時の換気のためにも適用できないかどうかを検討してみた。

まず、日令別に外気温と換気量の関係を図示してみると図 1 のごとくになり、あたかも指数関数的増加曲線を示していることがわかる。したがって実験式として指数関数の式を採用することとした。

$$V = Ae^{p\theta} + B \quad (1)$$

図 2 温度別日・週令と鶏舎換気量
($\text{m}^3/\text{mn} \cdot 1,000$ 羽)

ただし、 V : 毎分の平均換気量 (m^3/mn)

θ : 外気温 ($^{\circ}\text{C}$)

A, B : 各日・週令についての常数

(1) について各日・週令についての観測方程式をつくと次のごとく示される。

$$\left. \begin{array}{ll} 1 \text{ 日令} & V = 0.355 e^{0.100\theta} + 0.41 \\ 1 \text{ 週令} & V = 1.54 e^{0.100\theta} + 1.74 \\ 2 \text{ 週令} & V = 2.75 e^{0.0979\theta} + 3.14 \\ 3 \text{ 週令} & V = 3.89 e^{0.100\theta} + 4.45 \\ 4 \text{ 週令} & V = 5.00 e^{0.0996\theta} + 5.67 \\ 5 \text{ 週令} & V = 5.96 e^{0.0988\theta} + 6.89 \\ 6 \text{ 週令} & V = 7.06 e^{0.0979\theta} + 8.03 \\ 7 \text{ 週令} & V = 7.91 e^{0.100\theta} + 9.07 \\ 8 \text{ 週令} & V = 8.99 e^{0.0982\theta} + 10.21 \end{array} \right\} \quad (2)$$

(2) 式の各日・週令についてさらに A および B に相当する項に検討を加えてみた。

まず A および B の値が各日・週令にしたがってどのように変化をするかを実験的にしらべてみた結果、 A および B ともに放物線的变化を示すことがわかった。その結果を図 3 に示す。

これから A および B を、週令 y の関数であらわすとすると、

$$\left. \begin{array}{l} A = ay^m \\ B = by^n \end{array} \right\} \quad (3)$$

とおくことができる。

(3) 式を ΣA 法の数値計算にしたがって m および n と a, b を求めた。その結果、

$$\left. \begin{array}{l} m = 0.822 \\ n = 0.822 \end{array} \right\} \quad (4)$$

図3 AおよびBの日・週令特性

を得ることができ、 m と n は同一の値となった。
また、

$$\left. \begin{aligned} a &= 1.60 \\ b &= 1.83 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

を得た。これより、

$$\left. \begin{aligned} A &= 1.60 y^{0.822} \\ B &= 1.83 y^{0.822} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

とあらわされる。

また ϕ の値の平均値として0.0992を得るので、これらの(1)式から(6)式までを総括すると、

$$\begin{aligned} V &= Ae^{0.0992\theta} + B \\ &= 1.60 y^{0.822} e^{0.0992\theta} + 1.83 y^{0.822} \\ &= 1.60 y^{0.822} (e^{0.0992\theta} + 1.14) \end{aligned} \quad (7)$$

を得ることができる。ここに V は1,000羽の毎分の換気

表2 1,000羽単位鶏舎換気量 (m³/mn)

外気温 (°C)	1日令	1週令	2週令	3週令	4週令	5週令	6週令	7週令	8週令
35	11	53	94	130	170	200	230	260	290
30	6.7	33	59	82	100	120	150	160	180
25	4.2	21	37	52	66	79	92	100	120
20	2.7	13	24	33	42	51	59	67	75
15	1.8	8.9	16	22	28	34	39	44	49
10	1.2	6.2	11	15	19	23	27	30	34
5	0.9	4.5	7.9	11	14	17	19	22	25
0	0.7	3.4	6.1	8.5	11	13	15	17	19
-5	0.6	2.8	5.0	6.9	8.8	11	12	14	16
-10	0.5	2.4	4.4	6.0	7.6	9.1	11	12	13
-15	0.4	2.2	3.9	5.4	6.9	8.2	9.6	11	12
-20	0.4	2.1	3.6	5.1	6.4	7.7	9.0	10	11
-25	0.4	2.0	3.5	4.8	6.1	7.4	8.6	9.7	11
-30	0.4	1.9	3.4	4.7	6.0	7.2	8.3	9.5	11

量 (m³), y は週令, θ は外気温 (°C) をあらわし、計算値は図1に実線としてあらわされている。またこれを-30°Cから+35°Cまでの間を5°Cごとに数値計算した値を表2に示す。

図からもわかるとおり、高温から低温にいたるまで適合性もよく、また他研究の換気量ともよく合い、十分実用とすることができる。各羽数の場合は1,000羽を基準にして計算する必要がある。

III. 成牛乳牛の換気量実験公式

牛舎の換気が重要なことは鶏舎の場合と同様、もしくはさらに重要視されなければならない。ブロイラーの場合のように短期間の処理ではなく、長期間の悪い環境下の飼育は乳量に当然影響を与えずにはおかない。ここにおいても牛舎の適切な換気量が必要であることを述べなければならない。

実験的に外気温と適換気量をマサチューセッツ州立大学付属試験場資料にもとづき1,000kgの乳牛毎分あたりの換気量 (m³) を表3に示す。

表3を図示すると図4のごとくなるが、4~5°C以上において換気量がきわめて大きくあらわされており、この傾向は養鶏の場合に比べて大きく異なる点である。その

表3 外気温と乳牛舎換気量 [マサチューセッツ州立大学] (m³/mn·1,000kg)

外 気 温 (°C)	換 気 量 (m³/mn·1,000kg)
-23.3	2.18
-17.8	2.49
-12.2	2.80
- 6.7	3.43
- 1.1	4.67
1.7	7.47
4.4	15.6

図4 成牛牛舎の換気量 (m³/mn·1,000kg)

原因が何によるか不明であるが、乳牛の体より発散する水分の蒸散量はこの程度の温度より急増しており、おそらく換気量が急増しているのもそのためであろうと推測される。したがって換気実験公式は鶏舎の場合と同一にあらわすことはできない。しかし低温部と高温部にそれぞれ強い影響を与える指数関数の和として次式を用いることができる。

$$V = Ae^{p\theta} + Be^{q\theta} \quad (8)$$

これを用いて実測値を代入し観測式より数値計算を行なうと、

$$V = 3.70e^{0.0226\theta} + 1.72e^{0.434\theta} \quad (9)$$

ただし、 V : 1,000 kg の成牛についての 毎分

換気量 (m^3)

θ : 外気温 ($^{\circ}C$)

また、成牛 1 頭 453 kg に相当するものとしては、

$$V = 1.67e^{0.0226\theta} + 0.778e^{0.434\theta} \quad (10)$$

としてあらわすことができる。図 4 には計算値にもとづいて曲線が示されている。またこれを数値計算して表 4

表 4 牛舎の換気量 ($m^3/mn \cdot 1,000 kg$)

外気温($^{\circ}C$)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
換気量 (m^3/mn)	1.9	2.1	2.4	2.6	3.0	3.5	5.4	19	136

に示す。しかし $10^{\circ}C$ 以上の換気量は極端に増加し実際的とは思われないので、今後さらに精細な実験が望まれる。式の適用範囲としては $10^{\circ}C$ までと考えられる。

IV. あ と が き

寒冷地における冬期間の換気は切実な問題を提起している。最近の鶏舎の諸疾病のみならず、牛舎、豚舎にいたるまで環境劣化に伴う障害が将来の大羽数、多頭飼育に危険信号をかかげており、その適切な対策なくしては大型の畜産を進展させることはできない。本研究は環境改善の第 1 歩として換気の問題をとりあげた。

最後に本研究をとりまとめるにあたって実験公式の数値計算を北海道大学農学部農業物理学研究室大学院研究生畑瀬幸一郎君、藤田弘志君の両君に助力していただいた。ここに感謝の意を表する。

文 献

- (1) Idaho University Publication.
- (2) Dairy Barn Ventilation, University of Mass. Publication, No. 339.
- (3) 守安虎治 空気調整工学, 技報堂, 付図.

新 刊 雑 誌

化 学 と 生 物

Vol. 6, No. 3 (1968 年 3 月発行)

編集/日本農芸化学会
月刊, B5判 64頁, 190円

《主 要 目 次》

- 〈解説〉 植物の生産力・門司正三/化学独立栄養性細菌の動向・都留信也/土壤線虫の生態と防除・横尾多美男/キニンホルモン・M. Rocha e Silva/化学天びんで 0.1 mg のけたまで正確にはかれるか・三井哲夫
- 〈講座〉 天然有機化合物の構造決定法Ⅲ・通和夫/植物組織培養の方法・中島哲夫
- 〈今日の話題〉 シロアリに強い木材・近藤民雄/桑の発芽調節・間和夫/パントテン酸拮抗物質・木村修一/Cholesterol の微生物代謝・近藤栄二
- 〈化学の窓〉 ヒノキレジノールとその関連物質・広瀬敬之
- 〈生物コーナー〉 呼吸欠損酵母菌の多様化 〈用語解説〉

植 物 の 化 学 調 節

Vol. 3, No. 1 (1968 年 3 月発行)

編集/植物の化学調節研究会
B5 判 88 頁, 500 円

《主 要 目 次》

- 〈総説〉 植物の光周性について・滝本敦/核酸関連物質と花成・富田豊雄/マメ科植物に含有される植物生長調節物質・菰田泰夫、岡本敏彦/植物培養組織の代謝産物と化学調節・古谷力/花成ホルモン研究の問題点・原田宏
- 〈研究ノート〉 リンゴ果肉組織の培養について・奥瀬一郎
- 〈技術ノート〉 植物生理活性物質の抽出, 分離 I・鈴木昭憲/アブサイシン酸研究の進歩と研究法・橋本徹
- 〈資料〉 〈談話室〉

東京都文京区本郷 東大構内 発売 東京大学出版会 振替 東京 59964 電話 811-8814