

昆蟲の發育に對する大氣濕度作用 の理論

小 泉 清 明

I

空氣の含有する濕氣の量は陸棲生物就中 昆蟲等の發育に對して溫度に次いで大なる影響を及ぼすもので之に關しては多くの研究が行はれてゐるが、濕氣が如何なる機制で發育に影響するかに就いては殆んど言及されてゐるものが無い。之に反して溫度に就いては昔から多くの作用本態論が唱へられ 法則と稱するものさへ出來その作用は可なり詳細に説明されて居る。その理論を全く 實用的に迄普遍化した有効積算溫度説の如きもある。

私は最近生物現象速度を内外の諸要約に 對する函數と見做す函數生物學の見地から立論して昆蟲の發育に對する大氣濕度の影響に關する 理論を明にする事が出來た、蠶學の如き應用科學に純正理論の益々必須になつて來た現今かゝる 理論の徒爾ならざるを想ひ大略を記して大方の御批判を乞ふ。詳細に關しては 邦文にて動物學雜誌第四十一卷近月號に發表してあれば御参照されたい。

II

昆蟲の發育に及ぼす大氣濕度の影響に 關する研究は頗る多いが濕度の種々なる百分率に對して發育日數を示した Data は 甚だ稀である。之は主に他の條件殊に溫度を一定にして恒常なる 濕度状態を得る事の困難に依るものと思はれる。多くの昆蟲學の教科書に信頼すべきものとして載つて居るアメリカの Headlee (1921) の豆象蟲 (Bruchus obtectus Say) の研究がある。Headlee は溫度を華氏の 80 度に保つて種々の過飽和鹽類水溶液を使つて 10 箇の恒濕状態を作りこの中で象蟲の發育日數を調べた所第一表の示す様な結果を得た。之から比較發育速度を算出すると 第二表第二及び第四縦欄に示すが如き値を得た (發育速度は發育日數の算術的逆數である。此處では $\frac{100}{\text{發育日數}}$ を以つて發育速度とした) 今この第二表を見ると發育速度は『卵+幼蟲』期又は『卵+幼蟲+蛹』期即ち全生育期共濕度が増せば増す程大となり。100% 濕度に於いて最大に達して居る。(但し Headlee 自身に依れば『卵+幼蟲』期が 100% 濕度に於いて其の發育速度を低下したのは有害なる黴類の 發生に依るものだと言ふ)。この發育速度を圖

第一 表

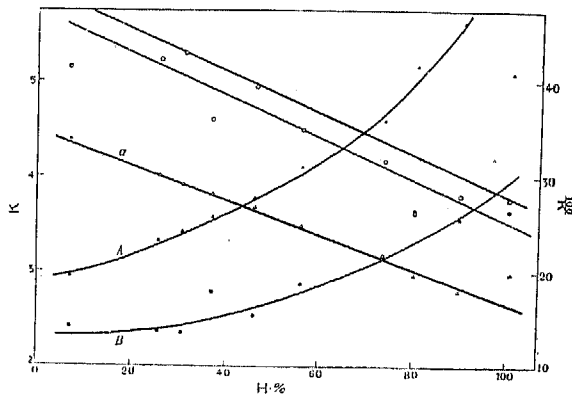
濕 度	發 育 日 數	
	自卵下至 化 蛹	自卵下至 羽 化
7.1	33.8 ^H	41.5 ^H
25.9	30.1	42.3
30.7	29.24	42.6
37.0	28.21	35.7
45.7	26.65	30.5
56.1	24.78	35.0
73.4	21.67	31.7
80.0	19.49	27.3
89.7	17.75	28.0
100.	19.60	26.5

第 二 表

濕 度	發 育 速 度 K			
	自卵下至化 蛹實驗價	同 理 論 價	自卵下至羽 化實驗價	同 理 論 價
7.1	2.95	2.96	2.41	2.19
25.9	3.32	3.32	2.36	2.40
30.7	3.42	3.42	2.35	2.46
37.0	3.54	3.57	2.80	2.54
45.7	3.75	3.80	2.53	2.66
56.1	4.04	4.11	2.86	2.83
73.4	4.61	4.77	3.15	3.15
80.0	5.13	5.08	3.66	3.29
89.7	5.63	5.61	3.57	3.53
100.0	5.10	6.31	3.77	3.82

示すると第一圖曲線A及びBの如くなる。第一圖に於いてHは比較濕度、Kは發育速度 $\frac{100}{K}$ は發育は類を示したもので曲線Aは『卵+幼蟲』期の、Bは全生育期の發育速度曲線で、直線 a 及び b は夫々曲線 A、B に相當する發育日數曲線である。圖に見る如く

第 一 圖



『卵+幼蟲』期曲線は非常に Smooth であるが全生育期曲線 B は稍不規則ではあるが大體に於ては前者に類似した曲線の形をとるものである。

私はこの發育速度曲線に對して、次の如き實驗式を與へた。

$$K = \frac{100}{D \cdot E (100 - H) + b} \dots\dots(1)$$

茲に K は發育速度、H は大氣濕度を % で表はしたもの、D、E、b は皆恒數である。之の式は一種の双曲線の式である。(1) 式を變形すると

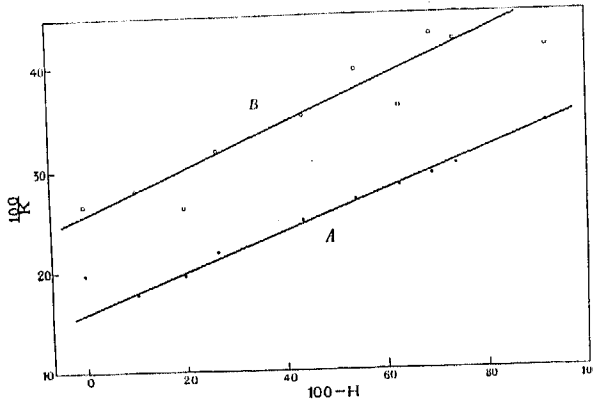
$$\frac{100}{K} = D \cdot E (100 - H) + b \dots\dots(2)$$

となる。之の式は變數 $\frac{100}{K}$ 及び $(100 - H)$ に関して直線の式である。故に直角座標に於いて横軸に自變數 $(100 - H)$ 縦軸に因變數 $\frac{100}{K}$ の値を取つて一つの直線を得れば、こ

の Data は (1)式を満足する譯である。

Headlee の豆象蟲の Data を plot すると第二圖の如き 完全なる直線を得た。曲線 A

第 二 圖



は『卵+幼蟲』期、Bは全生育期に適用す。

この直線から恒數D.E 及びbを算出して(1)式に依つて計算した計算理論價は第二表第三及び第五縦欄に示すが如く實測値に非常に近似してゐる。従つて(1)はこの Data に關して正確である。

III

私が象蟲の發育に適用した式は 氣象學上の蒸發式に關係して居る。大氣中に於ける水分の蒸發作用の速度は Trabert (Hann氣象學より) に依れば次の函數式で表はされる。

$$V = A (E - e) \frac{B_0}{B} \frac{T}{T_0} \sqrt{W} \dots\dots\dots(3)$$

V は蒸發速度、E は其時の氣温に於ける空氣の最大水蒸氣張力、e は其時の空氣の水蒸氣張力、B は氣壓、B₀ は標準氣壓、T は絶體温度、T₀ は 0° に相當する絶體温度、W は風速にして A は蒸發面の状態によつて異なる蒸發係數である。今普通の氣壓状態の時を考ふれば $\frac{B_0}{B} = 1$ となり。而して

$$\frac{T}{T_0} = \frac{273 + t}{273} = 1 + 0.00367t$$

なる故 (3) 式は

$$V = A (1 + 0.00367t) (E - e) \sqrt{W}$$

となり假に

$$A (1 + 0.00367t) \sqrt{W} = a \text{ とおくならば}$$

$$V = a (E - e)$$

となる。この式に比較濕度

$$H = \frac{100e}{E}$$

より得たる $c = \frac{H.E}{100}$ を代入すれば

$$V = a.E \left(1 - \frac{H}{100} \right)$$

を得。之を逆數式に變ずれば

$$\frac{1}{V} = \frac{100}{a.E(100-H)} \dots\dots\dots(4)$$

となる。此は

$$K = \frac{100}{D.E(100-H) + b} \dots\dots\dots(1)$$

と同一である。依つて式(4)及び(1)より

$$K \propto \frac{1}{V} \text{ 又は } K = C \frac{1}{V} \dots\dots\dots(5)$$

の關係が成立する。式(5)の示す意義は

昆蟲の發育速度は蒸發速度に逆比例す

である。即ち昆蟲の發育速度に蟲體からの水分の蒸發速度が大なれば大なる程小となる事を示す。

(1) 式の恒數 E は (4) 式の恒數 c と同じく發育に際した空氣の溫度に於けるその最大水蒸氣張力を示しこの値は物理學の表から檢出する事が出来る。恒數 a は溫度、風速及び蒸發面の狀態に依つて特別の値を取る。D も全く之と同じ意味をもち飼育時の氣溫、風速及び蟲體の水分蒸發面の狀態に依つて異なる値をとる。而して眞に動物體の蒸發面の差異にのみ基づく蒸發係數 A の値は

$$A = \frac{D}{(1+0.00367t)\sqrt{W}}$$

として算出される。この A の値は動物體の水分蒸發面の狀態の差異詳細に云へば皮膚の構造、厚さ、氣管の分岐狀態、氣門の大小及び數、身體の大いさ及び形狀等の差異に依つて夫々特有の値を取るべきものである。

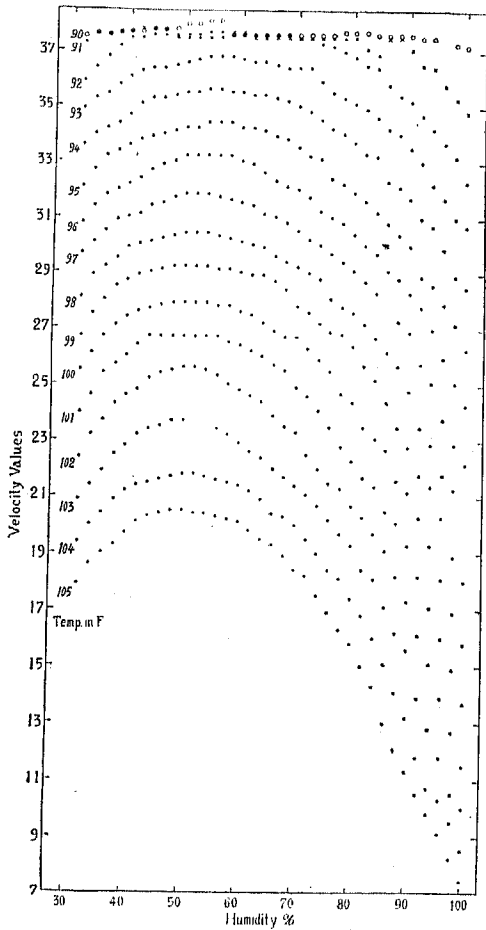
IV

最近アメリカの生態學者 Shelford (1927) に依つて發表された濕度作用の詳細なる研究がある。Shelford は自身及び他の研究者に依つて既往十年間の研究より林檎の害蟲コドリソ蛾 (Codling moth, *Carpocapsa pomonella*) の蛹及び卵に就いて種々なる溫度 (44°F 乃至 105°F 迄一度置きに) 及び濕度 (32% 乃至 100% 迄 2% 置きに) 狀態の下に於ける發育速度の平均を表示して居る。Shelford の示して居る發育速度は彼の所謂 Developmental unit の數である。Developmental unit とは一定の溫度に於いて一時間内

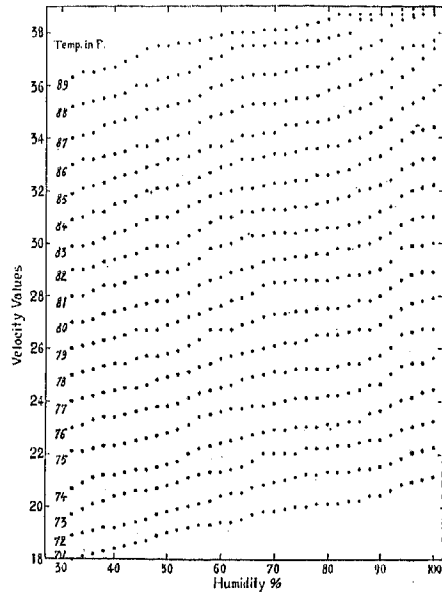
に起る發育の量即ち速度である。Codling moth の蛹に関する Developmental unit の數は全く卵の其と相等しい。

この昆蟲の蛹又は卵の發育速度は一般に空 氣中の水蒸氣含量が増せば増す程大となり湿度 100 % 又はその附近に於いて最大に 達つて居る。然しこの傾向は所謂發育に對する中庸溫度範圍 (Medial temperature range) 内に於いてであつて之を超えて高温

第 三 圖

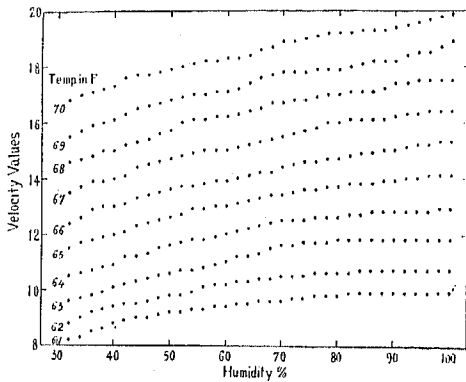


第 四 圖



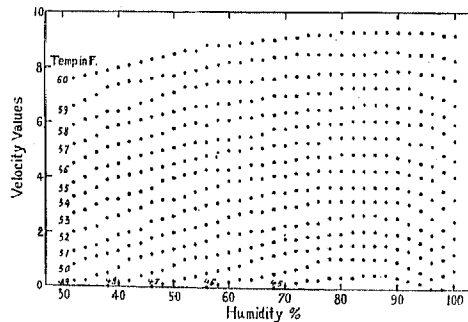
又は低溫範圍に於いては發育はある湿度迄は 増加するもこれ以上の高湿度に於いては却つて遅延する。今この關係を圖示すれば次の四個の圖の示すが如くである。曲線の Base に記載せる數字 は其時の溫度 (F°) である。

第五圖



以上圖に見る如く温度60°F—89°Fの範囲内に於いては發育速度の曲線は皆濕度100%迄上昇を續ける。然るに温度90°F以上105°Fの範囲内に於いては曲線は濕度約50—60%の範囲内に於いて頂點に達するも其よりは逆に下降する。59°F以下44°Fの間の低温に於いてもこれと同じ曲線の形は見られる

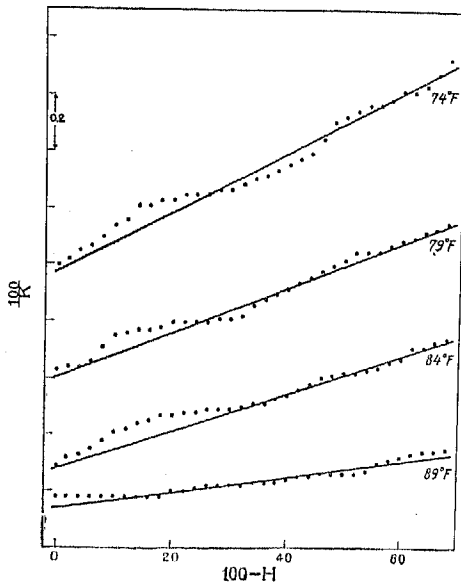
第六圖



が曲線の頂點は右傾し約80—90%の間にある。斯の如くこの昆蟲の空氣濕度の變化に伴ふ發育速度變化の状態は90°F—105°F, 71°F—89°F, 60°F—70°F及び44°F—59°Fの四範囲内に於いて夫々異なる。この様に温度の如何に依つて濕氣作用に變化を生ずる事は従來多くの研究者に依つて明かとなつておる所である。

私の提出した實驗式はこのDataに於いては71°F—89°Fの範囲内のみ適用出来る。

第七圖



第七圖はこの結果を示してゐる。これはこの範囲に於ける任意の四温度におけるものをplotしたものである。ShelfordのDataに依つて私は私の式が所謂Medial temperature range内のMoisture actionにのみ適用される事を知つた。この温度範囲を超える時は濕氣作用はその模様を變化する。

V

水分の蒸發は生物體に對して二つの作用をする。

- (1) 氣化潛熱に依る體温低下
- (2) 體中水分量の減少

水分が液體の狀態から氣體に變化する際には氣化の潜熱を必要とする。この爲に水分蒸發面に近い組織の體溫を低下させる。昆蟲の如く小形のものに於いては體全體の溫度に關聯する。従つてこの結果は體中に行はるる物質代謝速度を減少させるものである。

次に生物體には各々その種類又は個體特有な最適體水分量を保有するものである。最適體水分量とは體内に行はるる種々の物理的、化學的又は物理化學的反應を最好都合に進行させる爲に最適なる含有體水分量である。この水分量が多又は少に過ぎる時は之を反應の Medium とする總べての生理反應の速度は遅れる。

體中の水分の量が最適にある爲には之と Environmental medium の水分量とが Equilibrium の狀態にある事を必要とする。體中體外の水蒸氣瓦斯張力の相等しい事を要する。此の Water balance は他よりの (例へば食物等による) 影響なき限り水中又は 100% 湿度の環境に於いて保たるべきである。即ち理論的な optimum environmental moisture は 100% 湿度である。湿度が之より減ずれば蒸發に依つて體中水分の量は減少を免れない。Bodine (1923) 及び Robinson (1926) は實驗的に之を證明してゐる。空氣中の水蒸氣張力が減ずれば體溫の低下及び體水分量の減少を來して發育の遲延を來たす。何となれば水分蒸發に依る體溫低下並びに體水分量の減少は蒸發速度に正比例して増大すると見られるからである。發育速度が蒸發速度に逆比例するのは以上の理論に依る。

次に注意しなくてはならない事は以上論じ來つた所は大氣含有水分の蟲體に對する全く純粹な作用で之に他の條件の附加して來る場合は自ら考へを變へねばならぬ事である。

Moisture action に對して最大なる干涉をなすものは經口的水分の影響である經口的水分とは食物として入つて來る水分の事で之が外圍湿度の作用に干涉する事は云ふ迄もなく例へば Headlee (1914) に依れば一般に多汁質の食物を攝るものは全く大氣湿度の發育に對する影響を認める事が出來ないと。又排泄作用の多少も之に關聯する所大きい。之等の干涉的條件の附加さるる時は空氣湿度の影響は單一純粹と見る事は出來ない。故に幼蟲期の如き食物を攝る時期に於いては湿度の純粹作用は知る事が出來ない。昆蟲に於ては卵又は蛹期を材料とするのが理想である。Headlee の豆の象蟲の研究は彼自身の記する所に依るとその生棲し食物とする豆は常に外圍湿度と水分含有量を等しくする故に大氣湿度の作用は比較的純粹に動物に及ぼさるるものであると。

次に生物體に於ける水分蒸發作用は純物理學に於ける自由水表面よりの蒸發作用とはその趣を異にして居る。生物に於ける蒸發作用には一種の制御作用がある。自由水表面からの物理學的蒸發作用は若し大氣湿度が零% ならば蒸發は Maximum に行は

るる理なるが生物にあつては かい事はない。生物には蒸發に對する Regulative action があつて體の Water optimum を超える時は蒸發を妨げる作用が行はれる。蒸發速度逆數式(4) 式に恒數 b を有しないのはこの事を證明するものである。蒸發式

$$V = a \cdot E \left(1 - \frac{H}{100} \right)$$

に於いて $H = 100$ なる時は $V = 0$ となつて蒸發は起らない。然るに之と同じ意味を持つ式(2)に於いて $H = 100$ となつても $\frac{100}{K} = 0$ とはならない。反對に云へば $H = 0$ となつても $K = 0$ とはならない。空氣が全く無水分状態になつても發育は起る。物理學的蒸發で云へばこの時は 體中水分は皆無になつて發育速度は零となるべきであるが實際には零となる事はない。之は蟲體の制御作用の爲にある程度迄蒸發を防止する作用が行はれるからである。式(1)に於ける恒數 b は $H = 100$ なる時の發育速度の逆數の値である。例へば第二圖に於いて $100 - H = 0$ なる時の $\frac{100}{K}$ の値乃ち發育日數の値である。

生物體はある程度迄乾燥しても發育を持続するものである。例へば Burger(1907)は *Tenebrio molitor* の幼蟲を全く乾燥した空氣中で乾燥した糠で飼育した所幼蟲は體重を減少したが死ぬ迄體の一定水分量を 保有した事を實驗して居る。之は Minimum moisture content はたとへ自體の組織を犠牲にしても 保持される事を示した實例に外ならぬ。

斯の如く生物體に於ける蒸發作用は物理學に於ける 純蒸發作用とはその趣を異にして蒸發に對する一種の制御作用を認めうるものである。

次に物理學的蒸發作用と異なる點として 昆蟲の蒸發に對する Response が溫度に依つて變化する事をあげねばならぬ。發育に對する moisture action の曲線が溫度範圍に依つて異なる形を取る事は Shelford の codling moth の研究で明である。之は溫度が異なる事に依つて蒸發作用に對する蟲體の反應が異なるからである。一般に變溫動物(Poikilothermic animal) に於いては高溫に於いては溫度そのものの作用に依つて Metabolism の速度は異常に迅速になり所謂 Destructive となつて發育速度は却つて減少する。之に對して蒸發は氣化熱を奪ふ事に依つて 體溫を下げて Metabolism を順調にして發育速度を早める。勿論ある程度以上に濕氣が少くなる時は反對に發育速度は小となる。又低溫に於いては濕氣に依る 體溫傳導 (Heat conduction) と關聯して發育は蒸發による影響を單一に受くる事が出來なくなる。

之を要するに發育に對する Media] temperature range を超えて高溫又は低溫になる時には Metabolism に對する異常な溫度作用の爲に 濕度作用はその模様を變化して來る。

故に外界の水蒸氣張力は本來水分蒸發に依つて生體に作用するけれど之に對する生體の反應として發育速度を考へる時はそれは必ずしもそのまま水分蒸發に依る本來的作用を表はすには非ずしてその時の溫度に依つて變化された發育速度を表はす。水分蒸發による純粹反應をそのまま表はすは體内の物質代謝が正常に行はるる所謂Medial temperatureの範圍内に於いてである。従つて私の提唱する濕氣作用の式も單にこの範圍の溫度に於いて適用されるのみでこの範圍外の溫度に於いては反應式は自ら變化して來ねばならぬ。

要するに以上述べ來つた濕氣作用の理論は發育が正常に行はるる溫度範圍に於ける換言すれば正常環境に於ける濕度作用の理論である。

引用文獻

1. Bodine, J. H., Factors influencing the water content and the rate of metabolism of certain Orthoptera, *Jour. Exp. Zool.*, 32, 137—164, 1921.
2. Burger, B., Ueber die Widerstandfähigkeit der Tenebriolarven gegen Austrocknung, *Pflüger's Arch.*, 118, 607—612, 1907.
3. Hann, J., *Lehrbuch der Meteorologie*, Leipzig, 1901.
4. Headlee, T., Some data on the effect of temperature and moisture on the rate of insect metabolism, *Jour. Econ. Ent.*, 7, 413—417, 1914.
5. ———, The response of the bean weevil to different percentages of atmospheric moisture, *ibid.*, 14, 264—269, 1921.
6. Robinson, R., An electric method of determining the moisture content of living tissue, *Ecology*, 7, 365—370, 1926.
7. Shelford, V. E. An experimental investigation of the relations of the codling moth to weather and climate, *Illinois Natural History Survey Bulletin*, 16, 311—440, 1927.

(昭和四年三月六日受理)