

腸膜濕度表在地面觀測中應用的結果*

張 靄 琛

(北京大學氣象專業)

摘 要

本文介紹北京大學氣象專業對腸膜在地面觀測中應用的實驗結果。

腸膜的重要性質有：

- (1) 尺度接近於給呂薩克尺度(表 1)。
- (2) 當其被霧或雪花沾濕後,若相對濕度下降至 90% 以下時,腸膜長度的縮短相當於相對濕度變化 7% (圖 6)。
- (3) 滯後係數小,在 0.1—0.2 米/秒通風下,和在氣溫 0°C 空氣飽和時為 27 秒, -15°C 時為 34 秒(表 2、3)。

百葉箱中實際觀測結果表明：

- (4) 以通風乾濕球為標準,腸膜濕度表觀測的相對濕度平均誤差為 ±2% (圖 8、9)。
- (5) 尺度穩定,在夏季二個月內檢定曲綫平移相當相對濕度變化 2% (圖 8),春冬之交二個月內檢定曲綫沒有發生任何改變(圖 10)。
- (6) 腸膜被沾濕後,雖有縮短現象,但仍能有規律地反應濕度(圖 5、6);並且經過訂正後的記錄,其誤差在腸膜未被沾濕時的觀測精確度範圍內(圖 10)。

簡述:腸膜在高空探測中已被很多國家採用,但是在地面觀測中則不普遍。本文作者就腸膜在地面中應用加以實驗,指出經過特殊處理後的腸膜能滿足地面觀測的要求。

一. 腸膜的尺度及其性質

實驗室內:腸膜尺度的檢定採取下列幾種設備及方法:

1. 部分壓力法:減低密封容器內的大氣壓力,則容器內的水汽張力亦成比例地減少。

實驗裝置如圖 1。1 為密封鐘罩,腸膜²垂直懸掛在中央,下端附有小針³,用讀數顯微鏡可從玻璃管⁴讀出腸膜長度的變化,鐘罩內的氣壓可由壓力表⁵測得(精確至 1 毫米)。罩內壓力藉抽氣機可降到 0.001 毫米,空氣通過裝有蒸餾水的瓶⁶進入罩內,當室溫和水溫相同時,進入罩內空氣可接近飽和,U 型管⁷內裝有玻璃絲防止水滴進入罩內,馬達⁸用以維持通風,在腸膜中段旁置一熱電偶溫度表(準確至 0.1°C)。測量腸膜周圍空氣的平均溫度。

* 1957 年 2 月 11 日收到。本文為氣象局與北京大學合作研究工作之一。

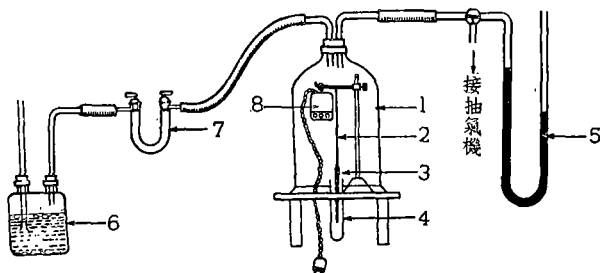


圖1. 尺度檢定的實驗裝置

實驗前，先將鐘罩抽空到 10^{-3} 毫米，然後放入相對濕度為2—5%的空氣，反覆十幾次，保證罩內不存有水分。實驗時，先將接近飽和的空氣放入罩內，然後緩慢地減低罩內壓力。由於絕熱冷卻，空氣達到飽和，讀下腸膜的長度。迨溫度增高後逐次抽降罩內氣壓，並記下腸膜的長度。根據熱電偶溫度表讀得的溫度及壓力表讀得的壓力，計算罩內相對濕度。實驗時，亦可放入已知相對濕度的空氣，逐漸增加罩內水汽張力，使實驗依相反方向進行。

2. 混合法：用嚴開偉^[1]和 Schulze^[2]所用的方法及設備分別進行。

3. 吸濕鹽法^[3,4]：在圖1的鐘罩內放入甘油的水溶液控制濕度，其飽和水汽張力事先加以確定(室溫下相對濕度精確度為0.5%)。

結果如圖2，圖中⊙點為部分壓力法減濕檢定結果，×為升濕檢定結果，⊗為吸濕鹽法檢定結果，+為混合法檢定結果。

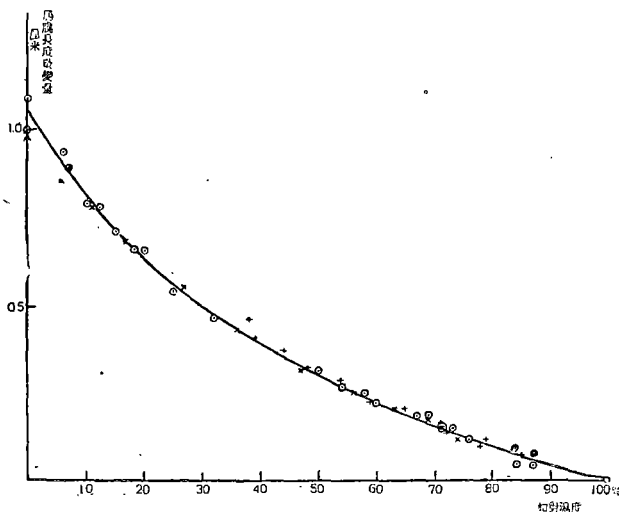


圖2. 腸膜的尺度

根據檢定曲綫計算的腸膜的尺度列在表1中，並和給呂薩克尺度相比較。

表 1 腸 膜 的 尺 度

相 對 濕 度 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
長 度 相 對 改 變 量 %	0	22.7	39.9	52.2	63.0	70.0	77.1	84.8	91.4	96.2	100
給 呂 薩 克 尺 度 %	0	20.9	38.8	52.8	63.7	72.2	79.2	85.2	90.5	95.4	100
和 給 呂 薩 克 尺 度 的 偏 差 %	0	+1.8	+1.1	-0.6	-0.7	-2.2	-2.1	-0.4	+0.9	+0.8	+0.0

根據上表的結果可以認為，腸膜的尺度很接近於給呂薩克尺度。Sonntag^[5]用不同的毛髮進行實驗得到，縱使毛髮亦可以和給呂薩克尺度相差很大。

用吸濕鹽法檢定時，同時不斷降低氣壓，其長度不變。由此推論腸膜尺度與氣壓無關。

腸膜有時亦有和給呂薩克尺度相差很遠的，圖 3 給出同一腸膜上截取下來的二條腸膜檢定結果，其中(A)未經特殊處理，是一曲綫；而經特殊處理後的腸膜(B)，是一直綫。

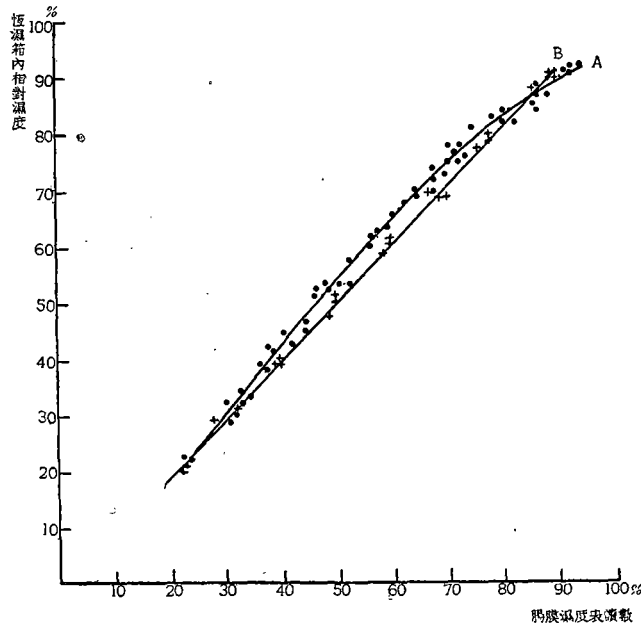


圖 3. 腸 膜 的 檢 定 曲 綫

用乙醚進行脫脂的腸膜，當相對濕度在 94% 以上時，外界濕度如回降，腸膜濕度表示度反而升高 3% (這種現象在毛髮中常存在^[6])。

另外，腸膜有二種特殊的性質(事實上是二種缺點)。

1. 癱瘓效應：腸膜在相對濕度低於 30% 的空氣中置放過久(3 天以上)，如濕度回升，腸膜濕度表指示濕度總低於外界濕度。圖 4 為一腸膜濕度表擱置在相對濕度為

20% 的空氣中 3 天後升濕檢定結果。在 60% 以下濕度表示度低於實際相對濕度 2—4% (圖中 · 為降濕檢定點, ⊙ 為升濕檢定點)。若放在相對濕度為 90% 的空氣中 12 小時後, 就消除了癱瘓效應(圖中 + 為升濕檢定點, × 為降濕檢定點)。

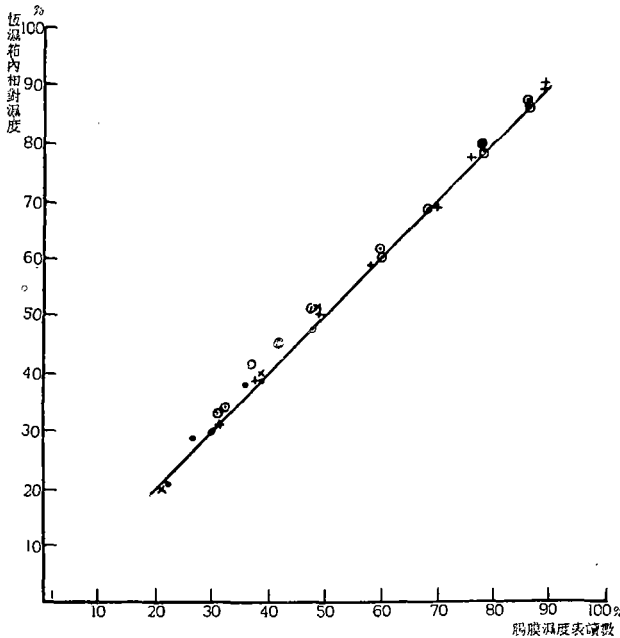


圖 4. 腸膜的癱瘓效應

2. 沾濕效應：腸膜上沾有水滴後, 濕度表的檢定曲綫就發生了改變。圖 5 中實綫為原檢定曲綫(· 點), 當腸膜被沾濕後(當時發現恆濕箱門玻璃窗上凝有小水滴), 腸膜的降濕檢定曲綫(× 點), 就變為虛綫在同一相對濕度下濕度表的讀數比原檢定曲綫為低, 平均相對濕度在 80% 時低 3%, 70% 至 50% 時低 6%, 50% 以下低 5%; 如外界濕度重新回升超過 80% 後, 腸膜濕度表又重新還原到原檢定曲綫(+ 點), 百葉箱中實際觀測得出同樣的結果, 圖中帶圈的點為 57 年 2 月 11 日淺霧之後, 腸膜濕度表和 Weiss 通風乾濕球比較結果。

腸膜沾濕較嚴重時, 如遇到濃霧以及沾有雪花後, 濕度由 100% 附近下降時, 在相對濕度 90% 以下, 腸膜濕度表讀數在各個相對濕度下都比原檢定曲綫低 7% (× 點)。當腸膜上凝有霧凇時, 腸膜的縮短現象在 100% 時就表現出來(⊙ 點)。圖 6 中給出 57 年 1 月至 4 月十幾次雪後以及霧後腸膜濕度表和 Weiss 通風乾濕球在百葉箱內比較的結果; 當相對濕度重新回升時, 縮短值一直保持到相對濕度 70% 以下, 70% 以上逐漸還原到原檢定曲綫(+ 點), 和圖 5 中這一段反應曲綫相一致(— · — 綫)。當相對濕度回升到 80% 以上後, 腸膜又重新回到原檢定曲綫上(實綫)正常地感應濕度(· 點)。

圖 6 中的△點為 57 年 4 月 8 日陣雨後百葉箱內的觀測結果, 由於腸膜未被沾濕, 因

此仍在原檢定曲線上感應濕度。

本文作者對腸膜的溫度係數未進行實驗，根據嚴開偉^[1]的意見，認為可以略而不計。

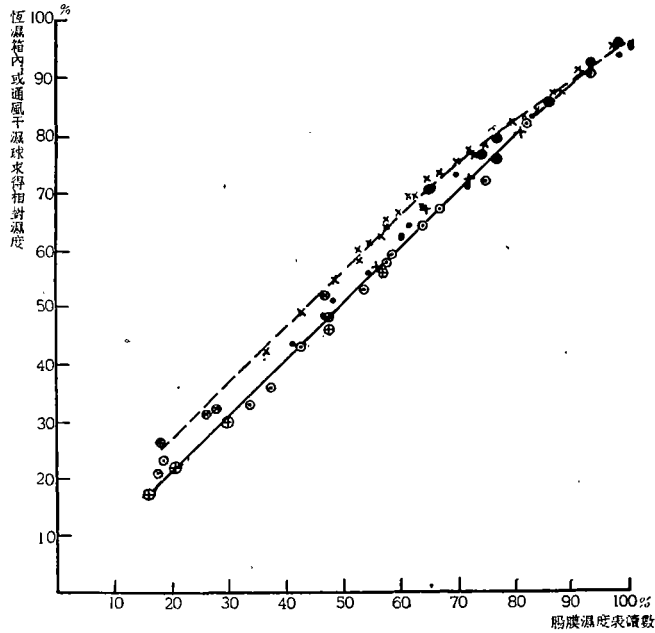


圖 5. 腸膜的沾濕效應

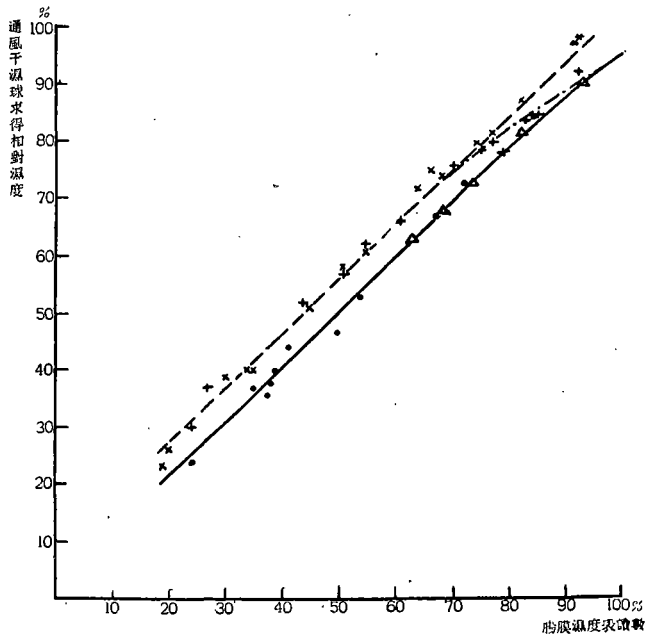


圖 6. 腸膜的沾濕效應(霧或沾有雪花後)

二. 腸膜的滯性

適合於給呂薩克尺度的濕度元件的感應公式可用下式表示^[7]:

$$u - u_s = \alpha \frac{du_s}{d\tau},$$

式中 u 為介質的相對濕度, u_s 為濕度表的示度, $\frac{du_s}{d\tau}$ 為濕度表的示度隨時間的變化率, α 為滯後係數, 根據 Väisälä 的研究, 認為 α 和絕對濕度成反比^[4].

實驗 α 的方法同嚴開偉者^[1]. 實驗是在 0.1—0.2 米/秒和 1.5 米/秒二個通風速度下進行. 使用 Albrecht 的熱綫測風儀^[3] 在百葉箱中觀測結果得知前者相當於百葉箱內經常的通風速度, 後者為 4—5 級風時箱內的通風速度.

表 2 通風速度 0.1—0.2 米/秒下腸衣的後延係數

溫度 °C 1	最大絕對濕度 克/米 ³ 2	後延係數 (平均值) 秒 3	平均次數 4	後延係數偏差 秒 5	後延係數範圍 秒 6	絕對濕度平均範圍 克/米 ³ 7
10	9.6	14	7	±5	10—19	10.4—8.5
0	5.0	27	5	±4	24—31	5.9—3.9
-5	3.4	26	7	±6	22—32	3.9—2.7
-10	2.4	32	10	±8	24—40	2.8—2.0
-15	1.6	34	15	±10	22—43	1.9—1.3

表 3 通風速度 1.5 米/秒下腸衣的後延係數

溫度 °C 1	最大絕對濕度 克/米 ³ 2	後延係數 (平均值) 秒 3	平均次數 4	後延係數偏差 秒 5	後延係數範圍 秒 6	絕對濕度平均範圍 克/米 ³ 7
10	9.6	5	6	±4	3—9	10.1—8.8
0	5.0	—	—	—	—	—
-5	3.4	16	5	±9	11—25	3.8—2.8
-10	2.4	16	26	±10	9—26	2.8—2.0
-15	1.6	25	8	±6	19—30	1.8—1.4

表中給出了三個濕度表在相當於 +10°C, 0°C, -5°C, -10°C 和 -15°C 時最大絕對濕度(第一、二行)下的平均滯性係數(第三行). 由於不能每次恰好得到該絕對濕度下的滯性係數, 因此把這個絕對濕度附近得到的滯性係數加以平均, 範圍給在第七行.

由表可看出本實驗所用之腸膜在零度以下時滯性係數不大, 只有二、三十秒, 但氣溫在零上且風速較大時似嫌過小.

三. 百葉箱中觀測的結果

在冬季和夏季分別進行, 夏季和掛在箱內 Weiss 通風乾濕球比較, 冬季與 Weiss

的通風乾濕球和熱電偶乾濕球比較。熱電偶乾濕球的構造同 Pasquill^[8] 的相同，但放在 Weiss 的通風管中，乾濕球差的讀數可準確到 0.02°C 。

夏季觀測中由於腸膜的滯性係數太小，在箱外風速較大時，可以有 $\pm 4\%$ 的擺動，讀取瞬時值並不能代表平均情況，造成很大的偏差。圖 7 中給出 56.6.20—7.1 的觀測記錄，圖中 \times 號係當 10 米高處風速為 $0.0—1.0$ 米/秒時的號， $+$ 號為 20 米/秒以上的點（風速以魯賓遜風速計測得）。顯然，大風速時比小風速時有更大的偏差。

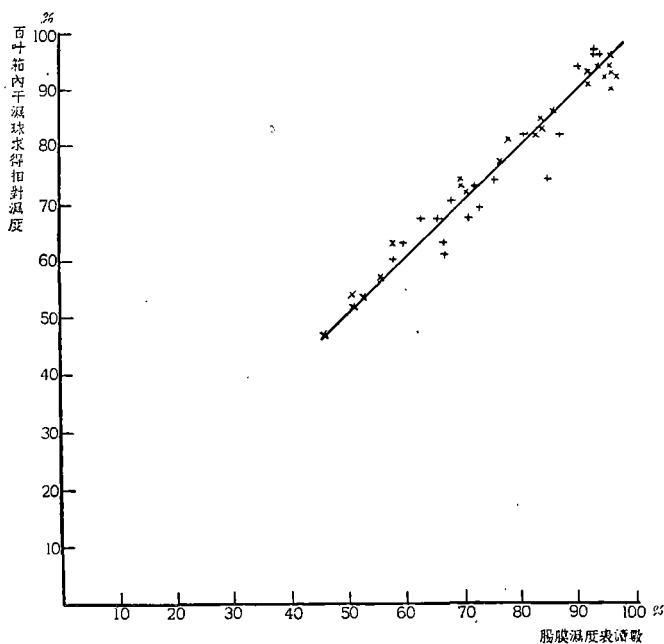


圖 7. 腸膜濕度表讀數準確度和風速大小的關係

因此，只有採取一打開箱門立刻讀數的辦法。圖 8 中 \cdot 點及實綫為 56.8.24—9.2 觀測結果，顯然此時觀測值能比較正確地代表百葉箱內濕度，其平均偏差為 $\pm 2\%$ ，概率偏差為 $\pm 2\%$ ，最大偏差為 $\pm 5\%$ 。圖中 $+$ 點及虛綫為 56.6.20—7.1 的觀測結果。檢定曲綫在這段時間略有平移（小於 2% ）。

冬季在 $(57.1.4—2.4)$ 溫度 $0^{\circ}—15^{\circ}\text{C}$ 之間，相對濕度 25% 以上的觀測結果如圖 9。其中 $+$ 點係與熱電偶乾濕球比較結果，平均偏差為 $\pm 1\%$ ，概率偏差 $\pm 1\%$ ，最大偏差 $\pm 3\%$ ；和玻璃溫度表乾濕球比較偏差較大，最大達 5% （圖中 \cdot 點）。作者認為熱電偶所測濕度較為精確。

腸膜在冬季的穩定性更好，圖 10 給出 57.2.4—4.16 腸膜和 Weiss 通風乾濕球觀測結果（ $+$ 點）。二個多月內檢定曲綫未發生移動。雖然當時處於春冬之交的季節，溫度在 -5°C 至 $+23^{\circ}\text{C}$ 之間；同時腸膜濕度表受到十次的雪花和濃霧的沾濕。圖中帶圈點為腸膜被沾濕後的記錄，加上縮短值訂正後的結果在未被沾濕時，記錄的觀測準

確度內。

由於條件限制，未能對腸膜的穩定性連續進行一年的觀測。

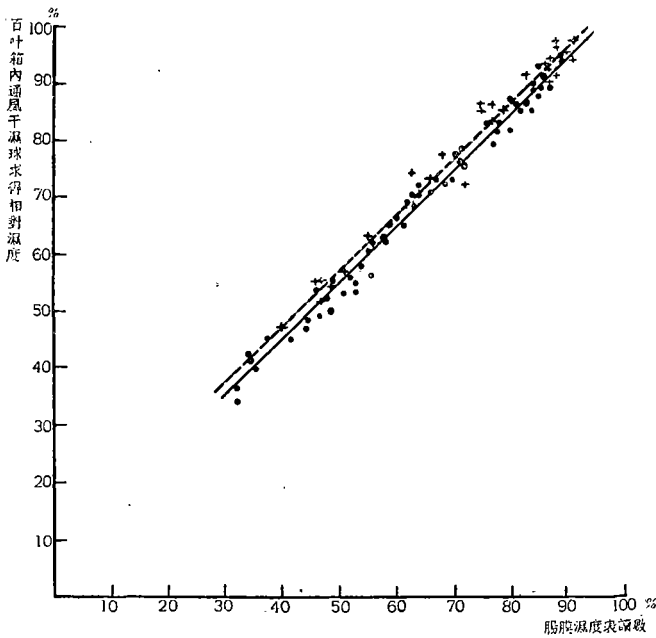


圖 8. 腸膜濕度表夏季觀測結果(56.6.20—9.2)

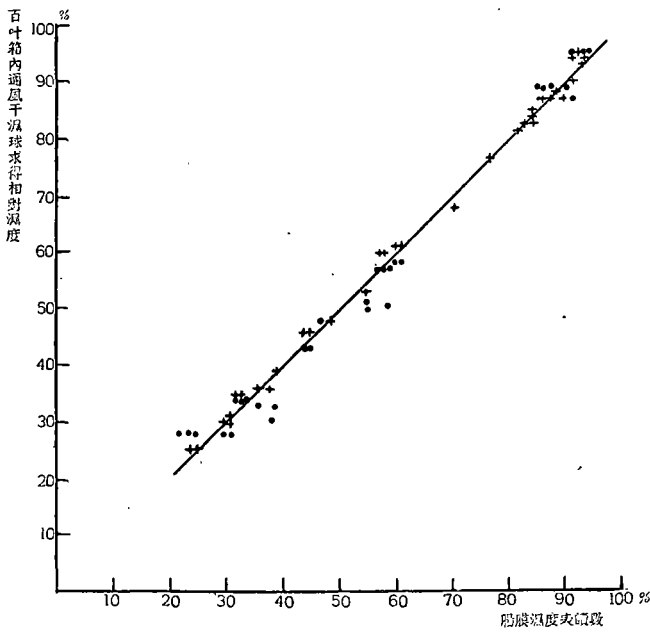


圖 9. 腸膜濕度表冬季觀測結果(57.1.4—2.4)

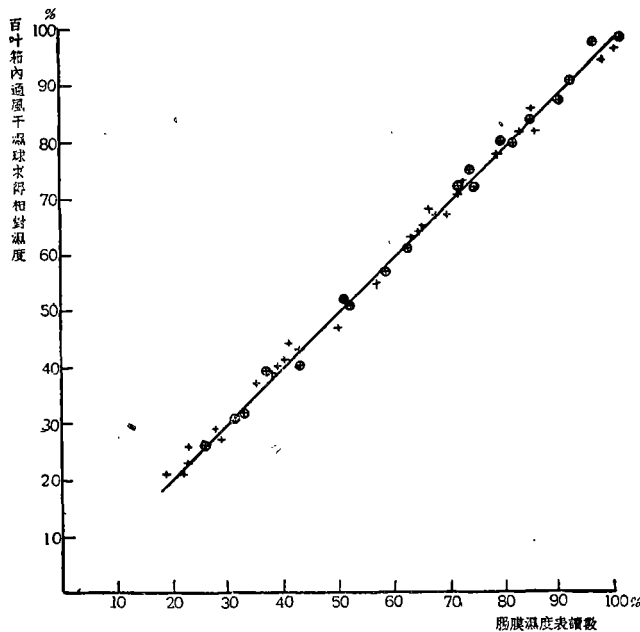


圖 10. 腸膜濕度表春冬之交觀測結果 (57.2.4—4.16)

四. 結 論

從以上所述，經過二年的實驗得到下列結論：

1. 能準確指示濕度，相對濕度平均偏差不大於2% (以乾濕球作標準)。
2. 滯性係數在冬季適當，夏季嫌小*，還宜採用滯性係數較大的腸膜。
3. 尺度穩定性很好，在夏季二個半月內檢定曲綫只平移相對濕度2%；在春冬之交溫度在冰點附近變化較大的季節中，二個月內腸膜的檢定曲綫沒有改變。腸膜被沾濕後，雖有縮短現象，加以訂正後的記錄仍在未被沾濕時記錄的觀測精確度內，並且縮短值能在短時間內消除，還原到正常感應曲綫。

由於條件限制，作者僅在溫度 -15°C 以上，相對濕度 25% 以上進行實驗。

作者蒙嚴開偉先生建議進行上述工作，並提供意見；李文祿同志協助處理腸膜，景榮林同志協助進行實驗，蔡穎強同志進行計算，以及氣象專業三年級同學陳道軒、馬濟普、莊英如、文傳甲、莊能森、葛小玲、魏培文曾協助進行觀測，謹此致謝。

參 考 文 獻

- [1] 嚴開偉、張鈞，腸膜之特性及其在無線電探空儀上的應用。氣象學報，28 (1957)，91—100。
- [2] Schulze. W. Über die Eichstabilität des gewalzten Haares, *Ann der Met.*, 54 (1953), 232-238.
- [3] E. Kleinschmidt, *Handbuch der meteorogischen Instrumente*, 1935.

* 本文實驗所用之腸膜的滯性係數已較嚴開偉^[1]所用者為大，但仍嫌太小。

- [4] W. E. K. Middleton. *Meteorological instruments*, 1953.
- [5] D. Sonntag. Die Skala des Haarhygrometers für normale und gewalzte Haare. *Met., Zeit.* (1954). Heft 10.
- [6] W. G. Iles and Kathleen Worseop. The behaviour of a single-hair hygrometer under variations of temperature and humidity. *Proc of Phys*, **48** (1936), 358—371.
- [7] V. Väisälä. The lag coefficient of hygroscopic hygrometer. *Geophysics*, Vol. 4: 3.
- [8] F. Pasquill, A portable indicating apparatus for the study of temperature and humidity profiles near the ground. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **75** (1949), 239—248.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЙ КИШЕЧНИКА В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ НАБЛЮДЕНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Чжан Эй-шин

(Метеорологическое отделение пекинского университета)

Резюме

В статье показывается опыт использования кишечника для измерения влажности воздуха. Эта работа выполнена сотрудниками метеорологического отделения физического факультета пекинского университета.

Основные свойства кишечника следующие:

- (1) Полученная шкала близка к шкале Гей-люссака (таб. 1).
- (2) Сжатие кишечника при переходе из увлажненного воздуха в более сухой воздух с относительной влажностью ниже 90% соответствует изменению 7% относительной влажности (рис. 6).
- (3) Коэффициент инерции мал. При скорости ветра 0.1—0.2 м/сек он составляет 27 сек для насыщенного воздуха, имеющего температуру 0°C, 34 сек при —15°C (таб. 2, 3).

Результаты наблюдения в будке показывают:

- (4) Погрешность измерения относительной влажности, наблюдаемой при помощи кишечника, в среднем составляет $\pm 2\%$ по сравнению с аспирационным психромером (рис. 8, 9).
- (5) Шкала, мало меняется в течение года. За два с половиной месяца кривая поправки параллельно перемещается лишь на 2% от старых показаний (рис. 8). В течение двух весенних месяцев (Фев.—Апр.) шкала остается неизменной (рис. 10).
- (6) Кишечник может закономерно отражать изменения влажности воздуха не смотря на то, что он подвергается сжатию при его увлажнении (рис. 5, 6). И их погрешность находится в области точности наблюдения неувлажненного кишечника (рис. 10).