

干ばつ時における限界かん水量に関する研究
 II. 果樹園における土面蒸発量と
 その防止に関する研究

内藤文男・鴨田福也・坂田公男
 農林省東海近畿農業試験場畑作部

Characteristics of Consumptive Use of Water, Irrigation Method
 and Water Behavior in Desiccated Soil Condition

II. Studies on the Evaporation Amount From Soil Surface and
 Its Prevention by Mulching in Various Orchards

By

Yasuo Naito, Fukuya Kamota and Kimio Sakata*
 Tokai-Kinki National Agricultural Experiment Station, Tsu

Abstract

The percentages of evaporation amount to evapotranspiration amount were respectively 78.5 % in a grape orchard, 70.4 % in a young satsuma orange orchard, 54.2 % in a persimmon orchard and 56.3 % in a peach orchard, as an average throughout the growth season in a year.

High correlations were observed between the amounts of evaporation and the affecting factors such as the amounts of solar radiation, saturation deficit, soil moisture and leaf area index.

Maximum amount of evaporation from orchards was about 4.2 mm per day in summer, but it decreased to 19.6 %, 47.3 %, 70.6 % and 77.3 % by the mulching practices using straw, pellet of blister stylen, petroleum resin and cheesecloth, compared with the amount of evaporation from unmulched soil surface.

Bowen ratio near the soil surface showed an increase through mulching practices, and the air temperature at the upper part of the mulched soil surface was higher during the daytime and lower during the nighttime than that above the unmulched soil surface. Consequently, the daily air temperature difference between day and night became increased.

目

次

1. はしがき.....	61	3) 土面被覆による蒸発抑制と草生栽培に よる水分損失.....	68
2. 試験方法.....	62	4) 土面被覆による熱伝達量の変化.....	70
3. 試験結果および考察.....	63	4. 摘 要.....	73
1) 果樹園における土面蒸発量.....	63	参考文献.....	73
2) 土面蒸発量に影響を及ぼす諸要因.....	66		

1. はしがき

作物を栽培した圃場の有効水分は、作物葉面からの蒸散と、土面からの蒸発とを合わせた蒸発散によって失われる。このうち、蒸散は作物の生理上必要不可欠のものといわれているが、土面蒸発は無効損失である。干ばつ時には、限られた用水

の効率的な利用がとくに要請されるところから、これを防止して、作物の利用可能水分を増し、その分かんがい水量を節減することが肝要である。ところが、実際栽培圃場で蒸散と蒸発とを分別測定し、無効損失の実態を明らかにした例は、きわめて少ない。このようなことから、主として果樹

• 現在：農林省熱帯農業研究センター

• Present address: Tropical Agricultural Research Center, Ministry of Agriculture and Forestry, Tokyo.

園における土面からの水分損失を測定し、合わせて、土面被覆によるその損失防止策を検討しようとした。なお、土面被覆による土壤水分保持の効果については、これまでに多くの研究結果が報告されている。しかし、これは含水率の変化として表わされたものが多く、水量(トン、あるいはmm)として表わしたものは少ない。かんがい計画の参考資料とするには、水量表示が妥当であるので、本試験では、被覆の効果を土面蒸発量の変化によって表わすこととした。このため、実際栽培圃場で、水分消費量を正確、かつ簡便に測定できる方法である chamber 法を用いた。

ところで、土面被覆は、保水の他にも保温を大きな目的としている。換言すれば、いずれも地中から大気中に向う熱、水蒸気(水)の流れを抑制しようとするものである。ところが、上方から下方への流れを考えた場合、地温を高めるためには熱の流入を妨げるのは適当でない。また散水かんがい(降雨の場合も同様)を行なった際、水がすみやかに地中に浸透できるように被覆材、被覆方法であることが望ましい。ビニールフィルム、あるいはポリエチレンフィルムマルチは上向きの水蒸気流を抑制することは完ぺきに近いが、頭上かんがいは地中へ浸透することができない。このようなことから、土面を被覆するに当たって、孔隙を有し、被覆率が100%以下のものを用いた場合の熱、水蒸気の伝達量がどのような割合を示すかを、合わせて明らかにしようとした。以下はその概要である。

2. 試験方法

1) 土面蒸発量の測定

Chamber 法により土面蒸発量を測定した。これは、塩化ビニール製の透明 chamber で土面を被覆し、これに通気を行なって、入口・出口における絶対湿度の差から蒸発量を求める方式である。その計算式は次のとおりである。

$$E = (x_2 - x_1) Q$$

E ……蒸発量(g)

x_1, x_2 ……chamber 入口・出口における空气中の絶対湿度(g/m³)

Q ……通気量(m³)

また、絶対湿度は次式によって求める。

$$x = \frac{e}{760} \cdot \frac{\sigma \delta}{1 + at}$$

$$= \frac{e}{760} \cdot \frac{1.293 \times 10^3 \times 0.622}{1 + 0.00367 t}$$

$$= \frac{1.0582 e}{1 + 0.00367 t}$$

e ……水蒸気張力(mm Hg)

σ ……760mm, 0°Cにおける乾燥空気の比重

δ ……水蒸気の空気に対する比重。

t ……空気の温度(0°C)

a ……温度1°Cに対する空気の膨張率。

なお、上記の計算を簡略化するため、乾・湿球温度から絶対湿度を求める表、および線図を作成し、利用した。

空気の乾・湿球温度は30分間ごとの平均値を求め、これから同時間当たりの蒸発量を最小単位として算出した。また、蒸発量(g)を使用した chamber の底面積で除して、水柱(mm)で表示した。chamber の大きさは、直径70cm高さ130cm(うち円筒部80cm, 以下同じ)、直径40cm高さ70cm(40cm)および直径30cm高さ90cm(40cm)の3種類であった。通気量は、直径30cmの chamber では毎分200ℓ、40cmと70cmのものを使用した場合は、毎分400ℓとした。

2) 熱伝達量の測定

出力12.5~13.8mv/cal·cm²·minの地中熱流計を地下2cmと10cmの深さに埋設して、地中熱伝達量を測定した。また、地上25cmの高さにFunk型差放射計(出力21~22mv/cal·cm²·min)を設置し、純放射量を測定した。

3) 供試作物

- ミカン：5年生大岩5号、栽植距離3×3m、最大葉面積指数0.7
30年生尾張系普通温州5.5×5.5m、最大葉面積指数3.0
- ブドウ：5年生デラウエア、5×10m、最大葉面積指数2.0
- カキ：9年生富有、3.6×7.2m、最大葉面積指数0.61
- モモ：4年生大久保、7×4m、最大葉面積指数0.5

4) 土面被覆材の種類

- 裸地区：清耕栽培。
- 発泡スチロール被覆区：直径3~6mmの白色発泡スチロール球で地面を1重被覆。

- 石油樹脂被覆区：エンキャップ原液300ccを、1,750cm²に散布。
- 寒冷紗被覆区：黒色のクレモナ#600を2重にして地面を被覆。
- 敷ワラ区：稲ワラ1,500kgで10aの地面を被覆。
- 草生栽培区：青刈大豆（6月～10月）と雑草草生（5月下旬，6月上旬および9月上旬に青刈り実施）。

3. 試験結果および考察

1) 果樹園における土面蒸発量

(1) 土面蒸発量の時期別推移および全土面蒸発量

常緑果樹であるミカンは年間を通じ、また、落葉果樹であるブドウ、カキ、モモは、おおむねその萌芽期から落葉期までの間測定した。しかし、これらは測定した年度が異なり、また、測定場所も同一でない。したがって、気象条件がそれぞれ異なるから、得られた結果を直接比較するのは妥当でないと考えられる。このため、土面蒸発量（ E_s ）の、同時に測定した蒸発計蒸発量（ E_w ）に対する比、つまり蒸発比（ E_s/E_w ）を求め、これに武豊における年間蒸発計蒸発量を乗じて、土面蒸発量の平均値を算出した。このようにして得た土面蒸発量の生育時期別推移は、第1～5表のとおりである。

○ミカン園の土面蒸発量：ミカン園における土面蒸発量は、5年生の幼木園と、30年生の成木園とで測定した。このうち幼木園では、測定の前日

に十分かん水を行なったので、ほぼ圃場容水量（含水比19%）に近い状態のときの蒸発量が求められた。これに対し、成木園ではとくにかん水は行なわなかったため、4月と10月以外は概して毛管水切断張力（pF 2.7）に近い少水分状態であった。

幼木園における土面蒸発量は第1表のとおりで、8月上旬が最も多く、1日当たり2.6mmであった。また、最少は9月中旬の0.72mmであった。年間の全土面蒸発量は613mmで、これは10アール当たり613トンに相当する。

成木園では、7月下旬～8月上旬が最も多く、1日当たりおよそ1.0mm、最少は9月下旬で0.37mmであった（第2表）。また年間の全蒸発量は237mmとなった。

両園とも、土面蒸発量の最大を示す時期は7月下旬～8月上旬で、蒸発計蒸発量もこの時期が最も多い。これに対し、土面蒸発量の最少時は9月中・下旬で、これは必ずしも蒸発計蒸発量の最少時ではなかった。また、幼木園と成木園とを比較すると、各時期とも前者における土面蒸発量の方が多かった。これらは、測定時の土壌水分の相違、葉による地面庇蔭の程度の差異等が関連したためと考えられる。

○ブドウ園における土面蒸発量：ブドウ園では、萌芽期の5月上旬から落葉始の10月上旬までの間測定した。その結果は第3表のとおりである。なお、これは土壌水分が圃場容水量にはほぼ等しいか、あるいはその80%以上の多水分状態時のものである。

表1 ミカン幼木園における土面蒸発量

月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)
1. 上	1.48*	81.3	4. 上	2.21	83.4	7. 上	0.80	59.0	10. 上	1.43	73.0
中	1.48	81.3	中	2.52	85.1	中	2.30	56.3	中	1.98	78.3
下	1.46	81.1	下	2.59	86.3	下	2.40	52.6	下	1.81	76.7
2. 上	1.46	81.1	5. 上	1.89	81.8	8. 上	2.60	53.7	11. 上	1.76	75.5
中	1.63	81.1	中	1.12	67.9	中	2.30	51.6	中	1.26	72.0
下	1.76	81.1	下	1.87	63.4	下	1.44	47.4	下	1.33	75.6
3. 上	1.59	80.3	6. 上	1.43	60.6	9. 上	0.84	44.4	12. 上	1.52	80.4
中	1.80	81.1	中	1.63	62.2	中	0.72	38.1	中	1.73	81.2
下	1.98	82.5	下	1.77	64.1	下	1.01	52.6	下	1.64	81.2

表2 ミカン成木園における土面蒸発量

月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)
1. 上	0.48	35.3	4. 上	0.86	35.0	7. 上	0.60	22.6	10. 上	0.42	13.3
中	0.48	35.3	中	0.86	32.7	中	0.70	21.7	中	0.48	17.9
下	0.48	35.3	下	0.70	29.4	下	1.00	25.8	下	0.62	23.5
2. 上	0.48	35.3	5. 上	0.72	29.3	8. 上	0.99	22.0	11. 上	0.63	28.1
中	0.57	35.4	中	0.75	29.4	中	0.79	17.4	中	0.88	34.8
下	0.72	35.3	下	0.72	23.5	下	0.65	16.0	下	0.63	38.2
3. 上	0.81	35.2	6. 上	0.68	23.0	9. 上	0.40	10.8	12. 上	0.61	38.1
中	0.84	35.3	中	0.61	21.9	中	0.44	12.6	中	0.52	38.5
下	0.86	35.0	下	0.47	21.2	下	0.37	12.3	下	0.52	38.5

表3 ブドウ園における土面蒸発量

月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)
5. 上	2.7	100.0	7. 下	3.7	74.0
中	2.7	96.4	8. 上	4.0	70.8
下	3.0	93.7	中	3.7	64.9
6. 上	2.8	90.3	下	3.3	62.2
中	3.0	88.2	9. 上	3.1	63.2
下	2.6	86.6	中	2.8	65.1
7. 上	2.7	81.8	下	2.4	68.5
中	3.5	79.5	10. 上	2.2	70.9

表4 カキ園における土面蒸発量

月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)
6. 上	2.5	69.4	8. 中	3.5	53.8
中	2.6	57.8	下	3.1	53.4
下	2.3	54.8	9. 上	2.6	53.1
7. 上	2.4	51.1	中	2.1	52.5
中	2.8	50.9	下	2.0	51.3
下	3.7	55.2	10. 上	1.9	50.0
8. 上	4.2	52.5	中	1.7	53.1

表5 モモ園における土面蒸発量

月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)	月・旬	土面蒸発量 (mm/日)	土面蒸発量 蒸発散量 (%)
5. 下	2.9	74.3	7. 下	3.6	52.4
6. 上	2.6	64.2	8. 上	3.7	52.3
中	2.8	61.7	中	3.6	52.6
下	2.8	55.3	下	3.2	52.3
7. 上	2.7	48.5	9. 上	2.8	54.9
中	3.3	50.8			

土面蒸発量が最も多かったのは、8月上旬の1日当たり4.0mmであった。時期別にみると5、6月は1日2.8mm、7月3.3mm、8月3.7mm、9月2.8mm、10月2.2mmで、落葉始の10月が最も少なかった。なお、この時期別推移は、蒸発計蒸発量のそれとはほぼ同じ傾向を示した。測定期間内の全土面蒸発量は491mmである。また、土壌水分が少ない状態（圃場容水量の約60%）で測定した土面蒸発量は、同じ測定期間内で286mmであった。

○カキ園における土面蒸発量：カキ園では6月上旬から10月中旬までの間測定した。各測定日における土壌水分は、pF 1.4~2.0、平均1.7（地下5cmの深さ）で、比較的多水分であった。土面蒸発量は8月上旬の1日当たり4.2mmが最も多く、10月中旬の1.7mmが最少であった（第4表）。時

期別推移は、蒸発計蒸発量のそれとおおむね同じ傾向である。測定期間内の全土面蒸発量は379mmとなった。

○モモ園における土面蒸発量：7月下旬と8月上旬以外はかん水を行なわなかったため、概して圃場容水量の約50%に相当する少水分状態で測定した。その結果は第5表のとおりで、8月上旬が最も多く1日当たり3.7mm（測定時の土壌水分は圃場容水量からその70%までの間）を示し、最少は6月上旬の2.6mmであった。測定期間中の全土面蒸発量は349mmとなった。

(2) 土面蒸発量の蒸発散量に対する比率

各果樹園における生育時期別土面蒸発量の蒸発散量(E_T)に対する比率(E_s/E_T×100%)は、第1~5表に表わしたとおりである。これを普通作物の場合とも比較検討するため、第1図に時期別

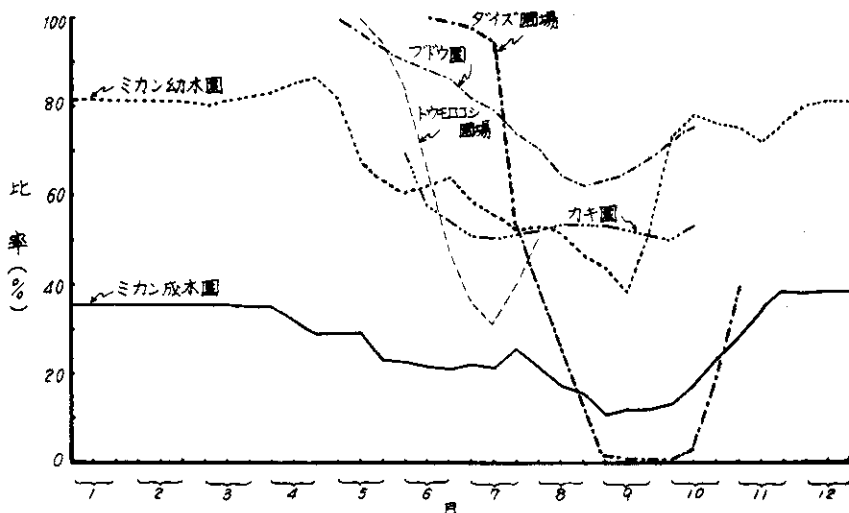


図1 蒸発散量に対する土面蒸発量の比率の生育時期別推移

推移として表わした。

ブドウ園では、萌芽始の5月上旬はその比率が100%に近く、以後漸減して8月下旬に最小(62.2%)となった。それ以後は再び値が大きくなり、10月上旬には70.9%を示した。5月から10月までの間の平均は78.5%である。

ミカンの幼木園では、4月下旬が最も大きい値を示し(86.3%)、9月中旬が最も小さかった(38.1%)。年間を平均すると、蒸発散量の70.4%が土面蒸発によって失われた。これに対し、成木園では、11月下旬～3月下旬に大きい値を示したが、その比率は35.0～38.5%で、幼木園にくらべると低い。比率が最も小さい時期は9月上旬で、10.8%であった。年間平均は27.6%で、供試した果樹のうちでは最も小さい値を示した。

この他、モモ園では最大74.3%、最小48.5%、5月～9月の間の平均は56.3%、カキ園では最大69.4%、最小50.0%、6月～10月の間の平均は54.2%であった。

これらは、普通作物の大豆(生育期間の平均35.6%)圃場における結果とくらべると、一般に大きい値である。とくに、夏季、土面蒸発量が最も多くなる時期に、大豆圃場ではその比率が0になるのにくらべ、果樹園では、蒸発散量の50%以上が土面蒸発によって失われている。すなわち、無効損失が大である。従来から、果樹園ではかんがいを行なうよりも、敷ワラ等によって水分利用域の拡大や水分保持を図ることが、水分経済の面からみて合理的であるといわれていた。このことは、以上のような土面蒸発による水分損失の実態からみれば、まさに当を得たものといえるであろう。

2) 土面蒸発量に影響をおよぼす諸要因

(1) 土面蒸発量と気象条件との関係

第6表は、気象条件として日射量、気温、飽差、およびこれらの総合的指標としての蒸発計蒸発量と、ミカン幼木園における土面蒸発量との相関を表わしたものである。年間を2時期に分けた場合、10～3月の秋冬季においては、各気象要因と土面

蒸発量との関係はきわめて密接で、両者の間には高い相関係数が求められた。蒸発のための熱源は日射に依存していることを考えれば、これとの相関が高いことは当然であろう。また、飽差との相関が高いことは、水蒸気の湧源面である地表面と大気中との湿度傾度が、飽差が大きいほど大となって、水蒸気輸送が盛んになるためと考えられる。なお、4月～9月の期間は各要因との相関が低かった。これは、測定時の土壌水分が一定でなかったことなどが関係したためと考えられる。

第2図は、モモ園における土面蒸発量と蒸発計蒸発量との関係を表わしたものである。相関係数は+0.820ときわめて高く、これはミカン園の場合と同様である。土面からの蒸発も水面からの蒸発も同じく水の気化現象であって、等しく気象条件に影響されることが大きい。したがって、両者の関係はきわめて密接であることは、既往の成績からも明らかである。

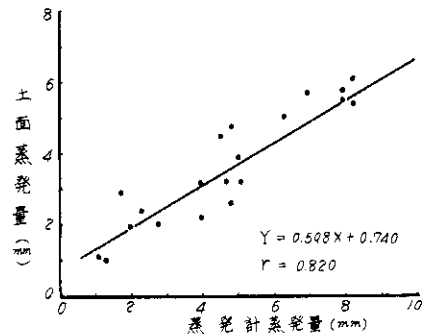


図2 モモ園における蒸発計蒸発量と土面蒸発量との関係

(2) 土面蒸発量と土壌水分との関係

武豊の鉾質土壌畑で、土壌水分の減少に伴う土面蒸発量の変化を測定した。その結果は第3図のとおりであった。なお、土面蒸発量は蒸発計蒸発量に対する比、すなわち蒸発比で表わして、一定気象条件下の値に換算した。また、対応させる土壌水分は、表面から5cmの深さまでの水分(表面土壌水分、含水比)を用いた。試験圃場の土壌水分特性は、表層(0～25cm)の24時間容水量が16

表6 ミカン幼木園の土面蒸発量と気象要因との相関係数

要因 期間	日 射 量	飽 差	気 温	蒸 発 計 蒸 発 量
4月～9月	0.346	0.469	0.032	0.215
10月～3月	0.713	0.969	0.929	0.954
全 期 間	0.420	0.560	0.833	0.376

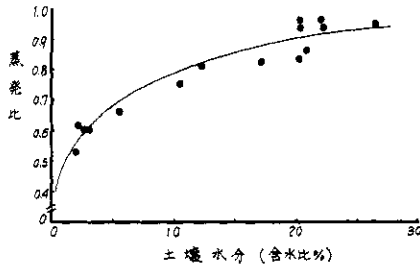


図3 土壌水分(含水比)と蒸発比(E_s/E_w)との関係

％(含水比), pF 4.0で11%であった。また, 下層(25 cm~50 cm)の24時間含水量は30%, pF 4.0で25%であった。

第3図から, 表面土壌水分が20%以上あって表面が一様に湿っている状態では, 蒸発比は0.9~0.95と, ほぼ1に近い値を示すことがうかがわれる。しかし, 表面土壌水分が減少するのに伴って蒸発比は低下し, 10%以下の水分になると, その傾向は特に著しい。ところが, この過程において, 深さ5 cm以下の層の水分変化は, 第4図のようにきわめて少なく, 15 cm以下では経日変化はほとんどみられなかった。このことは, 土面蒸発量と関係の深い土壌水分はごく表層の水分であって, 下層の水分はこれにほとんど関与しないことを示している。つまり, 武豊の土壤では, 乾燥に伴ってクラストが形成され, これがセルフマルチングの役目を持つようになるためであろう。したがって, 表層を耕起するなどしてクラストを破壊すれば, 下層の土壌水分も減少し, 蒸発比との相関も高くなるものと推察される。

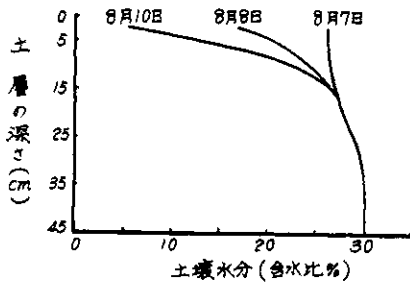


図4 深さ別土壌水分の経日変化

(3) 土面蒸発量と葉面積指数との関係

作物栽培圃場では, 葉面積の増大に伴って地面の庇蔭度が大きくなり, 日射到達量が少なくなる。

これと土面蒸発量との関係を見るため, まず, トウモロコシ圃場における蒸発比と葉面積指数(L. A. I)との関係を第5図に表わして検討した。その結果, 蒸発比はL. A. Iの増大に伴って低下し, その傾向は直線的ではなく, 指数曲線として表わされることがみとめられた。そうしてL. A. Iが3付近までの間は蒸発比の低下は急であるが, 3以上では, その低下は比較的緩やかとなった。ちなみに, このような変換点は, 葉によってほぼ地面が全面庇蔭されたときであった。

第6図は, ブドウ園における同様の関係を表わしたものである。ただし, この例では蒸発比の代りに土面蒸発量の蒸発数に対する比率(E_s/E_T %)を用いた。図からL. A. Iの増大に伴って比率が低下する傾向は, 先のトウモロコシ圃場における蒸発比の例と軌を一にすることがうかがわれる。

なお, 供試したブドウ園のL. A. Iは最大が2であった。この他の供試果樹もその最大L. A. Iは小さく, 30年生ミカンでも3であった。これはトウモロコシ, 大豆(8.3)などの普通作物にくら

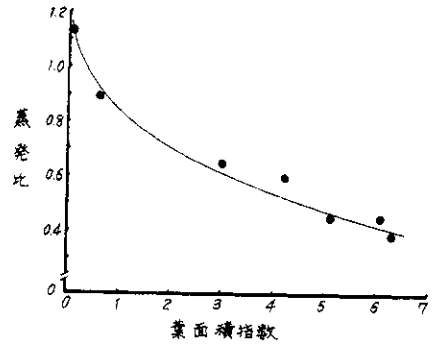


図5 トウモロコシ圃場における葉面積指数と蒸発比(E_s/E_w)との関係

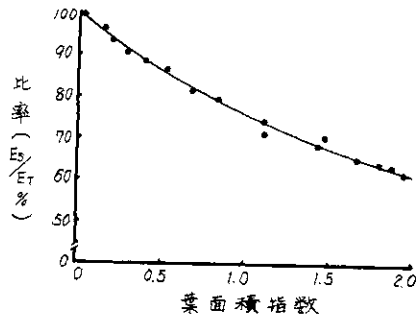


図6 ブドウ園における葉面積指数と土面蒸発量の蒸発数に対する比率(E_s/E_T %)との関係

べると、いずれも小さい値である。先に明らかにしたように、果樹園における土面蒸発量に対する比率が大きかったのは、このようなL.A.I が小さいことが大きな原因をなしているといえるであろう。

3) 土面被覆による蒸発抑制と草生栽培による水分損失

(1) 敷ワラによる蒸発抑制

腐植質火山灰土壌のモモ園で、敷ワラを行なった場合の土面蒸発量を、清耕区のそれと比較した。結果は第7表のとおりで、清耕区の土面蒸発量を100とした場合、敷ワラ区のそれは19.6～40.2%、平均27%であった。蒸発の抑制度を

$$\frac{\text{清耕区の蒸発量} - \text{敷ワラ区の蒸発量}}{\text{清耕区の蒸発量}} \times 100(\%)$$

として表わすと、80.4～59.8%、平均73%と高い値を示した。なお、土壤水分率の高い場合、概して抑制程度が高いようであった。

(2) 発泡スチロール被覆による蒸発抑制

第7図は、発泡スチロールで被覆した場合と裸地との蒸発比の経日推移を表わしたものである。測定前に両区とも30mmのかん水を行ない、1日

後に1区を被覆した。その結果、被覆処理翌日(かん水後2日)の裸地区の蒸発比は0.72を示したのに対し、被覆区のそれは0.34(47.2%)に急減した。抑制率は52.7%である。処理後2日には抑制率は49.3%とわずかに低くなった。これは、裸地区の土壤水分が減少したことにより蒸発比が小さくなったのに対し、被覆区は処理翌日とほぼ同じ蒸発比であったためである。

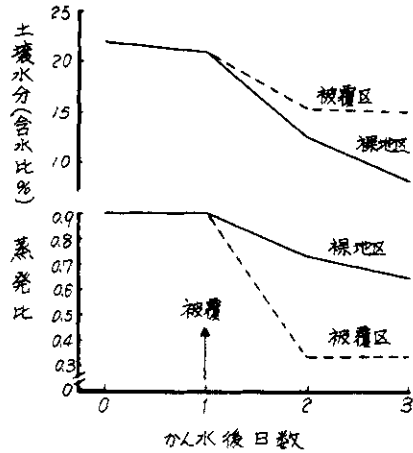


図7 発泡スチロール被覆による蒸発比 (Es/Ew)・土壤水分の経日推移

表7 清耕・敷ワラ処理と土面蒸発量

項目 測定月・日	日蒸発量 (mm/日)		敷ワラ区 清耕区 (%)	土壤水分率 (%)	
	清耕区	敷ワラ区		清耕区	敷ワラ区
7. 7	0.92	0.37	40.2		
9	1.55	0.31	20.0	56.0	62.0
8. 15	0.46	0.09	19.6		
17	0.35	0.10	28.6	40.0	49.0
9. 27	1.09	0.35	32.1		
28	0.91	0.19	20.9	51.0	56.0

(3) 石油樹脂、寒冷紗被覆による蒸発抑制

石油樹脂と寒冷紗で地面(武豊の鈹質土壌畑、裸地)を被覆した場合の蒸発量は第8表のとおりであった。各区とも被覆した後24mmのかん水を行ない、以後5日間連続して測定した。測定期間中の平均1日当たり蒸発量は、裸地区が1.8mmであったのに対し石油樹脂被覆区は1.4mm(77.8%)、寒冷紗被覆区は1.6mm(88.9%)といずれも少なかった。抑制率は平均22.2%、11.1%、最

大は29.4%、22.7%であった。

蒸発比の経日推移は第8図のとおりで、かん水後1日(測定開始日)には裸地区は0.94%と、ほぼ蒸発計蒸発量に近い値を示した。以後経日的に漸減し、5日後には0.67となった。これに対し石油樹脂被覆区はかん水後1日目が0.67で、5日後は0.48に低下した。両区ともかん水後1日を100とすると、5日後は71%と72%となり、ほぼ等しい値を示した。他方、寒冷紗被覆区はかん水後2

日までは裸地区と等しく、3日以降その値が低下した。当初を100とすると5日後は54.8%となり、経日的に蒸発比が低下する割合は、この区が最も大であった。

石油樹脂被覆の効果については、これまで、プラスチックフィルムに劣らない水分保持力のあることが報告されている。これにくらべると本試験では蒸発抑制の程度が低かった。これは、供試材料(200ℓドラム缶入り)が入手後4年を経過し、沈澱があったのをじゅうぶん攪拌できないまま使用したためと考えられる。

(4) 草生栽培による水分損失

腐植質火山灰土壌のモモ園で、青刈大豆草生区、雑草草生区について、土面蒸発と草生植物の蒸散とによる水分消費量を測定し、これを清耕栽

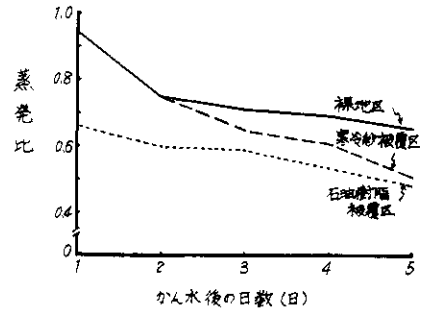


図8 寒冷紗・石油樹脂被覆による蒸発比 (Es/Ew)の経日推移

培区の水分消費量と比較検討した。その結果は第9表のとおりである。清耕区に対する青刈大豆、雑草草生区の蒸発散量の比率(%)は、全測定日を平

表8 寒冷紗・石油樹脂被覆区の土面蒸発量

区名 月・日	裸地区		寒冷紗被覆区		石油樹脂被覆区		蒸発計蒸発量 (mm)
	蒸発量(mm)	比率(%)	蒸発量(mm)	比率(%)	蒸発量(mm)	比率(%)	
1. 15	1.7	100.0	1.7	100.0	1.2	70.6	1.8
16	1.5	100.0	1.5	100.0	1.2	80.0	2.0
17	1.8	100.0	1.7	94.4	1.4	77.8	2.6
18	1.9	100.0	1.6	78.9	1.5	78.9	2.6
19	2.2	100.0	1.7	77.3	1.6	72.7	3.3

表9 草生園の蒸発散量

項目 測定月・日	日蒸発散量 (mm/日)			青刈大豆 清耕(%)	雑草 清耕(%)
	清耕区	青刈大豆草生区	雑草草生区		
7. 7	0.92	0.75	0.75	81.5	81.5
9	1.55	1.04	1.02	67.1	65.8
14	0.57		0.77		135.1
15	0.79		0.99		125.3
8. 8	0.96		1.25		130.2
9	1.33		2.25		169.2
15	0.46	1.47	1.36	319.6	295.6
17	0.35	1.47	1.47	420.0	420.0
9. 10	0.41		0.52		126.8
13	0.27		0.42		155.6
27	1.09	1.43	2.01	131.2	184.4
28	0.91	0.83	1.40	91.2	153.8

注 蒸発散量の中に果樹の蒸散量は含まない。

均すると185%, 170%となり、いずれも大きい値を示す。特に、8月17日には両区とも420%というきわめて大きい値であった。

一定土地面積に与えられる太陽の放射エネルギーは、清耕栽培区も草生栽培区も等しい。したがって、土壤中での水または水蒸気の移動拡散がスムーズに行なわれる条件下では、蒸発散による水分消費量は両区等しくなるのが普通である。しかし、土面蒸発のみによる消費は土壤水分の減少に伴って少なくなり、特に、表層水分の減少によるセルフマルチングの形成によって蒸発が抑制される。これに対し、草生栽培区は比較的下層の水分も消費し、かつ、土壤水分が利用容易な有効水分の範囲にある間は、水分が減少しても蒸散量はほとんど低下しない特性がある。このようなことが相関連して、草生栽培区の蒸発散量が清耕栽培区のそれを大きく上廻ったものと考えられる。したがって、干ばつ時における水の有効利用という面からすれば、草生栽培は不利であるといえよう。

4) 土面被覆による熱伝達量の変化

(1) 寒冷紗、黒ポリエチレンフィルム被覆による熱伝達量の変化

武豊の鉱質土壌畑(ビニールハウス内)で含水比が5~8%の時、地面を黒寒冷紗(#600 2重)と黒ポリフィルム(0.03mm)で被覆し、マルチ下の熱伝達量を測定した。その結果は第10表のとおりで、これを熱が下方に向う期間と上方に向う期間とに分けると、およそ次のとおりであった。

イ. 熱が下方に向う期間

地上25cmにおける熱伝達量(純放射量)は裸地区にくらべ黒ポリ被覆区は16%, 寒冷紗被覆区は8%大であった。上方からの放射量は同じと考えれば、この差は地表から上方へ向う熱量の相違によるものと推察される。すなわち、被覆物の表面から、およびこれを通して上向きに流れる熱量は、裸地区のそれよりも少なかったことになる。

地下2cmの位置における伝達量は、裸地区のそれを100とすると、黒ポリ被覆区は72.1%, 寒冷

表10 土面被覆物の種類を異にした場合の熱伝達量

(単位 cal/cm²・min)

期 間	測 定 場 所	区 名		
		裸 地 区	黒ポリフィルム被覆区	寒冷紗被覆区
熱が下方に向う期間	地上 25 cm	0.190	0.222	0.206
	地下 2 cm	0.079	0.057	0.059
	地下 10 cm	0.014	0.026	
熱が上方に向う期間	地上 25 cm	0.040	0.034	0.040
	地下 2 cm	0.043	0.027	0.023
	地下 10 cm	0.014	0.015	

紗被覆区74.7%といずれも少なかった。

ロ. 熱が上方に向う期間

地上25cmの位置における伝達量は、黒ポリ被覆区が他の2区にくらべ少なかった。

地下2cmにおける熱量は裸地区が最も多く、

これを100とすると、黒ポリ被覆区は62.8%, 寒冷紗被覆区は53.5%であった。また、裸地区は地下2cmと地上25cmの位置における伝達量がほぼ等しかったのに対し、被覆区は地下2cmの伝達量よりも地上25cmにおける伝達量の方が多かった。

以上の関係を相対的に第9図に表わした。これは熱が下方に向って伝達されるとき裸地上25

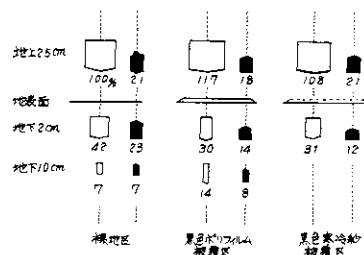


図9 被覆物の種類を異にした場合の地上・地中における熱流量(相対値)

cmにおける値を100とした場合の、各区各地点における伝達量を比率で示したものである。なお含水率が6.3%のときの地中熱伝達率は0.00336 cal/cm・°C・sec, 5.5%では0.00311 cal/cm・°C・sec という値が求められた。元来、このような熱の流れは、土壌の3相割合の相違に応じて変化するものであるから、被覆による土壌水分の変化と関連して、さらに長時間測定することが必要と考えられる。

(2) 顕熱, 潜熱伝達量およびボーエン比

イ. chamber 入口と出口におけるエンタルピーの差

第8表に表わした石油樹脂, 寒冷紗被覆による蒸発量の相違を測定した際の, chamber 入口・出口における温度・湿度から, chamber 内を通過する湿り空気のエントルピーを求めた。なお, エントルピーの計算は次式によった。

$$i = C_{p_a} t + x(C_{p_w} t + l)$$

i …… エンタルピー (Kcal/kg)
 C_{p_a} …… 乾燥空気の定圧比熱 (0.240 Kcal/kg・°C)
 C_{p_w} …… 水蒸気の定圧比熱 (0.441 Kcal/kg・°C)
 l …… 蒸発のための潜熱 (597.3 Kcal/kg)
 t …… 気温 (°C)
 x …… 湿り空気 1 kg 中の水蒸気量 (kg/kg)

また, 通気量の容量 (m³) から重量への換算には次式を用いた。

$$r = 0.13177 \times \frac{273.16}{273.16 + t} \times \frac{p}{760} \times 9.80665$$

r …… 空気密度 (kg/m³)

全エンタルピー, 顕熱および潜熱の chamber 入口と出口とにおける差 (日中 9 時間の平均) は第11表のとおりであった。各区とも chamber 出口におけるエンタルピーは入口のそれに比べて増加したことがうかがわれる。これを5日間の平均増加量と比較すると, 裸地区が2.079 Kcal/kg で, 寒冷紗被覆区2.188 Kcal/kg, 石油樹脂被覆区1.872 Kcal/kg となり, 裸地区を100とすると, 105.2%, 90.0%であった。

つぎに潜熱の増加量についてみると, 各区とも増加していることがみとめられるが, 裸地区に比べ被覆区はいずれもその増加の程度が小さい。これは, 被覆によって土面蒸発量が抑制されたことから, 当然の帰結といえよう。反対に, 顕熱の増加分は, 被覆区は裸地区に比べ, いずれも大であった。すなわち, 裸地区の増加量 0.747 Kcal/kg を100とすると, 寒冷紗被覆区は124.4%, 石油樹脂被覆区は115.7% (いずれも5日間の平均) となった。その結果として, chamber 出口の温度は入口のそれに比べ, 裸地区 2.7°C, 寒冷紗被覆区 3.5°C, 石油樹脂被覆区は 3.0°C 上昇し, 被覆区の温度差 (入口と出口) が大となった。なお, 被覆区は絶対湿度の増加量が少なく, 反対に空気温度の上昇が大であったことから, chamber 出口における比湿は, 裸地区にくらべ被覆区がいずれも低い値を示した。

表 11 土面被覆物の種類を異にした場合の地上空気のエントルピー増加量

項目 区名 月・日	chamber 出口・入口 の温度差 (°C)			全エンタルピー増加量 (Kcal/kg)			顕熱増加量 (Kcal/kg)			潜熱増加量 (Kcal/kg)		
	裸地区	寒冷紗 被覆区	石油樹脂 被覆区	裸地区	寒冷紗 被覆区	石油樹脂 被覆区	裸地区	寒冷紗 被覆区	石油樹脂 被覆区	裸地区	寒冷紗 被覆区	石油樹脂 被覆区
1. 15	3.0	3.2	3.1	2.039	2.251	1.760	0.865	0.921	0.893	1.174	1.330	0.867
16	2.5	2.9	2.8	1.775	1.920	1.621	0.722	0.836	0.808	1.053	1.084	0.813
17	3.0	3.7	3.4	2.402	2.379	2.072	0.862	1.061	0.977	1.540	1.318	1.095
18	2.5	3.0	2.8	2.106	2.170	1.952	0.708	0.988	0.848	1.398	1.182	1.104
19	2.5	3.5	3.0	2.078	2.219	1.947	0.580	0.837	0.783	1.498	1.382	1.164
平均	2.7	3.3	3.0	2.079	2.188	1.872	0.747	0.929	0.864	1.332	1.259	1.008

備考 1. 日中 9 時間の平均
 2. 増加量 = chamber 出口 - chamber 入口

他方、日射の少ない早朝、夕刻や、日射のない夜間における chamber 入口、出口の温度差を測定した結果の 1 例は、第 12 表のとおりであった。この場合は、各区とも出口の気温が入口よりも低くなっている。また、その温度差は土面蒸発量の少ない被覆区の方が大であった。潜熱消費量は、蒸発量の少ない被覆区が少ないことは当然である。ところが、この期間は蒸発の潜熱を日射に依存することができず、顕熱と地中からの熱量を熱源として利用したと考えられる。しかるに、土面を被覆したことによって地中からの熱の利用が抑制されたため、顕熱を利用する割合が、裸地区に比べ被覆区は大となり、その結果として気温が裸地区よりも低下したと推察される。ちなみに、各区の蒸発の熱源のうち、顕熱を利用した割合は、裸地区が 35.5%、寒冷紗被覆区 62.6%、石油樹脂被覆区 86.0% であった。

以上を要約すると、土面被覆によって蒸発量が抑制された結果、日中は気温が裸地区よりも高くなる。反対に、夜間は裸地区よりも低くなり、1 日の気温較差が大となった。1 例としてあげるならば、1 月 19 日 (第 11 表) の気温較差は、裸地区が 7.7°C であったのに対し、寒冷紗被覆区は 13.3°C、石油樹脂被覆区は 14.2°C であった。

ロ. ポーエン比

chamber 入口から出口に向って伝達される顕熱量の潜熱量に対する比、すなわちポーエン比を次式によって計算した。

$$B = 0.5 \frac{t_2 - t_1}{e_2 - e_1}$$

B …………… ポーエン比

t_2, t_1 …………… chamber 出口、入口における空気温度 (°C)

e_2, e_1 …………… chamber 出口、入口における水蒸気張力 (mm Hg)

また、全エンタルピーの chamber 出口における増加分を顕熱と潜熱とに分け、前者の後者に対する比 (エンタルピー比、 B') を求めた。

$$B' = \frac{d_{ia}}{d_{iw}} \quad (\text{エンタルピー比})$$

d_{ia} …………… chamber 出口における顕熱増加分 (Kcal/kg)

d_{iw} …………… chamber 出口における潜熱増加分 (Kcal/kg)

ポーエン比の経日変化は第 10 図のとおりであった。裸地区は 0.70 ~ 0.51 の範囲で経過し、5 日間を平均すると 0.622 であった。これに対し、石油樹脂被覆区は 1.06 ~ 0.77、平均 0.915、寒冷紗被

表 12 6 時 ~ 6 時 30 分間の chamber 出口・入口における温度差

区 名 \ 項 目	温度差 (°C)	蒸 発 量 (g/30min)	蒸発の潜熱 (Kcal/30min)	顕熱減少分 (Kcal/30min)	顕熱以外からの蒸発熱量 (Kcal/30min)	同左比率 (%)
裸 地 区	-0.6	5.12	3.058	1.085	1.973	100.0
寒 冷 紗 被 覆 区	-0.9	4.38	2.616	1.638	0.978	49.6
エンキャップ被覆区	-1.0	3.54	2.114	1.818	0.296	15.0

備考 測定は 1 月 15 日
温度差は出口 - 入口

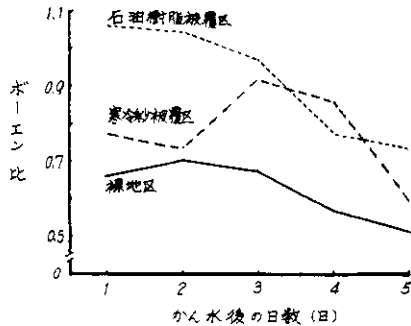


図 10 土面を被覆した場合のポーエン比の経日推移

覆区は 0.91 ~ 0.59、平均 0.774 といずれも裸地区より高い値を示した。土面蒸発量の多い区、あるいは多い日ほどポーエン比は小さい値を示すことは、前述の計算式からすれば、けだし当然のことといえよう。

他方、エンタルピー比は第 13 表にあらわしたとおりで、各区の 5 日間の平均は、裸地区が 0.609、石油樹脂被覆区 0.872、寒冷紗被覆区は 0.741 で、被覆区はいずれも高い値を示した。なお、ポーエン比とエンタルピー比とを比べると、後者が約 2

表 13 エンタルピーから求めた顕熱伝達量の
潜熱伝達量に対する比

区名 月・日	裸地区	寒冷紗 被覆区	石油樹脂 被覆区
1. 15	0.732	0.692	1.021
16	0.861	0.771	1.006
17	0.559	0.804	0.892
18	0.506	0.835	0.768
19	0.387	0.603	0.672
平均	0.609	0.741	0.872

低い値となった。しかし、この差は蒸発の潜熱を温度補正することによってさらに小さくなるので、両者はほぼ一致するとみてよいであろう。

ボーエン比、エンタルピー比は温度と水分の2要因を熱量として統一した単位で表わすことができるので、マルチ等を行なった場合の熱の流れを検討するのに適切である。ただ、熱量の絶対量を求めるには、ボーエン比の場合は、熱、水蒸気の伝達速度（渦動拡散係数）を用いること、あるいは、地表面の熱収支計算という繁雑な測定、解析が必要である。これに対し、エンタルピー計算によるものは、通気量の正確な測定が必要である。chamber法では、これは容易であるので、熱収支法に比べると数少ない要因の測定で、熱輸送量の絶対量を求められるという利点がある。

4. 摘 要

1. 果樹園における土面蒸発量は、夏季1日当たり4.2mm（9年生カキ園）が計測された。また、蒸発散量に対する土面蒸発量の割合は、年間生育シーズンを平均すると、ブドウ園では78.5%、ミカン幼木園70.4%、カキ園54.2%、モモ園56.3%であった。これは、大豆など普通作物に比べると大きい値で、果樹園では、蒸散による水分消費以外の無効損失がきわめて大きいことが明らかになった。

2. 土面蒸発量と気象条件（日射量、飽差およびこれらの総合指標としての蒸発計蒸発量）、土壌水分（特に表面土壌水分）との間には、きわめて密接な正の相関関係がみとめられた。また、葉面積指数とも高い負の相関がみとめられた。このことから、果樹園における土面蒸発量の蒸発散量に対する割合が大きいのは、一般に葉面積指数が小さいことが主因の1つと推定された。

3. 土面をワラ、発泡スチロール、石油樹脂および寒冷紗で被覆することによって、蒸発による無効損失を80.4%、52.7%、29.4%、22.7%それぞれ抑制することができた。

他方、草生栽培は、清耕栽培に比べ水分損失が大きく、平均170～185%、最大420%という、きわめて大きい損失量が計測された。

4. 土面被覆によって日中、潜熱消費量が少なくなった分、顕熱が増加し、気温が上昇した。また、夜間等の日射量が無いか、きわめて少ない時間には、蒸発の熱源は顕熱と地中からの熱に依存する。この際、被覆区は地中熱よりも顕熱を利用する割合が高く、そのため気温は裸地区よりも低くなり、1日の気温較差が大となった。

ボーエン比、エンタルピー比は、いずれも被覆区が大きい値を示した。また、両者はほぼ一致した。なお、熱輸送量の絶対値は、chamber法で、エンタルピー計算によって正確かつ容易に求められた。

参 考 文 献

1. KATO, I., Y. NAITO, R. TANIGUCHI and F. KAMOTA 1960. Studies on the method of measuring amount of evapotranspiration. 1. A method by measuring humidity using transpiration chambers. Proc. Crop. Sci. Japan. XXVIII (3): 286-288.
2. LIPPERT, L. F., F. H. TAKATORI and F. L. WHITING 1964. Soil moisture under bands of petroleum and polyethylene mulches. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 85: 541-546.
3. 森田義彦・板倉勉・岩田正利 1952. 果樹園土壌管理法と根の発達との関係, 園学雑21(3): 129-145.
4. 内藤文男 1969. 作物の蒸散量および蒸発散量に関する研究, 東海近畿農試研報, 18: 49-151.
5. 農林水産技術会議事務局 1965. 耕地の蒸発散, 技術会議調査資料40.
6. ——— 1968. 土壌物理, 技術会議調査資料54.