

## 第2部 育てる

### 第1章 植物を育てる

#### 第1節 植物の栽培

植物を健全な状態で生育させることは、資源植物利用のみならず植物を対象にした実験を行うための前提条件である。屋外の雑草をみると、様々な植物が自然の条件下で何の障害もなく育っているようにみえるが、目的にあった特定の植物を、人為的に与えた環境条件で良好に育てるのは必ずしも容易ではない。ここでは、実験に用いる植物を健全かつ斉一に育てる方法を、トウガラシとトウモロコシを例にして習得する。

##### 1.1 種子準備、播種および育苗管理

###### 【供試材料】

トウガラシ (*Capsicum annuum* L.) とトウモロコシ (*Zea mays* L.)。ただし、トウモロコシは汎用殺菌剤であるチウラム剤処理済の種子を用いる。

###### 【用意するもの】

種子、育苗培土、育苗箱、9 cm径ビニルポット、鉢底ネット、培土、ハイポネックス、100ml ビーカー、ピンセット、次亜塩素酸ナトリウム (殺菌用薬剤)、リン酸三ナトリウム (殺菌用薬剤)、恒温器、人工気象器

###### 【種子予措】

トウモロコシは、消毒済種子を使うので、予措は行わず、そのまま播種する。トウガラシ種子は、種子伝染性ウイルス (PMMoV: ペPPERマイルドモトルウイルス) に対する高温処理及び薬剤処理、並びに、苗立ち枯れ病菌に対する薬剤殺菌を行う。それぞれの処理法は、以下の通り。

###### ☆ 高温処理

ガーゼに種子を包み、オープンに入れ、70°Cで24時間処理する。

###### ☆ リン酸三ナトリウム溶液処理

高温処理の後、ガーゼに種子を包んだまま、100ccのビーカーに入れた20%リン酸三ナトリウム液に10分間浸漬する。その後、約1時間程度、ガーゼに入れたまま水洗する。

###### ☆ 次亜塩素酸ナトリウム処理

リン酸三ナトリウム溶液処理及び水洗の後、ガーゼに入れたままの種子を、同様に100ccのビーカーに入れた有効塩素濃度5%の次亜塩素酸ナトリウム溶液に10分間浸漬する。その後、約1時間、ガーゼに入れたまま水洗する。

###### 【播種】

トウガラシ: 育苗箱にパーミキュライトを詰め、播種、覆土の順に進める。人工気象器の中で、出芽までは30°C、出芽後数日、25°Cにて育成する。その後、実験用ガラス温室またはビニルハウスに移す。

トウモロコシ: パーミキュライトを充填した9 cmビニルポットに直接播種し、人工気象器の中で、出芽まで30°Cにて育成する。出芽後、すぐに実験用ガラス温室またはビニルハウスに移す。

ともに、空気の乾燥を防ぐために人工気象器内では水道水を十分に入れたバットを最下段に置く。

### 【仮植および育苗管理】

トウガラシは仮植を行う。ビニルポットに鉢底ネットを敷きその上にバーミキュライトを充填する。各ポットに育成した用植物を1個体ずつ移植する。ガラス温室またはビニルハウス内に置く。以後、如露を用いて必要に応じた灌水を行う。

植物の大きさと日射および温湿度によって蒸発散要求量が大きく変わるので、灌水量もそれに応じて調整する。下表に灌水量の目安を示した。これを参考にしながら、培土上面に湿りが残っている曇天日などは灌水を少なめにする。雨天日は基本的に灌水の必要はない。逆に培土が乾燥し、植物に萎れの兆候がみられたら一度十分な灌水を行う。さらに萎れがひどい場合は、灌水の後数日間日陰に置いて回復させる。

参考：仮植苗への1日当たり灌水量の目安（6月～7月の夏季を想定）

草丈 (cm)	晴天日		曇雨天日	
	灌水量 (ml/ポット)			
トウガラシ	～3	5～20	0～5	
	7～	30～50	0～10	

仮植1週間後から毎週1回、液肥を施用する。ハイポネックス原液を2000倍に薄めて、1ビニルポット当たり20ml（N成分8mg）程度を、灌水を兼ねて与える。

## 1.2 移植および管理

### 【用意するもの】

前項で育成した幼植物、素焼き鉢8号及び10号（秋季はビニルポット7号及び素焼き鉢8号）、同左用鉢底ネット、ラベル、培土、移植ゴテ、如露、被覆肥料\*。

\*：樹脂コーティングされた肥料であり、微細孔からの肥料成分の溶出が積算温度に比例して進むので緩効性肥料として用いられる。

### 【移 植】

トウガラシは素焼き8号鉢（秋季はビニルポット7号）に、トウモロコシは素焼き鉢10号（秋季は8号）にそれぞれ移植する。各ポットに鋸歯管および鉢底ネットを敷いて、培土を充填する。1.1で育成した苗を、ビニルポットから取り出し、土付きのまま移植する。如露を用いて十分に灌水する。

### 【灌 水】

灌水は毎日行う。灌水量は下表を参考にする。ただし、土壤の乾湿ならびに植物の状態に応じた調整を臨機応変に行うこと。とくに、晴天が続いた場合、水が不足しないように特に注意する必要がある。

参考：定植苗への1日当たり灌水量の目安（6月～7月の夏季を想定）

草丈 (cm)	晴天日		曇雨天日	
	灌水量 (ml/ポット)			
トウガラシ	～20	100～200	0～100	
	30～	300～500	0～200	
トウモロコシ	～40	100～300	0～100	
	50～	400～800	0～300	

### 【施肥減区の設定】

以上のように用意した苗を対照区として、これとは別に施肥量を半分にする施肥減区の苗を、トウガラシとトウモロコシの各4ポット分ずつ設定する。培養土にある程度の肥料分が入っているので、施肥減区には、液肥施与を行わない。

### 【断水处理】

3.3の実験の数日前から、トウモロコシ・トウガラシとも、半数の個体に、断水处理を行う。晴雨に関わらず、原則として、断水处理個体には一切の灌水を行わない。断水处理開始時期は、別途指示する。

## 1.3 観察

【用意するもの】メモ用紙、デジタルカメラ（写真撮影時のみ）。

前項で用意したポットに植えた植物に灌水や調査（第2節生長過程の数量化）を行うたびに、その生育状態を比較観察する。対照区の植物と施肥半減区の植物との間に何らかの違いが認められたときには、その状況と経過を、時期を追いながらメモするとともに、適当な時期にデジタルカメラを用いて写真撮影する。写真は、処理の異なる2つのポットを並べて置き、これらを同一視野に入れて撮影する。

### 【まとめ】

レポートに最低写真1枚を貼付し、生育の違いが生じた経過およびその原因について記述する。

## 第2節 成長過程の数量化

### 2.1 はじめに

植物は生育の進行に伴って新しい器官が分化・発達する（このような質的な変化を発育と呼ぶ）とともに、個々の器官のサイズや重さが増加する（このような量的な変化を狭義の意味で成長と呼ぶ）。ここでは、植物の葉面積を定期的に測定し、植物の成長を数量化して捉える方法を学ぶ。葉面積を実測するには、植物体から切り離す必要があり（破壊的測定）、その後の成長を追跡することが不可能となる。そこで、葉長と葉幅から葉面積を推定する式を作成し、それを用いて非破壊的に葉面積の成長動態を追跡する。

### 2.2 自動面積計や画像解析装置を用いた葉面積の測定法

【測定装置および器具】自動面積計または画像解析装置、はさみ、無反射ガラス板。

【葉面積の測定】植物の葉身をはさみで植物体から切り離す。一般的には葉身と葉柄の、イネ科の場合は葉身と葉鞘の境目で切る。（自動葉面積計の場合）葉身が重なったり折れ曲がったりしないように注意しながら、一定の速度で動くフィルムの上に次々と置いていく。置いた葉身の合計面積が自動的に表示される。もちろん、一枚だけでも測定できる。（画像解析装置の場合）切り離した葉身をガラス板の上に重なりのないようにすばやく並べ、上からもう一枚のガラス板で覆う。その際に葉身が折れ曲がらないように注意する。準備した葉身を画像解析装置のステージの上のせ、CCDカメラで画像を取り込む。画像処理プログラムを操作し、葉面積を算出する。プログラムの設定により個々の葉の葉面積、周長、合計葉面積などが任意に計測できる。

【測定上の注意点】葉身切除後、時間が経過すると次第に葉が萎れてくるので、一連の手順をできるだけすばやく行う必要がある。画像解析装置では、画像を取り込む際に、よごれやゴミなどが画像内に入らないように注意する。

### 2.3 葉長、葉幅を用いた葉面積推定式の作成

【測定装置および器具】画像解析装置，はさみ，ものさし，Excel の使用できるコンピュータ．

【供試材料】播種後数週間目のトウモロコシとトウガラシ．

【葉面積と葉長・葉幅の測定】種々の大きさの葉を 20 毎程度選んで葉身を切り離す．自動面積計を用いて個葉の葉面積を測定する（2.2 参照）とともに，個々の葉身の葉長と葉幅（図 1）をものさしで測定する．

【推定式の作成】葉面積( $y$ )と葉長( $L$ )および葉幅( $W$ )の間に下式の関係を保定し， $y$ ， $L$ ， $W$  の実測値を用いて最小二乗法によって各式の係数を推定する．

$$y=a(L \cdot W)+b \quad (1)$$

$$y=aL+bW+c \quad (2)$$

$$y=c L^a W^b \quad (3)$$

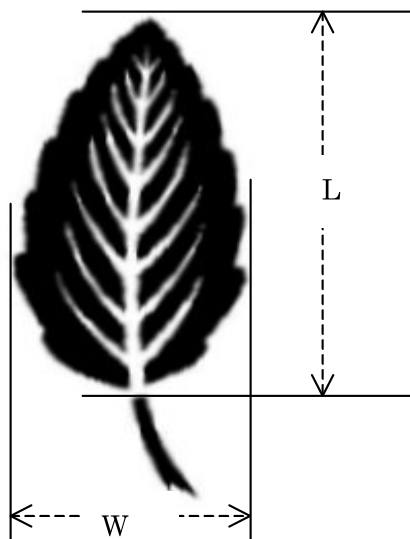


図 1. 葉長( $L$ )および葉幅( $W$ ).

(1)式の場合， $x=L \cdot W$  とおき，葉の測定枚数を  $s$  とすれば，観測方程式は，

$$y_i=ax_i+b, i=1,2,\dots,s \quad (4)$$

となる．最小二乗法とは残差（葉面積の実測値と(4)式による推定値の差）の二乗和を最小とするように， $a$ ， $b$  を定める方法であるが，線形モデルの場合，正規方程式を解くことにより係数を解析的に算出できる．この場合の正規方程式は，以下のようになる．

$$\sum x_i y_i = a \sum x_i^2 + b \sum x_i \quad (5)$$

$$\sum y_i = a \sum x_i + sb \quad (6)$$

実測値を(5), (6)式に入れて, a および b を決定する. Excel でグラフを描き, 回帰直線を追加することによって(1)式の係数 a, b を得ることも可能である. そのようにして得られた係数と最小二乗法によって得られた係数が一致しているか確認してみる.

(2)式の係数は重回帰分析によって決定できる. 重回帰分析は, Excel のメニューバーから“ツール” - “分析ツール” - “回帰分析”を選ぶことによって行える. (3)式も対数変換することによって, (2)式と同様に扱える. しかし, ここでは, 反復改良近似によって最小二乗解を数値的に推定する方法を用いる. この方法は, 推定式が非線形関数の場合にも適用可能である. 非線形関数の極小値推定には Excel のソルバーが利用できる. まず, 葉長, 葉幅, 葉面積の実測値を測定葉の順番に並べた表を作成する. 次に, 葉面積の推定値を計算式に従ってセルに入力する. 図2の例では, (3)式を用いている. 式の係数 a, b, c として, それぞれ B2, B3, B4 セルに適当な値を入力する. 葉面積の推定値は, B2, B3, B4 セルを参照して計算する. 例えば, E7 セルには,  $=B\$4*B7^{\wedge}B\$2*C7^{\wedge}B\$3$  を入力する. 残差および残差の二乗を計算し, 全データについての残差二乗和を G1 セルに入力する(=sum(G7:G16)). また, 残差標準偏差を次式で算出する.

$$\text{残差標準偏差} = \sqrt{(\text{残差二乗和} / (\text{データセット数} - \text{係数の数}))} \quad (7)$$

以上の準備ができたなら, Excel メニューバーから“ツール” - “ソルバー”を選択する. ソルバーのパラメータ設定画面で, 「目的セル」に G1 (残差二乗和) を指定し, 「変化させるセル」を B2 : B4 とする. 「目標値」を最小値とし, 「実行」ボタンを押すと, B2, B3, B4 にセットされた係数が自動的に変化し, 最小の残差二乗和を与える係数が選ばれる.

(1)~(3)式以外に, 各自で独自に推定式を作成してもよい.

	A	B	C	D	E	F	G
1	推定式	$y=c L^a W^b$				残差二乗和	13.11
2	a	1.236081				残差標準偏差	1.37
3	b	0.848822					
4	c	0.623628					
5	データ No	葉長( L, cm)	葉幅( W, cm)	葉面積(y, cm <sup>2</sup> )		残差	(残差) <sup>2</sup>
6				実測値	推定値		
7	1	4.1	3.0	9.2	9.1	0.14	0.02
8	2	5.3	4.0	15.0	15.9	-0.89	0.80
9	3	0.9	1.0	0.7	0.5	0.15	0.02
10	4	2.1	1.5	2.5	2.2	0.30	0.09
11	5	3.5	1.8	5.0	4.8	0.17	0.03
12	6	10.2	7.9	65.0	63.6	1.38	1.92
13	7	5.0	4.7	19.0	17.0	2.04	4.17
14	8	4.3	3.6	11.5	11.2	0.28	0.08
15	9	12.0	10.2	96.3	96.6	-0.31	0.09
16	10	7.5	6.1	32.5	34.9	-2.43	5.90

図2. Excel のソルバーを用いた葉面積推定式の係数の推定法.

【推定式の比較】 残差標準偏差は回帰推定の標準誤差とも呼ばれ、推定精度の指標となる。3つの式による葉面積の推定精度を残差標準偏差を用いて比較し、最もよい推定式を選択する。すなわち、残差標準偏差の最も小さい推定式を採用する。

## 2.4 葉面積の成長動態の計測

【器具】 ものさし、最高最低温度計。

【供試材料】 第1節の実験で播種し、栽培中のトウガラシおよびトウモロコシ。

【測定法】 播種後、約1週間おきに全葉身の葉長および葉幅をものさしで測定し、記録する。2.3で作成した葉面積の推定式を用いて1個体当たりの葉面積を算出する。また、毎日の最低気温、最高気温を最高最低温度計で測定し、記録する。

## 2.5 成長曲線の当てはめと相対成長速度の算出

【成長曲線】 1年生作物の葉面積の成長動態は、一般的には図3のような経過をたどる。葉面積は、生育初期には指数関数的に拡大し(a)、その後成長速度が比較的一定の直線的成長期を迎える(b)。しだいに、新葉の生産速度が鈍化するとともに、枯死・脱落する葉が出始め、成長速度は減少していく(c)。やがて新葉の生産速度を枯死速度が上回り、葉面積は最大となった後、減少する(d)。

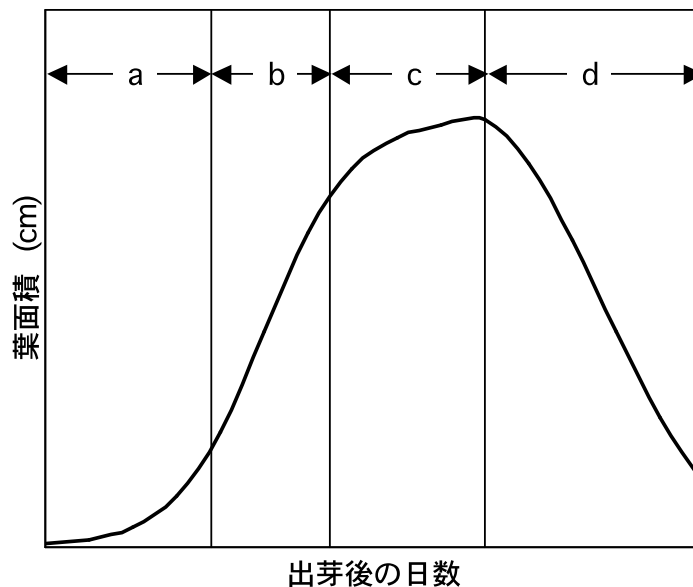


図3. 1年生作物の葉面積の成長動態. a: 指数関数的成長期, b: 直線的成長期, c: 成長速度減少期, d: 葉面積減少期(老化期).

**【指数関数的成長と相対生長速度】** 指数関数期の成長過程は、よく複利による貯金（借金）の増大に例えられる。短期期間内の成長量は、元金（期間のはじめの現存量）が大きいほど大きく、利率が大きいほど大きいという捉え方である。つまり、ある時点での葉面積（ $y$ ）の成長速度（ $dy/dt$ ）は、その時点での葉面積が大きく、かつ成長効率（ $r$ ）が高いほど大きく、次式の関係が成り立つ。

$$dy/dt=r \cdot y \quad (8)$$

第 8 式の  $r$  は、気温、植物の栄養状態、生育ステージなど種々の要因により影響を受けるが、成長の効率を表す重要な指標であり、相対成長速度（RGR）と呼ばれる。RGR が一定であれば、第 8 式の微分方程式は解析的に解くことができ、その解は、測定期間の葉面積の初期値を  $y_0$  とすれば下式のようになる。

$$y=y_0 \cdot e^{RGR \cdot t} \quad (9)$$

(8)式より、

$$RGR=(1/y) \cdot (dy/dt)=d(\ln y)/dt \quad (10)$$

なので、次式を用いて、任意の期間（ $t_1 \sim t_2$ ）の間の RGR が算出できる。

$$RGR=(\ln y_2 - \ln y_1)/(t_2-t_1) \quad (11)$$

ここで  $y_1$  および  $y_2$  は、それぞれ、時期  $t_1$  および  $t_2$  における葉面積である。

#### 【解析：有効積算温度にそった葉面積成長過程】

成長の進行は、しばしば時間  $t$  の代わりに積算温度を用いることでより一般的に表すことができる。積算温度（ $C \cdot d$ ）とは、日々の日平均気温（ $T$ ,  $^{\circ}C$ ）をある期間にわたって積算したものである。成長の限界温度（ $T_b$ ,  $^{\circ}C$ ）を気温から減じて積算したものを有効積算温度と呼ぶ。すなわち、

$$\text{有効積算温度}=\Sigma(T-T_b) \quad (12)$$

ただし、 $T < T_b$  の場合は積算しない。 $T_b$  は植物の種類によって異なるが、麦類などは  $5^{\circ}C$ 、夏作物では  $10^{\circ}C$  が使用されることが多い。ここでは、 $T_b=10^{\circ}C$  として、出芽日から積算した有効積算温度を使用する。

まず、表計算ソフト Excel を用いて、データを横軸に有効積算温度（ $C \cdot d$ ）、縦軸に葉面積（LA）としてプロットした図を描いてみる。トウモロコシとトウガラシの成長過程を比較するために、量植物は 1 つのグラフ内で示すこと。

それぞれの植物について、“近似曲線の追加”のコマンドを選択して指数曲線を当てはめる。LA を対数変換した後、回帰直線を当てはめてもよい。第 10 式または 11 式より、指数曲線または直線の係数が RGR である。このときに、時間（有効積算温度）の経過とともに曲線（直線）から大きくはずれるデータがあれば、それらのデータは指数関数的成長に当てはまらない（多くの場合直線的成長期に入っている）ので除外する。また、初期値  $LA_0$ （第 10 式の  $Y_0$ ）は、移植時の LA（直線回帰の場合は  $\ln LA$ ）の実測値とする。上述のグラフ内での係数の決定に際しては、 $y$  軸切片にそれらの値を与えてから求めること。

## 第3節 成長と環境

### 3.1 同化箱法による光合成測定装置の作成

光合成速度の主な測定方法には、①葉身の一部を対象にしてある時間における葉身乾物重の変化を測定する重量法（打ち抜き法）、②葉身、個体あるいは個体群によるCO<sub>2</sub>吸収量を測定する同化箱法、③十分に広がりのある群落上におけるCO<sub>2</sub>濃度の垂直勾配の日変化から群落—大気間のCO<sub>2</sub>の流れを推定する空気力学的な方法などがある。ここでは、最もよく使われる同化箱法の装置を自作し、その試運転を兼ねて暗黒条件下でのCO<sub>2</sub>交換速度の測定を行う。

#### 【部品として使用する器具類】

赤外線ガス分析計、エアポンプ、流量計（3L/min用）、大型ポリペール、ガラス管（外径8mm）、ゴム栓（No. 4、上径20mm下径16mm）、シリコンチューブ（内径7mm）、ブチルゴムチューブ（内径3mm）内径7mmチューブ用チューブジョイント・三方コネクタ・三方活栓、異径チューブコネクタ（7mm/3mm用）、蓋付きアクリルボトル（容量1.5ℓ）、ミニ温度計、U字管（内径17mm）、綿、アルミホイル

#### 【その他の器具および試薬】

葉面積計、光量子計、電卓、コルクボーラー、ヤスリ、はさみ、カッター、カラービニルテープ、サインペン、CaCl<sub>2</sub>（除湿剤）

#### 【原理】

同化箱法では、一般に、葉身、個体あるいは個体群を同化箱の中に入れ、その中にガスを一定の速度で送り、流入ガスと流出ガスのCO<sub>2</sub>濃度差を測定する。植物体は、光合成によるCO<sub>2</sub>吸収と呼吸によるCO<sub>2</sub>放出を同時に行っているため、実際にはそれらの差すなわちCO<sub>2</sub>交換速度（CER, CO<sub>2</sub> exchange rate）が測られ、これで示される光合成速度は、みかけの光合成速度（P<sub>n</sub>, Net photosynthesis）と呼ばれる。

CO<sub>2</sub>濃度の測定には、赤外線ガス分析計（IRGA, Infra-red gas analyzer）を用いる。IRGAは、CO<sub>2</sub>が赤外線をよく吸収する特性を利用してCO<sub>2</sub>濃度を測る。一定の厚み（d）をもったサンプルガス層に赤外線を当て、入射光強度（I）に対する透過光強度（I<sub>0</sub>）の比を測る。溶液中の光の減衰を示すベールの法則と同じ関係、すなわち、 $I/I_0 = \exp\{-kd(\text{CO}_2\text{濃度})\}$ （ただしkは吸光係数）からCO<sub>2</sub>濃度が求められる。赤外線を吸収するガスは他にもいくつかあり、特にH<sub>2</sub>Oの存在は測定ノイズになりやすい。除湿剤によってIRGAに導入する空気から水蒸気を除く。

#### 【装置の概要】

制作する装置は、図1に示したように、空気バッファ、エアポンプ、流量計、同化箱、IRGAの各部分からなる。ポンプによって送出された空気は三方コネクタで2方に別れ、一方は直接に除湿管・IRGAへ（R, Reference）、他方は流量計と同化箱を経てから除湿管・IRGAへ（S, Sample）それぞれ導かれる。Rは同化箱の入り口のガス、Sは同化箱内で起こるガス交換を経た後のガスとみなされる。除湿管の手前の部分において、3つの三方活栓を組み合わせることでRとSのどちらか一方のガスだけIRGAに導くことができるようにしておく。これを随時切り換えながら、RとSのCO<sub>2</sub>濃度（以下、CO<sub>2</sub>RおよびCO<sub>2</sub>S）を交互に測定する。

#### 【CERの計算式】

流量計で測定されるのは体積流量  $F_v(\text{L min}^{-1})$  であるので、予めこれを気温  $t$  における質量流量  $F(\text{mol s}^{-1})$  に変換する。ここでは気圧を1と仮定する。

$$F = F_v \cdot \frac{273}{22.4 \cdot (273 + t)} \cdot \frac{1}{60} \quad (1)$$



同化箱内での植物によるCO<sub>2</sub>吸収速度がCERであり、次式により求められる。

$$\text{CER} = (\text{CO}_2\text{R} - \text{CO}_2\text{S}) \cdot F \quad (\mu \text{ mol s}^{-1}) \quad (2)$$

ただし、上のCERは同化箱内で起こるCO<sub>2</sub>交換の総和を表している。光合成速度は、葉身の単位葉面積当たりの値で評価されることが多い（後述）。

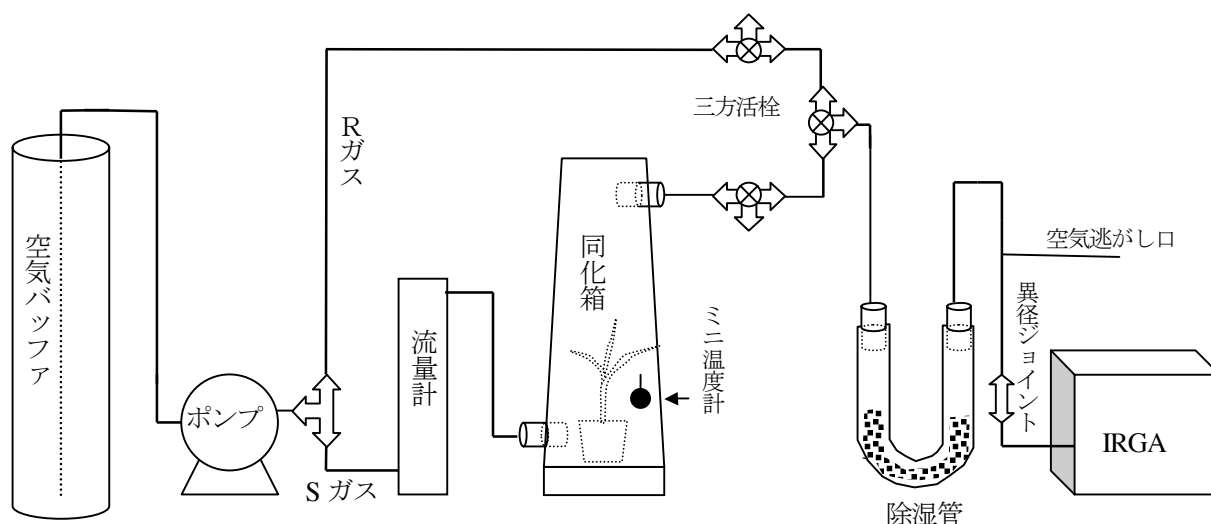


図1 制作する光合成測定装置の概要

#### 【制作手順】

- ① 各班が1セットずつ作る。ただし、空気バッファは共通部品として用意されている。
- ② 適当な長さのガラス管とチューブを用意する。コルクボーラーでシリコン栓に適当な大きさの穴を開けてガラス管を通す。

(注意) チューブはまず長めのものを用意し後の組み立て段階で長さを決めること。

- ③ 同化箱の作成：アクリルボトルは蓋を下にして使用する。上側面と下側面のそれぞれに適当な穴を開ける。それらをガラス管付きシリコン栓でふさぐ。同化箱内の気温を測定するために、ミニ温度計を内側にテープで貼り付ける。

- ④ 除湿管の作成：脱水管にCaCl<sub>2</sub>を入れ、上から綿をゆるく詰める。ガラス管付きシリコン栓でふさぐ。

- ⑤ 図を参考にして各部分をチューブで接続する。まず三方コネクタを用いてシリコンチューブをエアポンプと流量計との間で分岐させ、その一方のみS側として流量計に接続しさらに同化箱に導く。もう一方はR側とする。

(注意) RとSを混同しないように、チューブの各所に色の異なるテープで目印をすること。チューブは折れ曲がらないようにすること。

RとSは除湿管の手前で再び同一の管に導かれることになるが、3つの三方活栓を組み合わせることにより、RとSのどちらか一方のみを脱水管に導入し、その間もう一方は通気を完全には止めずに少しずつ系外に放出し続けられるようにする。除湿管とIRGAの間に三方コネクタを付けて空気の流れがIRGAにとって過剰となった場合それを逃がせるようにしておく。IRGAの手前では異径コネクタでブチルゴムチューブ（細くて黒いゴム管）に接続し、これをIRGAの空気取り入れ口に導く。

(注意) 特に、Sガスは常に通気状態を保つ必要がある。その理由を下記の⑦反応の時間的遅れの検討、との関連から考えてみよ。

- ⑥ 通気状態の確認：ポンプを運転し、順調に空気が流れるかどうか確認するとともに、流量計の流

量調節バルブを用いて空気の流れを調節する。流量計の値が安定せず大きく揺れる場合は、通気系のどこかに問題がある。同化箱のゴム栓やガラス管の穴等からの空気もれについてチェックをする。

IRGAには過度の空気圧力を加えてはいけませんが、同時に十分な空気を送り込むことも必要である。そこで、常に多い目の空気をIRGAに送りながら余分な空気を空気逃がし口（除湿管とIRGAの間につけた三方コネクタの開放口）から吐出させるようにする。この空気の吐出があるかどうかをよく確認しなければならない。例えば、Sガスを脱水管に導入している間に空気の吐出がない場合、R側の経路が開放されているためにS側の通気圧が不十分となり、空気逃がし口から周辺の空気が逆流しているかもしれない、それは著しいノイズの原因となる。その時は三方コックの開け具合を調節してR側の通気量を制限する。

同化箱を通過した空気のCO<sub>2</sub>濃度(CO<sub>2</sub>S)と通過させない空気のCO<sub>2</sub>濃度(CO<sub>2</sub>R)を、三方活栓を切り替えながら交互に測定する。CO<sub>2</sub>SとCO<sub>2</sub>Rが大きく異なるときは通気系に何か問題がある。

⑦ 反応に要する時間的遅れの検討: 光合成が活発に行われている状態でのIRGA出力値の経時変化は図2のようである。三方活栓の操作により、ガスの流れをRからSに切り替えてからその影響がIRGAのCO<sub>2</sub>濃度出力値に現れるまで(t<sub>1</sub>)、およびCO<sub>2</sub>濃度が変わり始めてからそれが安定するまで(t<sub>2</sub>)、それぞれ数十秒かかるものと思われる。SからRに切り替えたときも同様である。CERを知るためには、RとSのそれぞれの安定したCO<sub>2</sub>濃度を測定する必要がある。t<sub>1</sub>とt<sub>2</sub>を予め知っておくと反復測定を効率よく行うことができる。そこで、操作の練習を兼ねた次のような予備測定を行う。

予備測定用に用意した大きい植物体を同化箱にいれ、暗黒条件下での測定を試みる。IRGAのCO<sub>2</sub>濃度値を時間経過とともに連続的(例えば2秒ごと)に記録し、t<sub>1</sub>とt<sub>2</sub>がわかるようにする。CO<sub>2</sub>濃度の変化を吟味し、RとSの安定した状態でのCO<sub>2</sub>濃度平均値をそれぞれCO<sub>2</sub>R、CO<sub>2</sub>Sとする。測定はFv = 1 Lmin<sup>-1</sup>と 2 Lmin<sup>-1</sup>の2つの通気速度の条件でそれぞれ2回以上繰り返すこと。

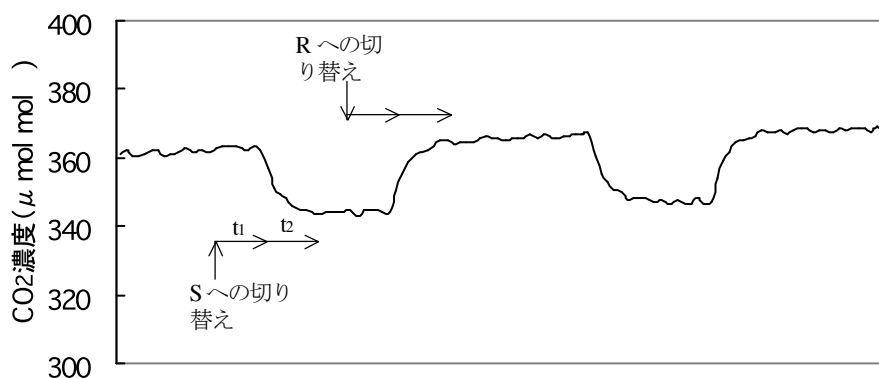


図2 本装置でIRGAに出力されるCO<sub>2</sub>濃度変化の模式図

**(注意)CO<sub>2</sub>Rの値について:** 図2をよくみるとRのCO<sub>2</sub>濃度が徐々に上昇しているが、大気を用いた測定ではこのような環境変化は避けられない。装置で空気バッファを用いるのはCO<sub>2</sub>Rの変化を極力緩やかにするためである。CERの計算では、CO<sub>2</sub>Sに対応するCO<sub>2</sub>Rとして、S通気時の前のRと後のRの平均を用いること。なお市販の光合成測定装置は、CO<sub>2</sub>SとCO<sub>2</sub>Rをほぼ同時に測定できるように設計されている。

### 【呼吸速度の測定】

ビニルポットに植えたC<sub>3</sub>植物イネおよびC<sub>4</sub>植物ヒエを対象に、暗黒条件下でのCER、すなわち呼吸速度を測定する。植物を封入した同化箱内をアルミホイルで覆う。通気速度はFv = 1 Lmin<sup>-1</sup>と 2 Lmin<sup>-1</sup>の2段階に変えて3反復ずつ測定する。Fv、CO<sub>2</sub>R、CO<sub>2</sub>S、気温 t を記録する。式(1)と式(2)から、ポット当たりのCERを計算する。測定結果がそれぞれの通気速度において安定しているか、異なる通気速度の間で同様の値が得られているか、植物間において呼吸速度にどのような違いがあるかを検討する。

### 3.2 光—光合成関係の測定

植物によるCO<sub>2</sub>吸収速度は、暗黒条件ではマイナスだが、光強度が増すにつれて増加し、やがて光飽和に達する。光飽和光合成速度は、CO<sub>2</sub>固定系（暗反応）に制限されており、一方、光補償点付近の光合成速度は光エネルギーの捕捉、すなわち明反応の効率に依存している。C<sub>4</sub>植物はC<sub>3</sub>植物に比べて光飽和に達する光強度が著しく高く、光飽和光合成速度も一般に高いとされている。

このような光—光合成関係を、前項で制作した装置を用いて測定し、その植物による違いを調べる。

#### 【供試材料】

C<sub>3</sub>植物イネ (*Oryza sativa* L.) およびC<sub>4</sub>植物タイヌビエ (*Echinochloa oryzicola* Vasing)。ポット植の幼植物。

#### 【測定方法】

① 光条件を制御するためには人工光源を用いるのが一般的だが、自然光を利用し、同化箱をさまざまな程度に遮光することによって光強度を調節することも可能である。本実験では人工光源を用い、植物の光源からの距離を加減して光強度を調節する。

光強度が変化すると光合成速度もそれに追従するが、変化が大きいときは新しい平衡状態に達するまでかなり時間を要する。この時間は光強度が低下するときよりも上昇するときの方が一般に長い。そこで、測定にあたっては、まず、できるだけ強い光条件下でCERを測定し、その後、寒冷紗などを適宜用いて徐々に弱い光条件を設定し、最後にアルミ箔で暗黒条件でのCERを測定する。記録するのは、3.1と同様にF<sub>v</sub>、CO<sub>2</sub>R、CO<sub>2</sub>S、気温tである。個々の測定が終わったら、ただちに(1)(2)式によりポット当りCERを計算し、妥当な測定結果が得られているかどうか点検しながら進めること。

**(補足) F<sub>v</sub>の設定について:** 流量の設定はどの程度が妥当だろうか。RとSのCO<sub>2</sub>濃度差はF<sub>v</sub>が小さいほど顕著になる。IRGAの精度は通常±1 μmol mol<sup>-1</sup>程度と粗いため、F<sub>v</sub>を小さくしてCER計算値の精度をできるだけ確保したい。一方、CO<sub>2</sub>Sの変化は同化箱内の植物をとりまく環境の変化に他ならない。しかも、光合成速度は大気CO<sub>2</sub>濃度に対し顕著に反応する。このためCO<sub>2</sub>SがCO<sub>2</sub>Rから大きくかけ離れることは望ましくない。合い矛盾する2つの要素を勘案し、一般に、F<sub>v</sub>はCO<sub>2</sub>RとCO<sub>2</sub>Sとの差が30~50 μmol mol<sup>-1</sup>になるように設定される。仮に式(2)のCERを0.1 μmol s<sup>-1</sup> (光合成が活発な状態)と想定し、その状態でRとSのCO<sub>2</sub>濃度差が50 μmolとなるようなF<sub>v</sub>の値を式(2)と式(1)から逆算してみよ。

② CO<sub>2</sub>Sの測定の度に同化箱の近傍(葉身がある位置の高さ)で外側・上向きの光量子密度(PAR: Photosynthetically Active Radiation μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)を頻繁に測り、平均値を記録する。

**(注意) 光条件について:** 光—光合成曲線を得るために、光条件が偏らないようにCER測定を行うこと。また誤差を考慮して、測定は各光条件について2回またはそれ以上反復すること。

③ すべての測定が終了したら、植物体の取り出し葉身をすべて切除して、葉身の面積A (m<sup>2</sup>)を測定する。ここでは面積計を使用する。

④ 暗条件下でのCERを暗呼吸速度(CER<sub>0</sub>)として、次の(3)式から葉面積当りの総光合成速度(P<sub>n</sub>)を求める。

$$P_n = \frac{CER - CER_0}{A} \quad (\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (3)$$

⑥ 呼吸速度の温度補正: 呼吸速度(R)は次式のように温度の上昇にともない指数関数的に増大する。

$$R = R_0 \cdot Q_{10}^{(t-t_0)/10} \quad (\mu \text{ mol s}^{-1}) \quad (4)$$

ただし、RとR<sub>0</sub>は、それぞれ温度tおよびt<sub>0</sub>における呼吸速度。Q<sub>10</sub>は呼吸の温度反応性を示す指標で

通常の条件下で育つ植物では2付近の値をとることが多い。(3)式のようにして他器官の呼吸を考慮して葉身のCERを求めようとすると、暗黒条件下と発熱の大きい人工光源下との間の温度差が大きくなり、誤差の要因となる。(4)式を使い、 $Q_{10}$ に2を、 $R_0$ と $t_0$ に $CER_0$ とその測定時の気温を、 $t$ に光合成速度測定時の気温を代入することで、 $CER_0$ の温度補正值が得られる。

### 【3.1と3.2のまとめ】

$C_3$ 植物イネと $C_4$ 植物ヒエにおけるPAR強度と $P_n$ との関係を一つのグラフに示す。レポートでは、実験の目的、材料と方法をごく簡潔に述べ、結果として上述のグラフを示し、光強度の効果が光合成にどのように現れたか、その関係がイネとヒエの間でどのように異なったかをまとめ、光-光合成関係の違いが認められた場合は、その理由を考察する。

## 3.3 1日の光合成量・蒸散量の推定及び水ストレスの影響の測定

### 【はじめに】

植物は光合成により1日にどのぐらいの量の $CO_2$ を固定しているのだろうか、また、1日にどのぐらいの量の水を蒸散により失っているのだろうか。ここでは、まず光合成速度・蒸散速度と植物体の葉面積から、植物の1日の光合成量および蒸散量を推定する。

植物は乾燥等により、水ストレスにさらされると、気孔閉鎖・光合成活性低下等さまざまな生理反応を示す。このような生理反応は、水ストレスによって引き起こされた害作用であると同時に、植物の不良環境への適応でもある。また、植物の水ストレスに対する耐性、即ち適応性は、種・品種によっても異なり、その機作もさまざまである。本実験では、トウガラシとトウモロコシを用い、両者の水ストレスに対する反応の異同を観察する。

### 【供試材料】

トウガラシ (*Capsicum annuum* L.  $C_3$ 植物) とトウモロコシ (*Zea mays* L.、 $C_4$ 植物)。3.1で育成した、ポット植えの植物を12個体ずつ用いる。

### 【使用機器】

携帯式光合成蒸散測定装置(島津製作所、SPB-H4)、スーパーポロメーター(LI-COR社、LI-1600)、プレッシャーチャンバー(Soil Moisture社)、TDRテーブルテスター(Sony Techttronics社、1502B)、Microsoft Excelの使用できるコンピュータ。

### 【その他の器具】

剃刀、土壌水分測定用プローブ、ものさし。

### 【水ストレス処理】

水ストレス処理は、断水によって行う。トウガラシ、トウモロコシそれぞれ、半数の個体には、処理開始日から、灌水を全く行わない。詳細は、1.2【断水処理】参照のこと。

### 【測定項目】

測定は2日間に渡って行う。1日目は、断水後数日経過した時点で、2日目は朝に水ストレス個体に再灌水し、水ストレスからの回復過程での測定を行う。測定項目は以下の通り。なお、土壌水分の測定は、朝(両日)及び夕方(1日目のみ)にも行う。

1. 光合成速度及び1日当たりの光合成量
2. 蒸散速度及び1日当たりの蒸散量
3. 蒸散抵抗（気孔閉鎖の指標で、値が大きい程、気孔閉鎖の度合いが大きい）
4. 水ポテンシャル（植物の水分状態の指標で、値が低い程、植物の水分損失が大きい）
5. 土壌水分（蒸発散の指標で、値が低い程、蒸発散による水分損失が大きい）
6. 葉長、葉幅、葉数（1日目のみ、1日当たりの光合成量・蒸散量推定のため）

なお、測定は2人1組で行う。

### 【光合成速度】

光合成速度の測定には、携帯式光合成蒸散測定装置を用いる。この装置は、3-1【はじめに】で述べられている、3つの光合成速度測定法のうち、②の同化箱法の原理を用い、同化箱を小型化したチャンバーによって、個葉の光合成速度の測定を非破壊的に行う。即ち、外気から取り込んだ空気を、直接小型赤外線ガス分析機に送り込む側と、葉をはさんだチャンバーを通してから分析機に送り込む側での、CO<sub>2</sub>濃度の差を測定し、流量・流速を基に光合成速度を算出する。具体的な測定の手順は以下の通り。

- ① 電源を入れる（ウォーミングアップ約2分）。
- ② バッテリー容量を確認する（第1画面に表示。◀□、□▶で第1、第2を選択できる）。
- ③ 初期設定を行う。
- ④ サンプルとなる葉を選定し、リーフチャンバーにはさむ。
- ⑤ 第2画面を表示させ、A（光合成速度）の値が安定するまで待ってから、データを保存する。  
ラベルを付ける場合 ⇒ record → label → ラベル入力 → リターンキー → V  
簡易保存 ⇒ リーフチャンバーのレコードスイッチを押す（ラベルなし）。
- ⑥ 連続測定は、④～⑤を繰り返す。
- ⑦ 電源を切る。

実験開始時には、初期設定を終えているので、④～⑤を繰り返す。光合成速度は、葉面積1m<sup>2</sup>当たり1時間当たりのCO<sub>2</sub>固定量（μmol）で表示される。なお、測定時には、光合成速度だけでなく、光合成有効放射量、チャンバー温度及び葉温も記録する。

チャンバーは結構重量があり、扱いにくいので注意すること。特に、葉をはさんだまま、引っ張って、葉を切り取らないよう十分注意する。

### 【蒸散速度・蒸散抵抗】

蒸散速度・蒸散抵抗の測定には、スーパーポロメーターを用いる。この機器は、葉をチャンバーにはさみ、葉の蒸散によって上昇したチャンバー内の湿度を、乾燥空気を送り込むことによって元の湿度に戻すのに必要な乾燥空気の流量、流速、湿度等から、蒸散速度・蒸散抵抗を算出する。具体的な測定手順は以下の通り。

- ① チャンバーを本体に取り付け、周囲の環境との平衡にするため、測定する環境条件下に30分程度放置する。
- ② スイッチを入れる。
- ③ プリセット（気圧、開口部面積）。
- ④ 湿度セットスイッチを1～5秒押す。
- ⑤ 葉を測定用チャンバーに挟む。
- ⑥ ヌルアジャストバルブを回し、蒸散量と乾燥空気量を平衡状態に（インディケータが表示線内中央に近いほうがよい）にする。バルブは右に回すと乾燥空気量が減り、左に

回すと増える。

- ⑦ インディケータが安定すると、ホールドスイッチを矢印の方に倒す。
- ⑧ ファンクションスイッチを合わせて、各測定値を読み取る。
- ⑨ ホールドスイッチを戻す。
- ⑩ 連続して測定する際は、④～⑨を繰り返す。
- ⑪ 終了時はスイッチをオフにし、チャンバーを取り外す。

実験開始時には、初期設定を終えているので、④～⑨を繰り返す。蒸散速度は、葉面積 1 cm<sup>2</sup> 当たり 1 時間当たりの蒸散量 (μg) で表示される。また、蒸散抵抗の単位は、s/m である。なお、測定時には、蒸散速度・蒸散抵抗だけでなく、光合成有効放射量、チャンバー温度及び葉温も記録する。

光合成測定時と同様、チャンバーは扱いにくく、葉をはさんだまま引っ張って、葉を切り取らないよう十分注意する。

### 【水ポテンシャル】

水ポテンシャルは水の自由エネルギーで、植物の水分状態の指標として用いられる。純水の水ポテンシャルは 0Mpa (メガパスカル) で最も高く、何か溶質が溶け込むと低下する。通常、水ストレスのかかっていない植物体の水ポテンシャルは -0.2~-0.8Mpa で、水分損失が進行し水分状態が悪化すると、さらに低下する。水ポテンシャルの測定法には多くの種類があるが、本実験ではプレッシャーチャンバー法を用いる (右下図参照)。密閉耐圧チャンバーに切り取った葉をセットした後加圧し、葉の切り口から水が噴出する時点の圧力を測定する。プレッシャーチャンバー法は、木部圧ポテンシャルを測定しているが、通常、これを葉の水ポテンシャルの推定値として用いる。以下、具体的な手順を示す。

- ① 本体とガスボンベとを接続する。
- ② ガスボンベの弁を開く。
- ③ ファンクションスイッチを「OFF」にする。
- ④ サンプルの葉を剃刀で切り取り、即座に切り取った面を上にして、測定用パッキンにはさみ込む。
- ⑤ はさみ込んだサンプルをチャンバーにセットする。
- ⑥ ファンクションスイッチを「PRESSURIZE」にする。
- ⑦ ルーペまたは肉眼で切断面を観察しながら、調圧弁を少しずつ開く。
- ⑧ 切断面から水が出てきた時点で、調圧弁を閉じる。
- ⑨ 圧力ゲージ (外側) でその時の圧力を読み取る。
- ⑩ ファンクションスイッチを「EXHAUST」にし、ガスを抜く。
- ⑪ 連続して測定する際は、③～⑩を繰り返す。
- ⑫ ガスボンベの弁を閉じ、接続部をとりはずす。

実験開始時には、ボンベと本体が接続されているので、③～⑩を繰り返す。チャンバーには高圧がかかるので、サンプルをチャンバーにセットする際には、十分注意する。なお、圧力ゲージの単位は、bar (バール) なので、-0.1 をかけて Mpa に変換する。

### 【土壌水分】

ポット内土壌からの水分損失は、底部排水口からの排水と、蒸発散 (植物の蒸散と土壌表面からの蒸発の和) の和なので、灌水後、底部排水口から余分の水分が排出された状態 (圃場含水量) で

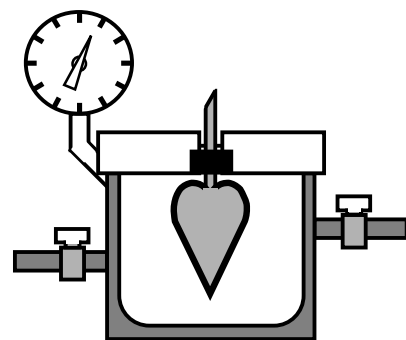


図. プレッシャーチャンバー

は、土壌水分は、蒸発散のみによって低下する。従って、土壌表面を被覆して地面蒸発を無視できるようにすると、土壌水分量の変化によって、植物体の蒸散量を算出できる。本実験では、土壌水分の測定には、TDR (Time Domain Refractometry) 法を用いる。TDR テスターから発振されるマイクロウェーブが、測定用プローブ先端まで往復する際、その速度が周囲の湿度に影響されることを応用して、土壌水分を測定する。具体的な手順は以下の通り。

- ① TDRテーブルテスター、計測用コンピュータ、測定用プローブを接続する。
- ② TDRテーブルテスター、コンピュータのスイッチを入れる。
- ③ コンピュータの計測用プログラム (tdr95-hc) を立ちあげる。
- ④ メニュー画面で「1」を入力し、パラメータファイル名を入力する。
- ⑤ 測定用プローブをポットにロッドの根元まで差し込む。
- ⑥ 画面の指示に従い、メニュー画面に戻る。
- ⑦ メニュー画面で「2」を入力し、再度パラメータファイル名をと入力する。
- ⑧ データファイル名を入力する。通常はファイルリストの最後に表示されたファイルを入力する。
- ⑨ 測定値に補正值 (測定土壌毎に異なる) を乗じた値を記録する。
- ⑩ 連続して測定する際は、④～⑨を繰り返す。
- ⑪ 「4」を入力し、プログラムを終了する。
- ⑫ TDRテーブルテスター、コンピュータの電源を切り、ケーブル類を取り外す。

実験開始時には、テスターとコンピュータとの接続等、初期設定は終わっているため、④～⑨を繰り返す。なお、パラメータファイル名・補正值は、実験時に指示する。

#### 【1日の光合成量・蒸散量の推定】

1日目の光合成速度、蒸散速度と、葉面積 (葉長・葉幅から、2.3の式で推定)、葉数から、1日当たりの光合成量及び蒸散量を推定する。

##### ☆ 1個体当たりの葉面積の推定

- ① 1個体当たり全葉数を測定する。
- ② 植物体1個体当たり10枚の平均的大きさの葉を選び、葉長・葉幅を測定する。
- ③ 2.3の式を用いて、10枚の葉の面積を算出し、平均葉面積を計算する。
- ④ ③で算出した平均葉面積に①で測定した葉数を乗じ、1個体当たりの葉面積を算出する。

##### ☆ 1日当たりの光合成量の推定

- ① 単位を考慮しながら、測定した光合成速度に全葉面積と時間を乗じる。
- ② 時間を乗じる時は、日長に留意する。
- ③ 測定は日射の強い日中に行っているため、計算結果に0.5を掛け、平均化する。
- ④ 結果はg/plantで算出する。

##### ☆ 1日当たりの蒸散量の推定

- ① 1日当たりの光合成量の推定と同様、単位・日長に留意し、計算する。
- ② 光合成同様、結果はg/plantで算出する。また、計算結果に0.5をかけ、補正する。

#### 【データ処理】

各測定項目の平均値を算出し、統計処理を行う。また、考察しやすいように、データをグラフ化する。平均値の算出及び統計処理には、Microsoft Excel のアドインプログラム「分析ツール」を用いる。具体的な手順は以下の通り。

☆ 平均値の算出及び統計処理

- ① Microsoft EXCELをたちあげる。
- ② 「ツール(T)-アドイン(I)」を実行し、アドインダイアログボックスで「分析ツール」を選択する。「ツール(T)」メニューで「分析ツール(D)」が表示される場合は、この操作の必要はない。
- ③ 右表を参照にして、データを入力する。このフォーマットで入力しないとプログラムが使用できない。
- ④ 「ツール(T)-分析ツール(D)」を実行し、データ分析ダイアログボックスで「分散分析 繰り返しのある二元配置」を選択する。
- ⑤ 「入力範囲」、「1 標本当たりの行数」(反復数)を入力する。

表. 分散分析用データフォーマット

	Control	Stress
トウモロコシ	8.964	1.539
	2.37	0.012
	5.859	0.863
	6.675	0.854
	3.616	0.552
トウガラシ	4.432	0.503
	5.178	0.351
	5.5	0.236
	5.08	0.556
	7.545	0.033

- ⑥ それぞれの測定項目(光合成速度、蒸散速度、蒸散抵抗、水ポテンシャル、土壌水分から推定した蒸散量)について、二元配置分散分析を実行する。

☆ グラフ化

- ① Microsoft EXCELをたちあげる。
- ② 各平均値を示した表を作成し(下表参照)する。
- ③ 標準ツールバーにあるグラフのアイコンをクリックして、グラフウィザードをたちあげ、指示に従って、棒グラフを作成する。

表. 作図用の表フォーマット

Maize	Chili	Cont.	Stress	M.-Cont.	M.-Str.	C.-Cont.	C.-Str.
3.1304	2.9414	5.5219	0.5499	5.4968	0.764	5.547	0.3358

【3.3のまとめ】

以下の点に留意して、レポートを作成する。

☆ 1日当たりの光合成量、蒸散量

- ① トウガラシ・トウモロコシの1日あたりの光合成量・蒸散量を比較し、その結果、考えられることは何か。
- ② トウガラシ・トウモロコシの1日当たりの光合成量と光合成の化学反応式から、1日の光合成に直接消費される水の量を計算し、その量と蒸散量とを比較して、考えられることは何か。

☆ トウガラシ・トウモロコシの水ストレスに対する反応の違い

- ① 1日目の各測定項目を分析し、水ストレスが植物に与える影響と、その影響のトウガラシ・トウモロコシ間の比較を行い、その結果を考察する。
- ② 2日目の各測定項目を分析し、水ストレスからの回復過程の、トウガラシ・トウモロコシ間の違いについて考察する。



## 第4節 資源生物

### 4.1 イネ・コムギ

イネおよびコムギは、トウモロコシとともに世界の3大穀物をなす重要な資源植物であり、栽培地域は熱帯から寒冷地にまで及ぶ。それらの栽培方法は、気候とくに温度と水環境、圃場の立地と形態、肥沃度や物理性などの土壌条件、利用可能な栽培機材と資材、生産物の用途などによって異なる。さらに栽培の主眼が種子増殖、自家消費、多収、高品質・高付加価値などのどこに置かれているかによっても変わる。ここでは、日本の温暖地における典型的な栽培方法をもとにして、これらの植物を圃場において正常に生育させるために不可欠な点にしぼって概説する。

#### 4.1.1 イネの栽培

##### 【種子準備 (3月～5月)】

採種後3年以内の充実した種子を、本田の栽培面積1㎡当り2～5g (風乾重) 用意する。種子伝染性病虫害防除のための殺虫剤と殺菌剤処理を施す。水温20℃で約4日間 (10℃なら10日間)、水に浸し吸水させる。

##### 【播種 (4月～5月)】

播種前日に、水温を約30℃にして発芽させる。砕土・均平を十分にし、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、およびK<sub>2</sub>Oを1㎡当たり約10g (育苗箱では5g) と土壌病害防除剤を土壌に混入した播種床を用意する。種子100g当たりの播種床面積は約0.5～1㎡ (育苗箱では半分)。床土は弱酸性 (pH5程度) であること。灌水を、土表面に水が溜まり出す程度まで十分にかつゆっくりを行う。直ちに播種し、3～5mm程度の厚さに覆土する。水分保持と保温を兼ねて被覆 (シルバーポリシート等が適) を施す。

##### 【育苗 (20～35日間)】

出芽が揃うと被覆を除去する。初期は土表面乾燥時のみ灌水する (発根促進)。気温が約15℃以下になるときや強い降雨時は一時的に被覆する。灌水の頻度と量を徐々に増やし、苗代期間後半には土壌水分を高く保つ。高温や強風時には蒸発散要求が著しく高まるので、特に十分な灌水を行う。

##### 【本田準備 (育苗期間中)】

水田およびその周辺を除草しておく。基肥 (量は後述) を均一に散布し、耕起を兼ねて土壌に混入する。移植の2～4日前に、土表面が半分程度水没するまで入水し、土壌をよく攪拌し均平にする (代かき)。水位が速く低下するようなら、排水口の点検、水田内縁辺の土の踏み込み、畦畔シート埋設などの漏水対策を講じる。

##### 【移植 (5月～6月)】

条間0.3m、株間0.15m、1株2～3個体を基準としながら、適当な密度で移植する。例えば倒伏が予想される品種では疎植、作期が晚い場合や早生品種の場合は密植、採種栽培では1株1個体が適当。移植後約1週間は保温と雑草防除のために5cm以上の深水を保つ。この間に土壌処理除草剤を散布する。

##### 【施肥 (5月～7月)】

水田1㎡当たりN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、およびK<sub>2</sub>O各約10gを施肥総量とし、これを3分して、耕起前 (基肥)、移植約1ヶ月後 (分けつ期追肥) および出穂の約20日前 (穂肥) に施与する。これを基準として、実際の施肥量と時期は土壌肥沃土、品種の堆肥性、栽培目的などに応じて調整する。

##### 【水管理 (5月～9月)】

活着後しばらく浅水状態を保つ。条間の葉が接する頃からは、水位低下により地表面が大部分露出したときに十分入水する程度の灌漑を繰り返す。ただし、出穂・開花期頃は湛水維持が望ましい。

登熟後期（出穂約3週間後）からは入水せず、穂の黄化が始まる頃に排水口を開き落水する。

#### 【病害虫防除】

病虫害の兆候が現れたらただちに診断し、必要に応じて対応薬剤を散布する。

【**収 穫**】85%～90%の籾が緑色を失ったときが成熟期である。収穫にはこれよりもやや遅い方が適しているが、遅れると脱粒・倒伏・品質低下などの問題が生ずる。脱粒は脱穀機を用いる。脱穀の前または後に、籾水分が食用で約15%、種子用ではできるだけ10%以下になるまで乾燥させる。収穫後の水田は雑草が繁茂しないように適宜耕耘などを行う。

#### 4.1.2 ムギ類の栽培

ムギ類には食用のコムギ、オオムギ、ライムギと飼料用のエンバクがあり、これらはほとんどの場合、秋に播種し翌年の初夏に収穫、すなわち冬作される。同じイネ科でも播種後徐々に気温が低下する点が夏作物と大きく異なる。そし春先の温度上昇とともに生育量が急速に増し、出穂・開花・登熟へと進む。

【**種子準備（10月～11月）**】ムギ類の多くは一定期間冷温にさらされないと花芽が分化しない低温要求性を有する。その程度（秋播性）は、特にコムギの場合、品種によって大きく異なり各品種の適応地域と対応している。必要な種子量は、栽培面積1㎡当たり5g～10g。種子伝染性の病害が多いため、通常は殺菌剤処理を施す。

【**圃場の準備と播種（11月上中旬）**】施肥量の目安は、1㎡当たり約10gのN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、およびK<sub>2</sub>Oおよび石灰（苦土石灰）50～100gで、Nの半量と他の全量を基肥として散布し、耕起時に土壤に混入する。圃場の排水程度によって、適当な間隔で排水溝を設ける。排水が特に悪い場合は畦を立てる。播種面を砕土・整地する。播種方法には条播と全面ばらまきがあり、条播は条間0.3m～1m、播き幅0.1m～0.3mの範囲で播き幅が狭い場合をドリル播きと呼ぶ。条播では3cm程度の溝を切って播種し覆土をする。ばらまきの場合は種子を均一に散布後、全体を5cm程度に浅く耕して種子を土中に混入する。手除草が可能なときは除草剤散布の必要はない。除草剤を散布する場合、砕土が十分でないとは効果が劣りまた薬害の原因となるので注意する。

【**踏圧（1月～2月）**】節間伸長が始まる2月中旬までに、植物体を踏圧（麦踏）することが多い。これは、倒伏を防止し穂ぞろいを良くする効果があると考えられている。土壤が乾燥しているときに、条に沿って文字通り植物体を軽く踏む。ローラーを用いることもある。

【**追肥（12月～3月）**】1月～2月に分けつ促進のために、2月～3月に穂肥として、それぞれ1㎡当たりNを2～3g散布する。近年は、種子タンパク含量増大のために後期の追肥量を増やす傾向が強いが過剰なN施肥は倒伏を招来する。

【**収穫（5月～6月）**】出穂後40日から50日で、植物体の緑色がほとんど抜けて黄化し成熟期に達する。イネの籾に比べて成熟期の穀粒水分が高いため、爪先では容易につぶせない程度に子実が硬くなるまで、またコムギの場合、穂を手の平で揉んだときにほとんどの穎がはがれる（脱稈）状態になるまで乾燥させてから収穫する。脱穀機を用いて脱粒する。6月は雨天が多いので適期を失しないように注意する。

#### 4.2 トマト

園芸作物は、主食作物を補完する機能を持ち、日々の食生活において、重要な役割を果たしている。園芸作物には、野菜・花卉・果樹があるが、本項では野菜について、次項で果樹について述べる。野菜には、果菜類（トマト・トウガラシ・ナス・キュウリ・メロン・カボチャ等）、葉菜類（キャベ

ツ・ハクサイ・漬菜類・レタス等)、根菜類(ダイコン・ニンジン・レンコン・ジャガイモ等)等、多くの種類があるが、ここでは、果菜類のトマトについて、早熟栽培の概要を述べる。トマトの他の作型の栽培について、また他の作物の栽培については、園芸ハンドブック等関連書を参考のこと。

### 【種苗及び種子予措】

現在、温帯先進諸国で栽培されるトマトの殆どはF1品種である。F1品種は自家採取不能で、栽培時に購入する必要がある。播種前に種子伝染性病害防除のための処理を行う。種子伝染性ウイルスに対しては高温処理、種子伝染性病原菌類に対しては薬剤処理を行う。場合によっては、水に浸して催芽処理を行うが、発芽率の高い種子に対しては必要ない。

### 【播種(1月中旬～2月上旬)】

種子予措の後、播種床に播種する。用土は、パーミキュライト等の無菌培土か、有機質の多い保水排水性に優れる無病土を用いる。必要種子量は、10a当たり60～80mlで、加温した播種床に5～10cmの厚さで用土を入れ、数cm間隔で条播する。5mm程度覆土し、十分灌水した後、30度前後に数日保つ。発芽後は、昼間20～25℃、夜間15～20℃程度で管理する。品種によって、最適管理温度は異なる。

### 【育苗(30～40日)】

移植は1～2回行うが、ここでは1回移植の場合の説明をする。苗の量が多くない時は、育苗期間中、液肥によって施肥管理を行うが、苗の量が多い時は、培土に適量の肥料を混合しておく。施肥量は、用いる培土によって異なるが、植付面積1㎡当たりN100～150g、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>150～200g、K<sub>2</sub>O200～250g程度。移植時に、12cm径の黒ビニルポットに鉢上げする。鉢土は、播種床用土と同様の土を用い、1ポット1個体移植する。移植前は、やや気温を低めに管理するが、移植直後は十分に灌水し、やや気温を高めに管理する。根の活着後は、気温を低めにする。乱形果発生防止のため、夜温を6℃以下にしない。また、灌水量を多くし過ぎないように注意する。

### 【定植(3月中下旬)】

培土には、基肥と十分な量を堆肥(10a当たり5～6トン)と苦土石灰(同150～200kg)を混入する。ハウスでは、塩類集積に留意し、必要に応じて、湛水処理またはクリーニングクロープの栽培を行っておく。また、土壌伝染性病害が予想される場合は、クロールピクリンによる土壌消毒を行う。基肥は、緩効性肥料を各要素10a当たり40kg程度施与する。

適度な条間で定植を行う。収穫の作業を考え、条間は十分にとっておく。株間は30cm程度、条間によっても異なる。第1花房第1花開花時が定植適期。育苗期・定植後初期の高窒素や多灌水は、過繁茂となり、種々の生育障害をもたらすので、灌水量が多くなり過ぎないように注意するとともに、施肥にも気を配る。

実験植物等で、鉢植えにする場合は、水管理に十分注意をする。5月以降、非常に鉢土が乾燥しやすく、また高温になりやすいので、こまめに灌水を行う。

### 【整枝・病虫害管理】

通常、腋芽を除去し、一本仕立てとする。主茎は、適当な花房上(通常6～7花房)で摘心する。摘芽・摘心時、病虫害の感染に気を配る。病虫害に対しては、必要に応じて薬剤散布を行う。

### 【着果促進処理】

早熟栽培の場合、開花時は比較的温暖になってくるので、通常必要ないが、第1～2花房開花時、あまり温度が上がらないようであれば、ホルモン処理を行う。トマトトーン等、市販の着果促進ホルモンをマニュアルに従って、花房散布する。

**【収 穫】**

トマトは、収穫後追熟可能なので、種々の熟度で収穫可能であるが、現在の主力品種は完熟型で、完熟後収穫する。