

報 文

有底枠における数種畑作物の水分消費特性

竹内晴信・宮脇 忠\*

Water Consumption Properties of Some Upland Field Crops Estimated from the Decrease in Soil Water Content in a Lysimeter

Harunobu Takeuchi, Tadashi Miyawaki  
Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station  
(Yayoi 52, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 JAPAN)

Summary

Water consumption of spring wheat, potatoes, sugar beet, and onions grown in a lysimeter placed inside of a green house was measured using the change of soil water content profiles.

The results obtained were summarized as follows :

- 1) Water consumption per day of each crop gradually increased with crop growth up to August. The increases of water consumption pattern and their volume, however, were different among these crops. Spring wheat showed the largest water consumption, and it reached  $12\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$  on July. An irrigation after water stress increased water consumption of potatoes.
- 2) Total water consumption from initial stage to August showed following order : spring wheat > sugar beet  $\approx$  potatoes > onions. Water consumption of potatoes grown in Volcanic ash soil was about 10% more than that grown in Brown forest soil. There were no differences in water consumption between the wet and dry soil water treatments.
- 3) Soil chemical properties influenced dry matter production of crop and top-root ratio. And it is considered that increase of top-root ratio increased evapotranspiration. That may be one of important factors to explain the difference in total water consumption through the grown period and Apparent Water Requirement (defined as amount of water consumed to produce unit dry weight) between soils.
- 4) Apparent Water Requirement was higher in the dry treatment than the wet one. Therefore this suggests that the crops wasted water in the dry treatment.

**Key words :** Lysimeter experiment, Water consumption, Apparent Water Requirement, Soil water conditions

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70, 3-12, 1994)

1. はじめに

作物の蒸発散に伴う水分消費量を把握することは、作物に対する適切な水分管理を行なう上で欠くことのできない情報である。蒸発散量を把握することを目的に、従来から多くの研究者によってその測定や、理論的推定法の確立が試みられてきた (Hillel, 1984; 矢野, 1989; 高瀬・佐藤, 1989; 大槻, 1989)。その結果、蒸発散量

は一般的な気象条件のほかに作物や土壌の水分条件などによって大きな影響を受けることが明らかにされている。例えば、蒸散速度には作物間差異が見られること (内藤, 1969)、土壌水分がある値を超えて減少すると蒸散量は急激な低下を示し、その時点の土壌水分には作物間差異があること (鴨田ら, 1974)、作物の葉面積指数が3程度までは蒸散量は葉面積指数と密接な関連を示すが、そ

北海道立北見農業試験場 (099-14 北海道常呂郡訓子府町字弥生52) \*現在北海道立中央農業試験場

キーワード: ラインメータ試験, 水分消費量, 見かけの要水量, 土壌水分条件

れ以上になると特に日射量に影響されやすくなること(内藤, 1969)などがあげられる。

一方、農業現場では、大規模な畑作地帯においても圃場の適切な水分管理を行おうとする方向にある。将来的には個別の圃場毎に、土壌、気象、作物とその生育ステージなどから簡易に圃場の土壌水分状態を予測する技術の実用化が期待されるが、その場合に作物の水分消費量を把握することが前提となる。このためには本来それぞれの環境条件に応じて、作物の群落状態での蒸発散量実測値あるいは信頼できる予測値を得なければならない。これまで北海道で作物の水分消費量を測定した例として、北村・今(1970)がチャンパー法を用いて数種畑作物を比較したものや、小林(1992)が十勝のテンサイ畑において熱収支法で算定した例などがある。しかしこれら測定例が土壌の違いや水分条件、あるいは作物の生育にどう影響されているかなどについては必ずしも明らかでない。

このような背景から本試験では、土壌、気象を同一にした枠条件において、北海道東部の畑地で広く作付けさ

れている春コムギ、バレイショ、テンサイ、タマネギの水分消費量の比較と時期的な変化について明らかにし、さらに土壌条件や作物の乾物生産量と水分消費量の関連について検討したので報告する。

## 2. 試験方法

### 1) 有底枠の概要と供試土壌

道立北見農業試験場内の雨よけ試験室内に設置されたコンクリート製有底枠(幅1.5m×2.0m×深さ1.5m、以下、有底枠とする。図-1)の底部に砂利層を約0.3m置き、その上に未耕地で採取した褐色森林土および黒ボク土の表土を充填した。充填後の土壌の容積重、孔隙量、透水係数、およびpH、有効態リン酸含量、リン酸吸収係数、熱水抽出性窒素含量を常法(土壌標準分析・測定法, 1986; 北海道立中央農試, 1992)により分析し、表-1, 2に示した。なお透水係数の測定は100mlコアを用い、飽和状態での測定を行った後、 $-3.12\text{kPa}$ 以下の重力水を除き温風蒸発法(Arya et al., 1975)により不飽和透水係数を求めた。また1990年は施肥前と収穫

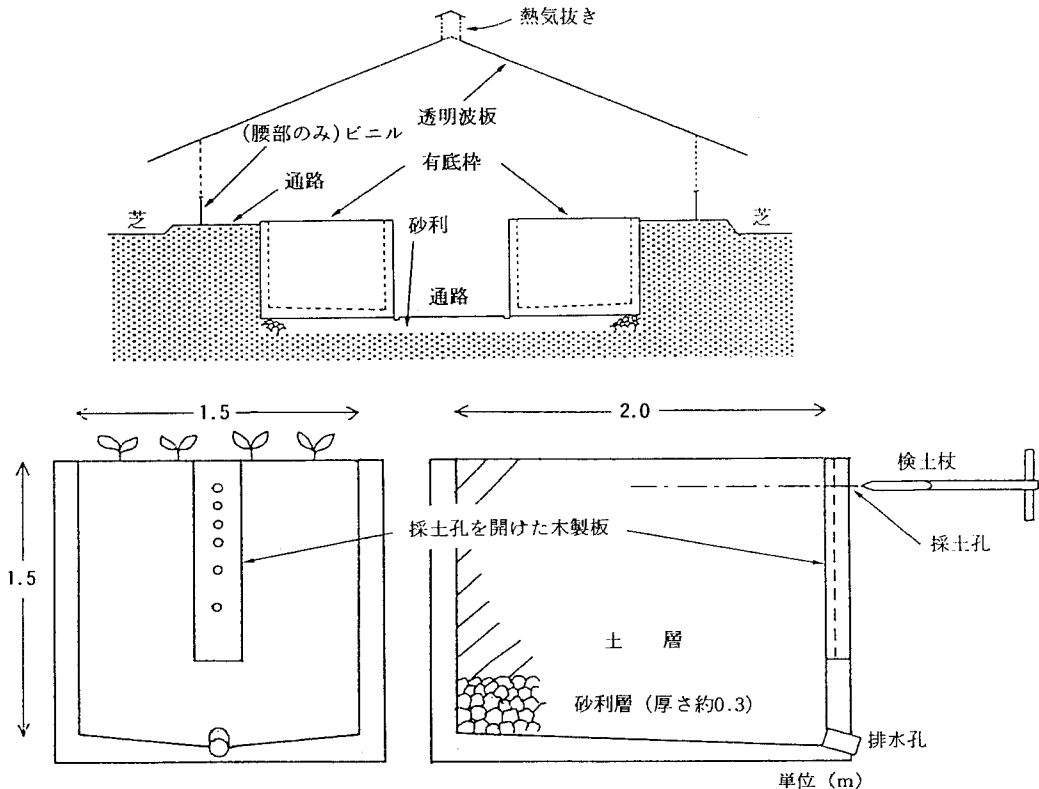


図-1 試験で用いた有底枠の概要と設置状況

Fig. 1 Scheme of the lysimeter and outline of the greenhouse used for experiment

## 報文：有底枠における数種畑作物の水分消費特性

後に表層部（0～0.2m）の土壤中無機態窒素濃度を常法（同前）により測定した（表-9）。

## 2) 供試作物

上記有底枠に、1989年は春コムギ、バレイシヨ、テンサイ、タマネギを、1990年はバレイシヨのみを栽植した。

表-1 有底枠充填土壌の物理性

Table 1 Physical properties of the soils filled in the lysimeter

土層 深さ 層 (m)	容積重 (kg m <sup>-3</sup> )	全孔隙 率 (10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	有効 孔隙量 (10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	透水係数(m s <sup>-1</sup> )		
				飽和	不飽和(kPa時)	
0~0.1	912	64.3	21.4			
褐色 0.1~0.2	892	66.4	15.5	5X10 <sup>-5</sup>	1X10 <sup>-6</sup>	1X10 <sup>-8</sup>
0.2~0.3	1105	57.2	16.3			
森林 0.3~0.4	1094	58.1	15.7	1X10 <sup>-4</sup>	4X10 <sup>-7</sup>	1X10 <sup>-9</sup>
0.4~0.5	1040	59.5	17.7			
土 0.5~0.7	1099	57.5	17.8			
0.7~0.9	1161	56.2	17.3			
0~0.1	749	71.2	24.0	4X10 <sup>-5</sup>	2X10 <sup>-6</sup>	2X10 <sup>-8</sup>
黒 0.1~0.2	755	73.7	21.6			
ボ 0.2~0.3	636	74.8	19.6	5X10 <sup>-5</sup>	5X10 <sup>-8</sup>	8X10 <sup>-11</sup>
ク 0.3~0.4	640	76.2	19.7			
土 0.4~0.5	647	75.0	19.3	3X10 <sup>-5</sup>	3X10 <sup>-8</sup>	5X10 <sup>-11</sup>
0.5~0.7	695	74.5	17.7			
0.7~0.9	736	72.1	18.9			

\*-6.23kPa(pF1.8)~-623kPa(pF3.8)

表-2 有底枠充填土壌の化学性（1989年施肥前）

Table 2 Chemical properties of the soils filled in the lysimeter

土壌	pH (H <sub>2</sub> O)	有効態* リン酸	リン酸 吸収係数 (mg kg <sup>-1</sup> )	AC-N**
褐色森林土	5.5	62.4	480	57
黒ボク土	5.4	21.0	1060	65

\*Truog法 (P mg kg<sup>-1</sup>) \*\*熱水抽出性窒素

肥料を単肥で条施した後、春コムギは条播、バレイシヨは点播、テンサイ、タマネギは苗移植を行なった。各作物の耕種概要は表-3に示した。兩年とも成熟期に収量調査を行い、乾物収量を求めた。さらに1990年は途中抜き取り用の枠に試験枠と同様の条件でバレイシヨを栽植し、生育途中の乾物重を調査した（表-8）。

## 3) 水分消費量の測定

本報告で用いた水分消費量とは、式(1)で示したように、一定期間内に測定対象土層（0～0.9m）から失われた水分量を測定期間の日数で除して水分減少量の1日あたり平均値とした。以下ではこれを各作物の水分消費量と呼ぶ。従って厳密な意味での作物の蒸発散量とは異なっている。

$$C = \left( \sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i) \right) / d \quad (1)$$

C : 水分消費量 (mm・d<sup>-1</sup>)

n : 層の数, n=7

Q<sub>i</sub> : iは1～7の値をとり、順に深さ0～0.1, 0.1～0.2, 0.2～0.3, 0.3～0.4, 0.4～0.5, 0.5～0.7, 0.7～0.9mの各土層の測定開始日における水分含量 (mm)。

Q'<sub>i</sub> : 上記と同様に、各土層の測定終了日における水分含量 (mm)。

d : 測定日数

かん水後の土壌乾燥過程を見るために、かん水翌日から数日おきに0.01～0.02kgを採土し、105℃で一昼夜炉乾し含水率を求めた。採土位置は畝肩の地表から0.1mまでを上から採土したほか、有底枠側面の、地表から0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.6, 0.8mの位置に設けた採土孔より、検土杖を用いて採土した。別に100ml採土管で採取した試料から各土層の容積重を算出し、採土した時点における各土層中の水分含量を求めた。なお深さ

表-3 作物栽培における耕種概要

Table 3 Outlines of cultivating for crops

作物	品種	栽植密度		播種 移植*	収穫調査 (月・日)	施肥量 N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (10 <sup>-3</sup> kg m <sup>-2</sup> )
		株あたり	畦数 ( )=畦幅cm			
(1989年)						
バレイシヨ	男爵いも	16株	4畦(50)	5.1	9.1	8-22-15
春コムギ	ハルユタカ	44g**	8畦(25)	5.1	8.18	10-15-10
テンサイ	モノホマレ	20株	4畦(50)	5.1*	10.23	16-25-16
タマネギ	北もみじ	91株	7畦(30)	5.13*	9.13	10-20-10
(1990年)						
バレイシヨ	男爵いも	16株	4畦(50)	5.15	8.28	8-18-13

\*\*播種粒重

表-4 水分消費量測定期間

Table 4 A period for measurement of soil water content

		(月. 日)	
1989年		1990年	湿潤処理 / 乾燥処理
I 期	6. 3 ~ 6. 12	I 期	6. 5 ~ 6. 11
II 期	6. 20 ~ 6. 29 一部6. 26まで*	II 期	6. 12 ~ 6. 18
III 期	7. 5 ~ 7. 14 一部7. 10まで**	III 期	6. 20 ~ 6. 25
IV 期	7. 21 ~ 7. 26	IV 期	6. 26 ~ 7. 2 6. 20 ~ 7. 2
V 期	8. 19 ~ 8. 22 テンサイのみ	V 期	7. 4 ~ 7. 9 7. 4 ~ 7. 9
VI 期	9. 22 ~ 9. 29 //	VI 期	7. 10 ~ 7. 16 7. 10 ~ 7. 17
		VII 期	7. 17 ~ 7. 23 7. 17 ~ 7. 23
		VIII 期	7. 24 ~ 7. 30 7. 24 ~ 7. 30
		IX 期	7. 31 ~ 8. 6 7. 31 ~ 8. 6
		X 期	8. 7 ~ 8. 17 8. 6 ~ 8. 20
		XI 期	8. 21 ~ 8. 27 8. 20 ~ 8. 27

\*褐色森林土の春コムギ, 及び  
黒ボク土の春コムギ, バレイシヨ  
\*\*両土壌の春コムギ, バレイシヨ

表-5 かん水日とかん水量

Table 5 The date of irrigation and watering volume

1989年	5. 25	6. 2	6. 19	7. 4	7. 20	8. 5	8. 18	9. 4	9. 13	9. 21		(月. 日)
バレイシヨ	10	20	20	40	47	33	7					
春コムギ	10	20	20	40	47							
テンサイ	10	20	20	40	47	33	40	20	17	50		
タマネギ	10	20	20	40	47	33	7					(mm)
1990年	6. 4	6. 11	6. 18	6. 25	7. 2	7. 9	7. 16	7. 23	7. 30	8. 6	8. 20	(月. 日)
湿潤処理	10	10	10	45	10	30	30	(30)	(40)	20	30	
乾燥処理					20	30		(30)	(40)			(mm)

( )はスプリンクラーによる全面散水で概算値。

0.5mより下の層については、0.5~0.7m, 0.7~0.9mの0.2mの厚さをもって一つの土層とした。

測定期間は表-4に示した。1989年は6月始めから9月下旬までの期間内に合計6時期行ったが、8月下旬と9月下旬はテンサイのみ行った。測定を行った時期を順にI期~VI期として区別した。測定期間は3~9日間となった。測定期間の終了日は、深さ0.3mまでの土層内の土壌水分ポテンシャルが $-623\text{kPa}$  (pF3.8)相当の含水率を超えた後の測定値をもってこれにあてた。従って枠によって数日のずれが生じた。有底枠試験は各作物とも2反復で行った。また含水率の測定もそれぞれの枠で2試料を採取し、その平均値を採用した。

1990年は、土壌水分条件を湿潤および乾燥の2処理を設けた。湿潤処理についてはほぼ毎週水分測定を行ない、測定期間は5~10日間であった。乾燥処理では乾燥の進んだ6月後半以降に8回測定を行い、期間は5~14日間であった。土壌試料の採取は前年と同様に2反復で行なったが、有底枠試験は無反復で行った。併行して、同様の処理を行なった隣接する有底枠で、テンシオメータを埋設し土壌水分ポテンシャルを測定した。

#### 4) かん水方法

かん水は、水道につなげた散水ノズルで上からかん水した。かん水量はノズル手前に流量計を接続して確認した。1989年は20mm程度をかん水したが、かん水翌日でも深さ0.3m以深への水分補給が充分でなくなったため、7月以降はかん水量を40mm程度に増やした。各測定期間におけるかん水量は表-5に示した。かん水後の有底枠下部の排水孔からの水の流出は見られなかった。

1990年は、湿潤処理では6, 7, 8月の毎週10~20mmをかん水し、0.15mより下層の土壌水分ポテンシャルが $-49.5\text{kPa}$  (pF2.7)より乾燥するような場合は次のかん水時に30mm以上のかん水をした。乾燥処理では6月無かん水で、作物の水分消費が多くなる7月以降に、深さ0.5mまでの土層の土壌水分ポテンシャルが $-49.5\text{kPa}$  (pF2.7)より乾燥しているような極端な乾燥時に20~40mmをかん水した。7月下旬には全ての枠で極端に乾燥が進んだので、スプリンクラーにより全枠同時に全面散水を行った。この場合も排水孔からの排水はほとんど見られなかった。

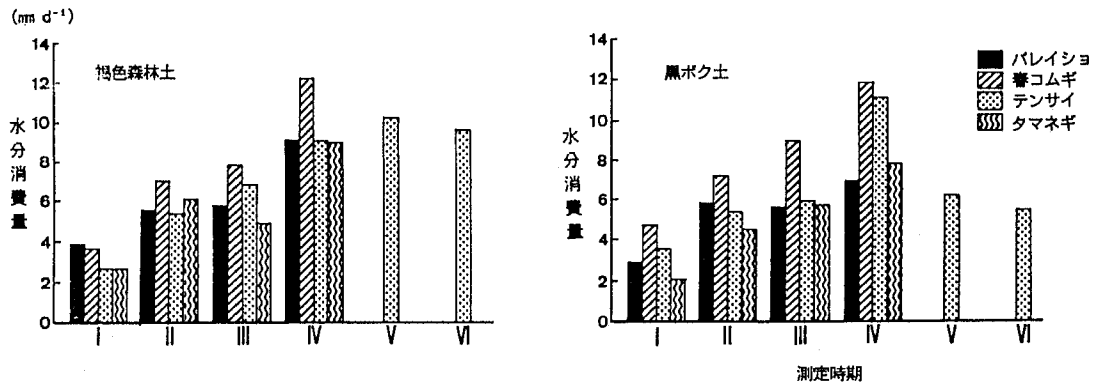


図-2 作物の生育に伴う水分消費量の推移 (1989年)

Fig. 2 Daily water consumption of potatoes, spring wheat, sugar beet, and onions measured at different growth stages (I to IV) in 1989

### 3. 試験結果

#### 1) 水分消費量の作物間差と時期的推移 (1989年)

各作物の水分消費量は、測定を始めたI期からIV期にかけて生育に伴い徐々に増加した(図-2)。

バレイショでは全体として生育に伴う水分消費量の増加は少なかった。特にII期とIII期の水分消費量の差が小さかったのが特徴であった。しかしIV期には最高 $9\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度となった。

春コムギの水分消費量は供試した4作物の中で最も多かった。I期はバレイショと同程度の $4\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 弱であった。しかしII期以降は他の作物よりも $1\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 以上多く推移し、IV期には水分消費量が $12\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ に達した。また土壌が異なっても春コムギの水分消費量やその時期的推移の傾向に大きな差はなかった。

テンサイの水分消費量が時期によって変化していく傾向には土壌によって違いが見られた。即ち、褐色森林土におけるテンサイの水分消費量は、生育に伴いV期まで増加を続け、最大 $10\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度となった。VI期にはV期よりわずかに低下したが $9\sim 10\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の高い値を維持した。これに対して黒ボク土におけるテンサイの水分消費量は、IV期に最大の $11\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ を示した後、大きく低下して $6\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度になった。

タマネギの水分消費量はバレイショと似た傾向で推移した。生育初期はやや少な目であったが、IV期には最大 $9\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の水分消費量となった。また褐色森林土での水分消費量の方が黒ボク土の場合よりも各時期ともやや多かった。

裸地の土面蒸発に伴う水分減少量をI期に測定したところ、褐色森林土で $2.4\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 、黒ボク土では $2.0\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の値を得た。これはI期における各作物の

水分消費量と近似していた。播種あるいは移植後1ヶ月間程度は蒸散による水分消費量が少ないことが示された。

#### 2) バレイショの水分消費量の推移と土壌および水分条件の影響 (1990年)

図-3に1990年のバレイショの水分消費量の推移を示した。湿润処理を行った場合の水分消費量は6月始めに $3\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度で、その後生育の進展に伴って増加し、7月中旬から8月上旬にかけて $9\sim 10\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ に達した。この傾向は褐色森林土と黒ボク土の両土壌とも同様であり、前年の試験結果とはほぼ一致するものであった。また8月中旬以降の水分消費量は $4\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度まで低下した。これは茎葉の黄変、枯凋によるものと考えられる。乾燥処理では、一般的に水分消費量の多くなる7月に、深さ0.9mまでの土層が $-98.8\text{kPa}$  (pF3.0)相当よりも乾燥して易有効水分が無くなったと考えられるが、バレイショの水分消費は続き、土層内水分はさらに減少した。この段階での水分消費量は $4\sim 6\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ であった。さらに乾燥が進むと褐色森林土ではバレイショの水分消費量は $2\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 前後まで低下した。こうした水分ストレスがかけられた後でもかん水を行って十分な水分供給を行うと、 $10\sim 15\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の高い水分消費量を示した。

#### 3) 総水分消費量と乾物生産量との関連

1989年の作物の生育期間中を通した(5月29日~8月4日)土壌水分減少量を試験開始時と終了時の土壌水分含量の差から求め、これに合計かん水量を加えた値を総水分消費量とした。この値は、褐色森林土では春コムギが多く $312\text{mm}$ に達した(表-6)。バレイショ、テンサイがこれに続き、タマネギは春コムギの3/4程度であっ

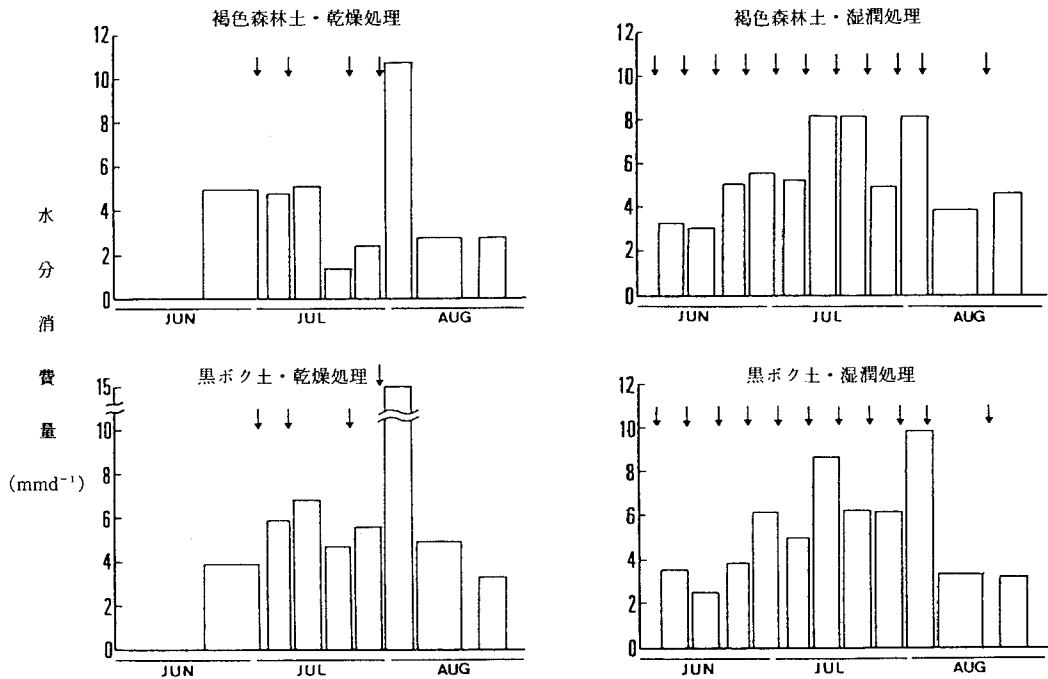


図-3 バレイショの生育に伴う水分消費量の推移 (1990年)  
 グラフの棒の幅は各測定期間の日数の長さを, ↓はかん水を行った日をそれぞれ示す。

Fig. 3 Daily water consumption of potatoes grown at different soil and different soil water conditions measured at different growth stages in 1990

表-6 作物の総水分消費量と乾物生産量との関係

Table 6 Relation between total water consumption and dry matter products of several crops in 1989

土 壌	作 物	土層内 水 分 減少量 (mm)	合 計 かん水 量 (mm)	総水分 消費量 実測値 (mm)	1 日 当 たり 平 均 (mm d <sup>-1</sup> )	収穫日まで の総水分消 費量推定値 (mm)	乾 物 生 産 量 (kg m <sup>-2</sup> )	見かけの 要水量 (mm kg <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> )
褐色森林土	バレイショ	141	127	268	4.0	380	1.27	299
	春コムギ	185	127	312	4.7	377	1.61	234
	テンサイ	122	127	249	3.7	534	2.50	214
	〃	39	160	199	3.6			
	タマネギ	96	127	223	3.3	356	0.51	698
黒ボク土	バレイショ	168	127	295	4.4	418	1.20	349
	春コムギ	231	127	358	5.3	433	1.83	237
	テンサイ	178	127	315	4.7	570	2.40	238
	〃	18	160	178	3.2			
	タマネギ	80	127	207	3.1	331	0.42	787

総水分消費量実測値は、5月29日と8月4日の0~0.9m土層中水分量の差にこの期間中の合計かん水量を加えたもの。ただしテンサイの下段は8月4日と9月29日の差。

収穫日までの総水分消費量推定値は、総水分消費量実測値の1日当たり平均に、8月5日以降収穫日までの日数を乗じて算出。ただしテンサイは9月29日までは実測数値を用い、9月30日以降について同様の計算を行って算出した。

た。黒ボク土ではタマネギを除いていずれも褐色森林土より多い値となった。

これらを1日あたりに換算すると $3.1\sim 5.3\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ となり、各生育時期毎に示された「春コムギ>テンサイ=パレイショ>タマネギ」という傾向と一致した(表-6)。なおこれらの値は、II期以降に測定した水分消費量よりかなり小さかった。これは土壌が測定期間以外は乾燥状態にあり、ある測定時期の終了から次の測定開始まではかん水を行っていないため土層が乾燥状態となり、この間の作物の水分消費量が少なかったためと思われる。従ってこの期間を湿潤に保った場合は、水分消費量がさらに多くなったことが予想される。

次に作物の水分消費量の違いを乾物生産量との関連から比較検討した(表-6)。土壌水分の最終測定日である8月4日(テンサイは9月29日)以降、収穫調査までの水分消費量は、それまでの1日あたり平均水分消費量によって推定した。その結果、乾物あたりの水分消費量は作物間で大きな差を生じた。今ここで、単位乾物あたり水分消費量を見かけの要水量とした場合、乾物生産量の大きかったテンサイではこの値が $214\sim 238\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ と最も低い値を示し、逆にタマネギでは総水分消費量が少なかったにもかかわらず乾物生産量も少ないため、 $700\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 以上の高い値を示した。水分消費量の最も多かった春コムギの見かけの要水量は $240\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 程度でテンサイに近かった。パレイショの見かけの要水量は春コムギより大きな値を示したが、茎葉の乾物重を算入していないことと、茎葉枯凋期以降の水分消費量を過大に見積もっている可能性があることなどから、見かけの要水量が多少過大に評価されていると思われる。

1990年のパレイショの萌芽期から収穫までの生育期間中に消費した水分量の合計は $490\sim 550\text{mm}$ で、1日あたりの平均は $5.9\sim 6.5\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ となった(表-7)。この値は褐色森林土より黒ボク土で大きくなった。しかし乾

物生産量は褐色森林土の方が多く、従って見かけの要水量は黒ボク土の $401\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ に対して褐色森林土は $322\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ となって、より効率的な水分の利用がなされたと考えられる。また、乾燥処理でも生育期間中の水分消費量の総量は湿潤処理と大きく違わず、同時に乾物生産量が低下したため、見かけの要水量の値は湿潤処理よりも $40\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 程度大きくなった(表-7)。

#### 4. 考察

作物の生育の進展に伴う水分消費量の増加傾向が顕著に示されたこと、並びに作物の種類によって水分消費量が明確に異なっていたという結果に対して、土壌の違いによる差が比較的小さかったということは、同一の栽培条件では、水分消費量が主として大気蒸散要求と作物の種類や状態によって左右され易いということを示している。ここで言う作物の状態は、乾物重や葉面積指数、あるいは根張りの違いといった要因から特徴づけることができると思われる。

図-4は1989年のIII期における深さ毎の水分消費量を示したものである。この図から、水分消費量の多かった春コムギでは水分消費量の少なかったタマネギと比較して、0.2mまでの表層と共に0.4mより下の層からも消費する量が多かったことがわかる。テンサイでも下層ではこれに近い傾向を示した。すなわち、表層の根密度と根域の深さが共に水分消費量に影響していたことが推察される。今回は根張り分布の調査は行っていないが、水分消費量の多い作物は、土層全体からまんべんなく水分を消費する傾向にあると考えられた。

土層中、特に下層の透水性が土壌の水分供給能を左右していることを金野・木下(1969)や佐久間ら(1975)が報告している。それによると、一般にかん水した後、重力水は比較的早く下層に浸透して失われ、その後の水分の再分配は緩かに進行する。そのため表層が下層より湿潤な状態にある間は下層への水分浸透と作物の主要根

表-7 パレイショの萌芽期から収穫までの総水分消費量と乾物生産量との関係

Table 7 Relation between total water consumption and dry matter products of potatoes in 1990

土 壤	水分 処理	土層内	合 計	総水分 消費量 実測値 (mm)	1 日 当 たり 平 均 (mm d <sup>-1</sup> )	乾 物 生 産 量 (kg m <sup>-2</sup> )	見かけの 要水量 (mm kg <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> )
		水 分 減少量 (mm)	かん水 量 (mm)				
褐色森林土	湿 潤	241	255	496	5.9	1.54	322
	乾 燥	373	120	493	5.9	1.36	363
黒ボク土	湿 潤	291	255	546	6.5	1.36	401
	乾 燥	420	120	540	6.4	1.23	439

総水分消費量実測値は、6月5日と8月28日の0~0.9m土層中水分量の差にこの期間中の合計かん水量を加えたもの。

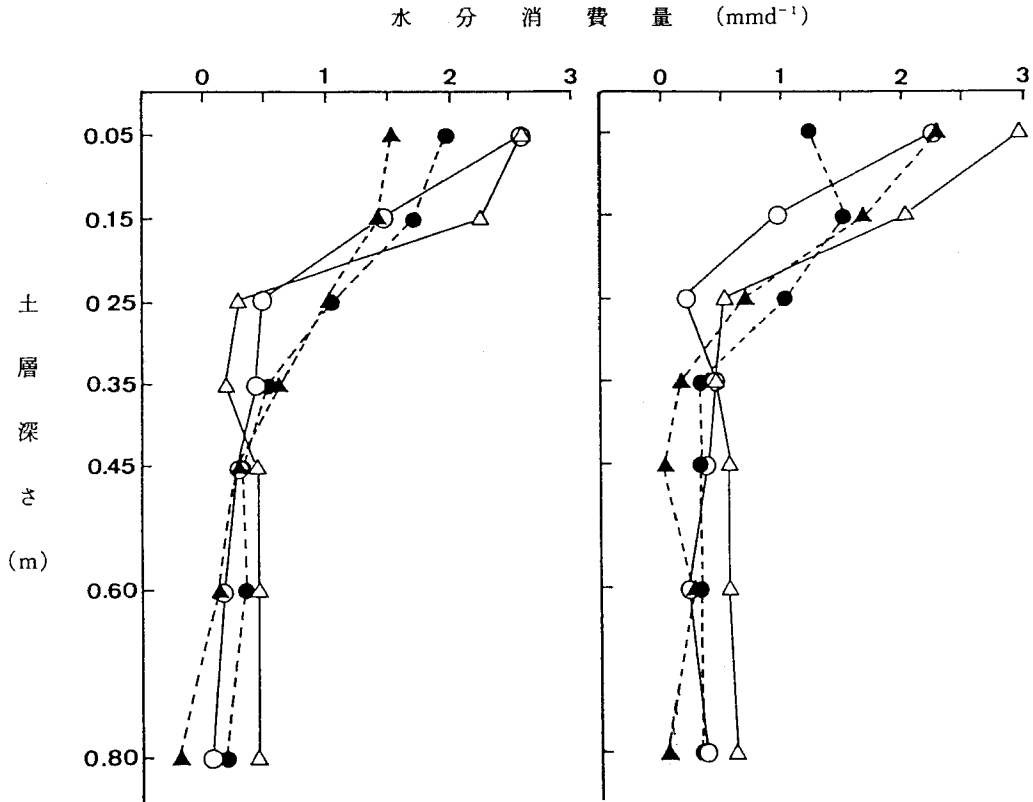


図-4 III期の各測定土層深における水分消費量 (1989年)  
○バレイショ △春コムギ ●テンサイ ▲タマネギ

Fig. 4 Water consumption of crops in every depth of soil profile at growth stage III in 1989

群による水分消費が同時進行する。つまり主として表層の水分が利用され、表層の乾燥が急速に進んで行く、としている。さらに乾燥が進んだ段階では、作物は下層の水分が表層に移動(毛管上昇)してくるのを待つより、下層の水分を直接消費する方が効率よく水分を利用できるであろう。その場合、根の量が全体として多く、しかも下層により多く分布するほど作物の水分消費にとって有利になると考えられる。

次に、土壌間の水分消費量の差について検討した。黒ボク土が褐色森林土よりも僅かながら水分消費量が多くなったが、これは土壌の生産力の違いによる作物の生育差が蒸散量に影響を与えたことが第一に考えられた。しかし本試験では春コムギを除いて褐色森林土区の方が乾物生産量は上回っており(表-6)、必ずしも乾物生産量の多寡で説明できない。1990年のバレイショの生育調査結果(表-8)では、収穫期の総乾物量は褐色森林土区で高く、塊茎の収量性も良い。だがT/R比は生育調

表-8 バレイショの乾物量の推移 (1990年)

Table 8 Dry matter products of potatoes at some growth stage in 1990

土壌	処理	調査日 (月・日)	乾物重(10 <sup>-3</sup> kg m <sup>-2</sup> )			T/R
			茎葉	根*	塊茎	
褐色森林土	湿潤	6.25	90	16.8	—	5.37
		7.2	230	22.0	86	2.13
	乾燥	7.30	311	19.3	789	0.39
		8.28	127	—	1416	0.090
		8.28	126	—	1238	0.102
黒ボク土	湿潤	6.25	97	16.2	—	6.00
		7.2	201	20.2	68	2.28
	乾燥	7.30	383	17.9	652	0.57
		8.28	97	—	1260	0.077
		8.28	127	—	1099	0.115

\*根にはストロンを含む

査のいずれの時点においても黒ボク土が高くなり、地上部の繁茂が旺盛であったことを伺わせる。表-9では、



表-9 表層土壌の無機態窒素濃度(1990年)

Table 9 Inorganic nitrogen content in surface soil in 1990

土 壌	前 作	施肥前	収穫跡地
褐色森林土	春コムギ	67	13
	テンサイ	21	14
	タマネギ	41	18
	平均	43	15
黒ボク土	春コムギ	53	30
	テンサイ	44	21
	タマネギ	40	69
	平均	46	40

単位：(mg kg<sup>-1</sup>)

土壌の無機態窒素濃度が黒ボク土では平均40mg・kg<sup>-1</sup>もの残存量があり、土壌から無機化した窒素量が多いことが予想された。このため地上部の旺盛な生育が続き、茎葉の繁茂が続いていたため、蒸散強度の低下がおきづらかったことから水分消費量が多くなったと考えることができる。すなわち、土壌の化学的な生産力の違いが、作物の形態に作用して水分消費量に影響したものと推察された。

第二に、先に述べた土壌中の水分移動速度と下層における作物の根張りの多少による影響を考えた。仮に褐色森林土において、表層が-100kPa、深さ0.9mで-50kPaの水分ポテンシャルであるとするれば、本試験で測定した土壌の不飽和透水係数を用いると、ダルシー式によって0.9mより下層からの水分供給は1日に約5mmに達することが予想される。これに対して黒ボク土では2オーダー程度少なくなり、より多くの根が下層へ伸長することによって水分の吸収と同時に土壌中の無機態窒素を利用することが可能となり、上記の生育差を助長したのかもしれない。

なお1989年のバレイショでは、表-6に示すように5月29日から8月4日までの総水分消費量の実測値(注)はタマネギを除いて黒ボク土がやや多かった。しかし、図-2から各測定時期における水分消費量は、褐色森林土がやや多い傾向にあった。この違いについての要因は明らかでなかった。

(注：I期の測定が始まる前(5月29日)とIV期の測定が終了した後(8月4日)の土層内水分量の差にこの間の合計かん水量を加えたものを、総水分消費量の実測値とした)

1990年の試験では土壌水分条件の違いによる影響を検討したが、図-3に見るように乾燥条件で水分消費を抑制してきた状態でかん水を行うと、一時的に多量の水分消費量を示した。その結果、収穫日までの総水分消費量

の実測値は土壌の水分条件の違いにも関わらず、ほぼ同一の値を示していた(表-7)。

一般に蒸発散は熱の流れとして理解されており、単位面積に受ける日射エネルギーがその主たる源である(粕淵・中野, 1989; 三浦, 1989; 溝口, 1988)。本試験で用いた有底枠の設置状況は、図-1に示した通り雨よけハウス内に設置され、二方が隣の有底枠と接し、一方は通路としている土壌面に接している。さらにもう一方は枠のコンクリート壁面が掘り下げられた通路上に露出しており、この壁面に対しても熱エネルギーが供給されて、露地圃場条件と比較してより多くの熱が有底枠内の土壌にインプットされたことが予想される。このため本試験で示したような10mmに達するような多量の水分消費量を引き起こしたのではないかと推察された。

このことから、本試験で得られた水分消費量の絶対値をそのまま露地に適用することは難しいと考えられる。また、1990年のかん水後の一時的な多量の水分消費量は、かん水により土壌中の水分の移動抵抗が低下して(透水係数が大きくなり)、こうした熱が多量の蒸発散によって急激に消費された結果ではないかと考えられる。収穫期までの総水分消費量実測値(表-7)が二つの水分処理間ではほぼ同じ値を示したことはこのことを裏付けると思われる。逆に作物生産の上から考えるならば、断続的な乾燥による水分ストレスで乾物生産が抑制され、見かけ上、乾物生産に結び付かない「無駄な」蒸発散が行なわれたことになる。従って露地においても水分を効率よく乾物生産に結び付けるには、適当な肥培管理による生育の管理を前提として、水分ストレスを与えないような土壌水分管理が必要である。限られた水資源である時、過度に乾燥させて初めてかん水するような手法は、むしろ非効率であると思われた。

## 5. まとめ

雨よけの大型有底枠において、春コムギ、バレイショ、テンサイ、タマネギを栽培供試し、断続的なかん水と、かん水後の土層内水分減少量を測定し、水分消費量とした。その結果は次のようにまとめられる。

1) 8月までの作物生育の進展に伴って、1日あたりの水分消費量は徐々に増加した。この水分消費量の増加の傾向と量は作物によって異なった。水分消費量の最も多かったのは春コムギで、7月下旬に1日あたり12mm・d<sup>-1</sup>に達した。また水分ストレスをかけた後のかん水は、一時的に高い水分消費量を引き起こした。

2) 8月始めまでの総水分消費量は、1989年の測定では春コムギ>テンサイ≈バレイショ>タマネギの順であり、207~358mmの値となった。また1990年にはバレイショ

の収穫期までの総水分消費量は493~546mmとなり、褐色森林土よりも黒ボク土で10%程度多かった。土壌水分条件を乾燥処理したものも水分消費量に大きな違いはなかった。

3) 土壌の化学的生産力の違いは乾物生産量と作物の形態(特にT/R比)に影響した。特にT/R比が増大すると水分消費量も増加すると思われた。このことが、総水分消費量と見かけの要水量(単位乾物あたり水分消費量)の土壌間での違いをもたらす一つの要因であると考えられた。

4) 見かけの要水量は、土壌の乾燥処理で湿潤処理より高い値となり、極端な乾湿を繰り返すことで、見かけ上乾物生産に結び付かない無駄な蒸発散が行われると考えられた。

#### 謝 辞

本報告を取りまとめるに当たり、道立天北農試土壌肥料科長松中照夫博士には、論点の明確化を初め、多くの指摘・助言をいただいた。記して厚く謝意を表します。

#### 引用文献

- Arya, L.M., Farrell, D.A. and Blake, G.R. (1975) : A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots : I. Determination of hydraulic properties of the soil. Soil Sci. Amer. Proc., 39 : 424-430.
- 土壌標準分析・測定法委員会編 (1986) : 土壌標準分析・測定法, 博友社, 東京.
- Hillel, D. (岩田・高見・内嶋監訳) (1984) : 土壌物理学概論, p199-222, 養賢堂, 東京.
- 北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課 (1992) : 土壌および作物栄養の診断基準—分析法(改訂版)—, p80-81.
- 鴨田福也・伴 義之・志村 清 (1974) : 野菜の光合成及び蒸散に関する研究 I : 野菜試報A 1 : 109-139.
- 粕淵辰昭・中野政誌 (1989) : 講座土の中の物質移動(その9) 熱エネルギーと物質移動との関係 : 農土誌, 57 : 237-241.
- 北村 亨・今 友親 (1970) : 主要畑作物の蒸発散量 : 道農試集報, 20 : 80-93.
- 小林信也 : 蒸発散量と消費水量 (1992) : 北海道土壌肥料研究通信, 第39回シンポジウム : 28-40.
- 金野隆光・木下 彰 (1969) : 畑地における根の発達と土壌環境(1) : 北農試集報, 94 : 7-21.
- 三浦健志 (1989) : 講座蒸発散(その2) 蒸発のメカニズム : 農土誌, 57 : 429-436.

溝口 勝・藤井克巳・宮崎 毅・中野政誌 (1988) : 講座土の中の物質移動(その3) 土中水の蒸発, 消費および凍結(上方移動のメカニズム) : 農土誌, 56 : 903-909.

内藤文男 (1969) : 作物の蒸散量および蒸発散量に関する研究 : 東近農試研報, 18 : 49-143.

大槻恭一 (1989) : 講座蒸発散(その8) 蒸発散量の推定法 : 農土誌, 57 : 1065-1070.

佐久間敏雄・小林信也・吉田 亨 (1975) : 畑地における水分および熱の動態(第2報) : 土肥誌, 46 : 514-520.

高瀬恵次・佐藤晃一 (1989) : 講座蒸発散(その6) 耕地の蒸発散 : 農土誌, 57 : 827-832.

矢野友久 (1989) : 講座蒸発散(その4) 蒸発散量の測定法 : 農土誌, 57 : 623-628.

(受稿年月日1994年2月10日)