

矮小條虫の「群集効果」に関する研究

守屋 尚 二

大阪市立医科大学

(昭和 29 年 2 月 12 日受領)

緒 言

ある種の条虫感染に於て、1 宿主に寄生する寄生虫の数と、個々の虫体の大きさとの間には、大体逆比例的な関係が存在し、寄生虫体数が増加するに従つて、虫体の大きさは次第に小さくなる傾向がある。この現象を群集効果 (Crowding effect) と云い *Hymenolepis nana* (Woodland, 1924, Shorb, 1933, Hunninen, 1935), *Hymenolepis diminuta* (Chandler, 1939, Hager, 1941 Read, 1951) 及び *Railletina cesticius* (Reid, 1942) 感染の場合に認められている。

条虫に於て、体表面は物質交換の唯一の門戸として重要な意義を持つている。Read (1951) は、この点に着目して、虫体の大きさを、単位体重あたりの体表面積を以つて比較した。この場合、寄生虫体数の増加と共に体表面積比は規則的に大きくなる事を認め、群集効果は、寄生虫の成長に必須の物質が生活環境から不足する事によつて起り、該当する物質として酸素を想定した。

Hymenolepis nana の代謝に於て、好氣的代謝が必須のものである事は、既に報告したが (守屋 1953 a) 更に本条虫の群集効果について、興味深い成績を得たので、ここに報告する。

実験材料及び方法

Hymenolepis nana :

1951 年、大阪市内の 1 小学校児童の糞便内に見出した *Hymenolepis nana* 卵から、実験室内で、ラッテに累代感染しているもので、実験には総てラッテ (体重 110 gm 前後) に感染後 3 週間目の虫体を用いた。

新鮮重量の秤量 :

ラッテの小腸から、損傷を与えない様に、注意深く取り出した虫体を 37°C の生理的食塩水で充分洗滌し、虫体に附着している水は、濾紙で出来る限り吸取つてから秤量した。

乾燥重量の秤量 :

Shoji Moriya: Studies on the "crowding effect" in *Hymenolepis nana*. (Osaka City Medical School.)

上記新鮮虫体を、105~110°C の乾熱器内で 2 時間加熱後秤量した。

虫体表面積の算出 :

虫体の表面積は、虫体の新鮮重量から、次の Meeh 氏の式に従つて算出した。

$$S = k^3 \sqrt{W^2}$$

S : 表面積 (平方瓦)

W : 体重 (瓦)

k : 常数 (種によつて異なる。条虫の場合 k 値は、凡そ 1 と考えてよい (Read 1951))

培養液 :

0.154 M NaCl (ブドウ糖 0.05 M)	100 部
0.154 M KCl	4 部
0.11 M CaCl ₂	3 部
0.154 M MgSO ₄	1 部
0.1 M Phosphate buffer (pH 7.6)	12 部

全虫体の酸素消費測定 :

ワールブルグ氏検圧計を用いて測定した。(Umbreit 等 1951)。容積 17.5 cc 前後のフラスコの主室に、虫体 (10~15 mg) を 3.0 cc の培養液に浮遊させた。尙萎小条虫の酸素消費率は虫体の大きさによつて、相当変動するので、特定の場合以外は比較的大きなもの (1~2 mg) のみを、宿主から取り出してから 30 分以内に使用する様にした。

副室には 20% KOH 0.2 cc を添加し、2 cm 平方の濾紙を挿入した。

恒温槽の温度は 37.0°C (± 0.05°C) に保つた。

磨碎虫体の酸素消費測定 :

氷浴中で冷却しながら、虫体 (50 mg 前後) をガラス製組織グラインダーで充分に磨碎し、10 倍量の培養液に浮遊させて、上記同様ワールブルグ氏検圧計を用いて測定した。但し、培養液には、ブドウ糖の代りに、0.05 M の割合にコハク酸ソーダを加え、pH は 7.4 とした。

カタラーゼの定量

フラスコ主室に磨碎虫体浮遊液 3.0 cc, 側室に 0.31

MH₂O₂ 0.1 cc, 副室に 20% KOH 0.2 cc を入れ、38°C の恒温槽中で振盪し、平衡状態に達してから、内容を混和し(H₂O₂ 濃度は 0.01 M となる)、30 分間に発生した酸素量を測定した(藤田 1931)。カタラーゼ量は次の様にして表現した。

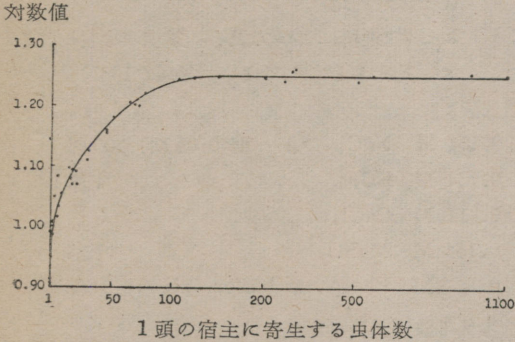
$$Q_{kat} = \frac{38^\circ\text{C} \text{ 30分間に発生した酸素量 } (\mu\text{l})}{\text{カタラーゼ含有物の乾燥量 } (\text{mg})}$$

実験成績

群集効果：

横軸に 1 頭の宿主(ラッテ)に寄生する矮小条虫の数(1~1109 迄)をとり、縦軸に単位体重あたりの虫体表面積をとつて、個々の場合についてプロットしてゆくと、所謂矮小条虫の群集効果は、第 1 図の様な美しい曲線で見わす事が出来る。寄生する虫体数が増加するに従つ

第 1 図 矮小条虫の群集効果



て、表面積比は急激に増加するが、虫体数が凡そ 50 匹以上になると、この増加率は次第に減少し 120~150 匹以上少くとも 1109 匹迄、この値は殆んど増減せず一定値をとる。

種々の酸素圧下に於ける酸素消費率：

環境の酸素圧が、7.6 mmHg (窒素圧 752.4 mmHg) 38 mmHg (窒素圧 722 mmHg), 76 mmHg (窒素圧 684 mmHg), 152 mmHg (窒素圧 608 mmHg), 380 mmHg (窒素圧 380 mmHg) 及び 760 mmHg の場合の矮小条虫の酸素消費率を、酸素圧 152 mmHg (略々大気中酸素圧に等しい) のときのそれを 100% として、比較した結果を第 2 図に示す。

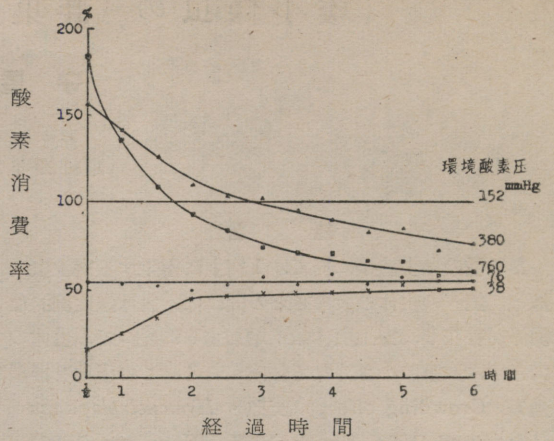
酸素圧 760 mmHg—

30 分値は約 180% であるが、時間の経過と共に低下し、2 時間で略々 100% となり、6 時間では約 60% で 30 分値の凡そ 1/3 となる。

酸素圧 380 mmHg—

30 分値は約 155% であるが、この場合も次第に減少

第 2 図 種々の酸素圧下に於ける矮小条虫の酸素消費率



して、3 時間で略々 100% となり、6 時間値は 30 分値の凡そ 1/2 で、約 75% である。

酸素圧 76 mmHg—

30 分値は約 55% であるが、以後 6 時間迄殆んど増減なくこの値を維持する。

酸素圧 38 mmHg—

30 分値は約 18% であるが、1 時間値約 25%、2 時間値約 45% と比較的急激に増加する。2 時間以後も、極めて僅かであるが、やはり増加の傾向が認められ、6 時間値は略々 50% に達する。

酸素圧 7.6 mmHg—

重量 1~2 mg 程度の比較的大きな矮小条虫を用いた場合、この程度の低酸素圧環境では、酸素消費を測定する事は出来なかつた。

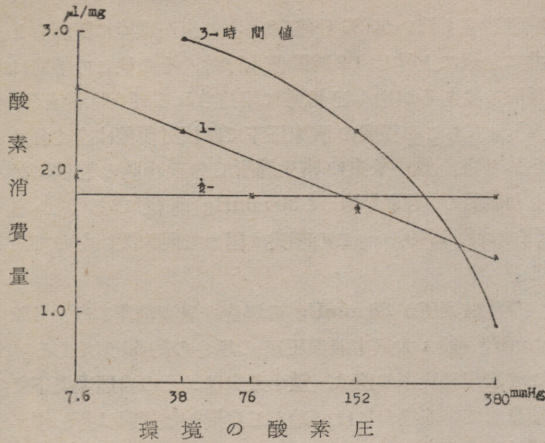
磨砕虫体の酸素消費量：

環境の酸素圧が 7.6 mmHg (窒素圧 752.4 mmHg), 38 mmHg (窒素圧 722 mmHg), 76 mmHg (窒素圧 684 mmHg), 152 mmHg (窒素圧 608 mmHg) 及び 380 mmHg (窒素圧 380 mmHg) の場合の 1/2 時間、1 時間及び 3 時間に於ける磨砕虫体の酸素消費量を第 3 図に示す。

1/2 時間に於ける酸素消費量は、酸素圧が、7.6 mmHg から 380 mmHg 迄変化しても、殆んど変わらず、1.8 μl/mg である。

1 時間値は、酸素圧 7.6 mmHg では 2.6 μl/mg であるが、酸素圧の上昇と共に直線的に減少し、38 mmHg で約 2.3 μl/mg, 152 mmHg で 1.7 μl/mg, 380 mmHg で 1.4 μl/mg である。3 時間値ではこの減少の傾向は

第 3 図 種々の酸素圧下に於ける矮小条虫の磨碎虫体の酸素消費量

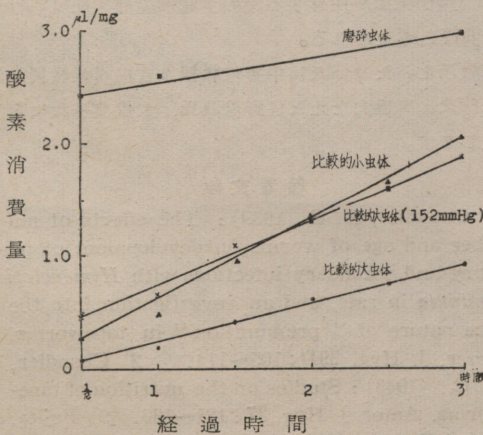


更に顕著となり、38 mmHg で 3.0 μl/mg 152 mmHg で 2.4 μl/mg、380 mmHg では、0.8 μl/mg である。

虫体の大きさと酸素消費量との関係：

環境酸素圧が 38 mmHg (窒素圧 722 mmHg) の場合の、比較的大きな虫体 (体重 1~2 mg; log (体表面積/体重)=1.00~0.9) と比較的小さな虫体 (体重 0.2 mg; log (体表面積/体重)=1.25) 及び磨碎虫体の酸素消費量と、酸圧 152 mmHg (窒素圧 60.8 mmHg) に於ける。比較的大きな虫体 (体重 1~2 mg) の酸素消費量を比較した結果を第 4 図に示す。

第 4 図 低酸素圧 (38 mmHg) 下に於ける矮小条虫の大きさと酸素消費量との関係



酸素圧 38 mmHg に於て、比較的小さい虫体は比較的大きな虫体の 2 倍以上の酸素消費率を示し、酸素圧 152 mmHg に於ける比較的大きな虫体の それに略々匹敵する。磨碎虫体の酸素消費率は 1/2 乃至 1 時間値は、比較的小さな虫体の数倍であるが、3 時間値は 1.5 倍程度になる。

虫体のカタラーゼ量：

矮小条虫の磨碎虫体のカタラーゼ係数 Qkat は 22 であつた。これに対して磨碎肝臓 (マウス) の Qkat は 127 であつた。従つて矮小条虫はマウス肝臓の約 1/6 量のカタラーゼを含有している。

考 察

ラッテ (体重 110 gm 前後) に寄生する矮小条虫の単位体重あたりの体表面積の大きさは、寄生する虫体数の増加と共に急激に大きくなるが、虫体数が 120~150 匹に達すると最大値をとり、少くとも 1109 匹迄は虫体数が増加してもこの値は殆んど増減しない。この事実から所謂群集効果が表面積と重要な関聯性を持つている事が想像出来る。

一般に矮小条虫の如く、特定の消化器及び呼吸器をもたないものは、外界との物質交換を専ら体表を通じて行つている。矮小条虫の生存に必須の物質で、しかもその物質が、矮小条虫の生活環境に極めて限定した量しか存在しない場合には、寄生する矮小条虫数の増加と共に、当然該物質の不足を来す。従つて矮小条虫が該物質を出来るだけ能率的に摂取利用する為には、単位体重あたりの表面積の大きさを増加しなければならない。即ち寄生虫体数の増加と共に、虫体の大きさが減少する群集効果はここに原因するものと思われる。

寄生する矮小条虫数が 120~150 匹を越えると、単位体重あたりの表面積の大きさはそれ以上増加しなくなる。即ち矮小条虫の大きさは、それ以下には小さくならない。そしてこの程度の大きさが矮小条虫が生存し得る為には最小のもので、1 宿主に寄生する矮小条虫数は、この外的条件と内的条件の平衡を破壊して迄増加する事は出来ないと考えられる。この様な事はあらゆる寄生虫の場合に適用されるのではないだろうか。

矮小条虫は宿主の小腸の最後の 1/8 の部分に限定して寄生しているが (守屋 1953 b)、この部分には炭水化物 (Reid, 1442)、蛋白質 (Chandler, 1943)、脂肪 (Smyth, 1947)、その他ビタミン等の既知養素 (Hager, 1941) は寄生虫の需要を充分満足さすだけ存在している。従つて、これらの物質は、群集効果の原因とはならない様で

ある。

好氣的代謝は矮小条虫のエネルギー代謝に於て必須のものである(守屋, 1953 a)。且つ本条虫の生活環境には酸素は微量しか存在しない。従つて群集効果の原因の1つとして、環境の酸素の不足を予想する事は妥当と考えられる。

環境の酸素圧が、38 mmHg, 76 mmHg と増加するに従つて、矮小条虫の酸素消費は増加し、152 mmHg 即ち大気中の酸素圧と略々等しくなつても、酸素消費は尙最高に達しないで、一定時間内では、更に酸素圧が、380 mmHg, 760 mmHg と増加するに従つて酸素消費は上昇する。又比較的大きな(1~2 mg)虫体は7.6 mmHg 程度の低酸素圧下では酸素消費は明かでない。他方磨碎虫体では、最初の30分間の酸素消費は7.6 mmHg 程度の低酸素圧下でも、380 mmHg 程度の高酸素圧下でも、殆んど同程度であつて、完全虫体の場合の如き酸素圧の影響は認められない。これらの事実は矮小条虫の酸素需要が、体表を通して深部組織への酸素の拡散によつて満足される事を示す。

又同一酸素圧下では、最初の1/2~1時間の磨碎虫体の酸素消費は完全虫体のその数倍であるが、これは磨碎後は虫体組織の酸素負債を返済する機会、或は少くとも、それら組織細胞の最大能力に於て酸化する機会を持つ事を暗示する。

38 mmHg 程度の低酸素圧下では、比較的小さい矮小条虫(体重0.2 mg; \log [体表面積/体重]=1.25)は比較的大きなもの(体重1~2 mg; \log [体表面積/体重]=1~0.9)の2倍以上の酸素消費率をしめし、酸素圧152 mmHg に於ける後者のそれに略々匹敵する。即ち虫体の大きさが減少するに従つて、体内組織への酸素の拡散がいよいよ容易になり、低酸素圧下でも、充分量の酸素消費量を維持する事が可能になる。

これらの事実から、矮小条虫の所謂群集効果を限定する物質の1つは、環境の酸素である事は確実である。

環境酸素圧が152 mmHg のときの各時間に於ける矮小条虫の酸素消費を基準(100%)とすると、760 mmHg 380 mmHg 程度の高酸素圧下では時間の経過と共に酸素消費率は減少し、且つこの傾向は酸素圧が高い程顕著である。(760 mmHg では、30分値180%、6時間値60%; 380 mmHg では、30分値155%、6時間値75%)。一方、矮小条虫のカタラーゼ活性度は、マウス肝臓のその約1/10で比較的高度である。従つて斯様な高酸素圧下に認められる疲労現象の原因として、体内に於

ける過酸化水素の蓄積よりも、高酸素圧による酵素蛋白の変性を考える方が妥当である。

環境酸素圧が38 mmHg 程度の低酸素圧では最初は酸素消費率も低い(30分値18%)、虫が環境に馴れると共に急激に上昇し(2時間値45%)、その後この傾向は緩除ではあるが殆んど恒常に維持される(6時間値50%)。即ちこの程度の酸素圧下では疲労現象は全く認められない。矮小条虫の寄生局所である小腸の粘膜に接した腸腔の最高酸素圧は30 mmHg 前後であるから(Rogers, 1949)、この事実は極めて興味深いものである。

環境酸素圧が38 mmHg の場合の酸素消費率は、152 mmHg (略々大気中酸素圧) の場合の約50%である。この酸素消費率の差は、矮小条虫は、その自然環境下で棲息している場合には、殆んど自働的な運動は行わず、腸粘膜に出来るだけ密に接する様にして、腸内容の流れのままになっているのに対して、大気中に取り出すと、相当活潑に運動しているのが認められるところから、筋運動の上昇による追加的エネルギー需要に原因するものと考えられる。

総 括

1. 1宿主(ラット)に寄生する矮小条虫の数が増加するに従つて、単位体重あたりの虫体表面積は大きくなり、虫体数120~150匹で最大値に達し、以後1109匹迄虫体数が増加しても、この値は殆んど変化しない。
2. 矮小条虫の酸素需要は、体表から深部組織への酸素分子の拡散によつて充されている。
3. 環境酸素圧の不足が、矮小条虫の所謂群集効果の重要な原因をなしている。
4. 矮小条虫が生存する為の至適環境酸素圧は30 mmHg 前後と考えられる。

御教示をいたゞいた田中英雄教授、吉田貞雄教授、鈴置二郎氏、御協力をえた佐野滝藏氏、犬伏典子氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) Chandler, A. C., (1939): The effects of number and age of worms on development of primary and secondary infections with *Hymenolepis diminuta* in rats, and an investigation into the true nature of "premunition" in tapeworms. *Amer. J. Hyg.* 29D: 105~114.
- 2) Chandler, A. C., (1943): Studies on the nutrition of tapeworms. *Amer. J. Hyg.* 37: 121~130.
- 3) Fujita, A. und Kodama, T., (1931): Manometrische Be

- stimmung der Katalase. Bioch. Z. 232 : 15. 4) Hager, A., (1941) : Effects of dietary modification of host rats on the tapeworm *Hymenolepis diminuta*. Iowa State College J. Sci. 15 : 127~153
- 5) Hunninen, A. V., (1935) : Studies on the life history and host-parasite relations of *Hymenolepis fraterna* (*H. nana* var. *fraterna* Stiles) in whitemice. J. Hyg. 22 : 414~443. 6) 守屋尙二 (1953) 矮小条虫の代謝に関する研究(第1報) 寄生虫学雑誌, 2 (1) : 39. 7) 守屋尙二 (1953) : 矮小条虫の感染について, 寄生虫学雑誌, 2 (1) : 43. 8) Read, C. P., (1951) : The "Crowding effect" in tapeworm infections. J. Parasit. 37 (2) : 174~178. 9) Reid, W. M., (1942) : Certain nutritional requirements of the fowl cestode *Railietina cesticillus* Molin as demonstrated by short periods of starvation of the host. J. Parasit. 28 : 319~340. 10) Rogers, W.M., (1949) : On the relative importance of aerobic metabolism in small nematode parasites of the alimentary tract. I. Oxygen tension of the intestinal environment. Austral. J. Sci. 2 : 157~165. 11) Shorb, D. A., (1933) : Host-parasite relations of *Hymenolepis fraterna* in the rat and the mouse. Amer. J. Hyg. 18 : 74~113. 12) Smyth, J. D., (1947) : The physiology of tapeworms. Biol. Rev. 22 : 214~238. 13) Umbreit, W. W., Burris, R. H. and Stauffer, J. F., (1951) : Manometric techniques and tissue metabolism. (6th ed.) Burgess Publish. Co., Minneapolis, U. S.A. 14) Woodland, W. N. F., (1924) : On the life cycle of *Hymenolepis fraterna* (*H. nana* var. *fraterna* Stiles) in the white mouse. Parasitol. 16 : 69~83.