

温度と作物栽培

植物の生育に一定の温度が必要である。その理由は植物が生物の一種類で、体内の生化学反応がすべて酵素を触媒にして行われているため、その反応速度が酵素の活性に依存する。通常、生物体内の酵素は0℃以下では活性がほとんど現れないが、0℃を超えて30~40℃までは温度が高いほど、活性が高くなり、体内の生化学反応を速く進行させる。大体5~35℃の温度範囲に於いて、温度が10度上昇するごとに、反応速度は約2倍速くなる。但し、一定温度を超えると、酵素に熱変性が発生し、逆に活性が下がる。ある温度を超えると、熱変性が不可逆となり、酵素の活性が完全に失う。従って、作物栽培に於いて温度は非常に重要な要因である。

農業生産に使う温度という概念は気温と地温に分けられる。気温は主に作物の地上部の生育と地下塊茎、塊根の肥大に影響を与えるが、地温は主に種子の発芽と地下根系の生育に影響を及ぼす。

気温とは、大気の温度のこと。通常地表面上1.25~2.0mの高さの大気温度のことを指す。地温とは地表面や地中の温度のこと。通常、農業では耕地の耕作土層の温度を指す。

地表面は昼間に太陽エネルギーを受けるので、地表が温められ、温度が上昇する。その地表から放射された熱（地表放射熱）により空気が温められて、気温も昇る。つまり、太陽エネルギーは直接空気を温めるのではなく、まず地面を温め、それから空気が温められるのである。地表温度が高くなるにつれて、一部の熱が地表から地下に伝わり、地面に近い土壤の地温も上昇し始める。しかし、午後に入ってから地表面の受けた太陽エネルギーの量がだんだん少なくなり、夜になると太陽からのエネルギーがなくなり、地表温度が下がり、気温も一歩遅れの形で低下する。ただし、土壤の伝熱性が悪いので、気温に比べて地温の低下が緩やかである。図1は太陽光エネルギーが気温と地温に及ぼす影響、図2は4種類地表の地温と気温の日変化を示す。

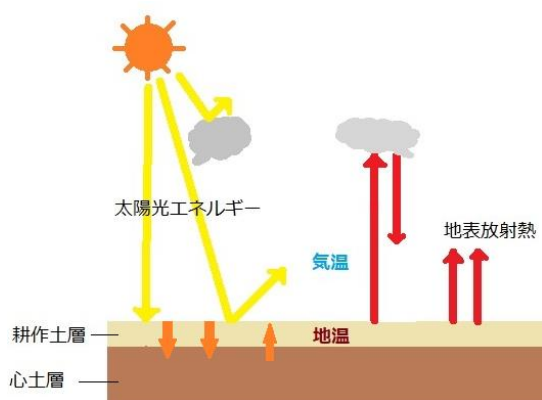


図1. 太陽光エネルギーと気温、地温の関係

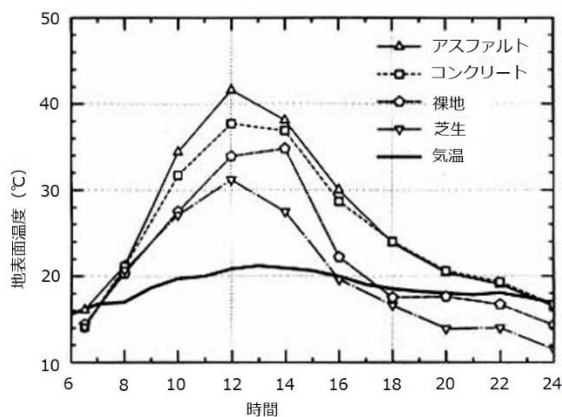


図2. 4種類地表の地温と気温の日変化
(杉本・近藤; 地表面に近い大気の科学より転載)

図 2 に示すように地表は直射日光を直接浴びているため、その温度の変化幅が大きい。特に黒いアスファルト舗装及びコンクリート舗装の地面ではその温度が正午気温の倍となっている。従って、気温と地表の温度は太陽光から注ぐ光エネルギーの量（日射量）と地表から放射される熱（地面放射）のバランスでほぼ決められる。気流（風）、地形、標高、植生、人類活動による排熱なども気温と地温に影響を及ぼしている。

しかし、地表より 5cm 以下耕作層の地温変化が気温より緩やかになっている。なお、地表より 50~100cm 以下の心土層では、地表の温度変化の影響をほとんど受けず、年間 15~20℃の恒温を保っている。図 3 は千葉あるところの夏と冬の気温と地温の日変化を示すデータである。1 日の最低気温と最高気温の温度差が優に 10℃を超えたが、最低地温と最高地温の温度差が 3~4℃の範囲に収まっている。

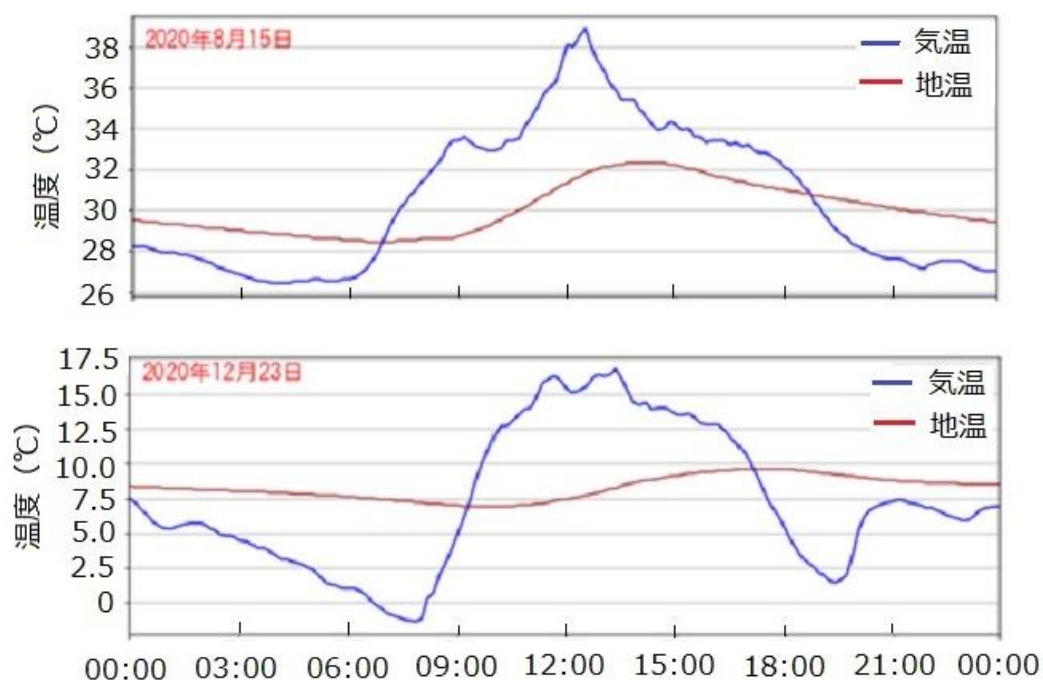


図 3. 千葉の夏（8月15日）と冬（12月23日）の気温と地温の日変化

（斎藤典之 https://note.com/nohen_saito/n/n13e6db9d79b8 より引用）

日射量は気温と地温に最も影響を与える因子である。太陽と地球の天体運動に伴う太陽光の入射角度の変化により、日射量も変化する。従って、気温と地温は 1 年周期で季節変化し、1 日周期で日変化する。一般的に、年周期と日周期では太陽高度が高く、日照時間が長いほど、気温と地温が高くなる。

普通、植物が耐えられる温度範囲は -30℃から 45℃までといわれている。但し、5℃以下と 35℃以上の温度に於いて、植物が低温または高温によるダメージを軽減するため、新陳代謝を最小限に抑え、休眠に入ってしまうことが多い。当然その生長が停止する。

このように、植物がダメージを受けながら耐えられる温度を「生存温度」、極短時間で耐

えられる温度を「限界温度」、正常に生育できる温度を「生育温度」、生育に最も適した温度を「生育適温」と呼ばれる。植物の生存温度、生育温度及び生育適温の模式を図4に示す。

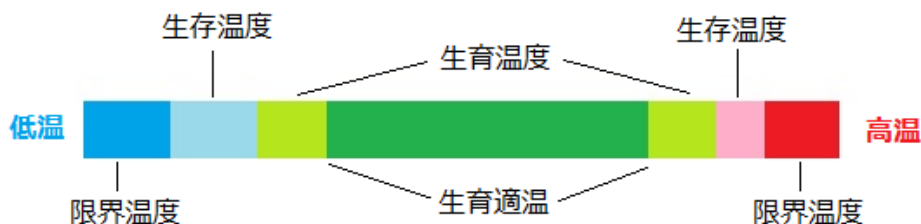


図4. 植物の生育と温度の模式図

作物栽培に於いて、その種類と品種は栽培しようとする地域の温度（気温及び地温）に適するか否かは非常に重要である。通常、主要な作物の生育温度は大体 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ で、生育適温はおおむね $15^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ といわれている。生育適温範囲内に於いて、温度が高くなると、生長もそれだけ早くなる。

一方、生存温度も非常に重要である。作物種の違いにより生存温度が大きく異なる。例えば、同じイネ科の穀物でも、温帯原産の小麦は生育適温 20°C 前後で、冬眠時に -25°C までの低温を耐えるが、熱帯原産のトウモロコシは生育適温 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ で、 5°C 以下は凍死してしまう。低温に耐えられる小麦でもロシアやカナダのような冬季の最低気温が -30°C 以下のところでは、小麦が越冬できず、冬小麦の栽培が無理で、春小麦しか栽培されていない。

太陽のエネルギーを一杯受け取る熱帯地域では気温と地温が高く、作物生育が速く、水分さえ満足されれば、栽培にはほとんど問題が起きることがない。高緯度地域では太陽エネルギー量が少なく、温度が低く、作物の生長が遅くなる。北極圏や南極圏では温度が低すぎて作物が全く生育できない。従って、作物栽培の適合地域が熱帯と温帯に限定される。

一部の熱帯原産の作物は温度に対する要求が非常に厳しい。例えば、サトウキビの栽培には年間積算温度 5000°C を超え、最低温度 -2°C 以上、無霜期間 330 日以上温度条件が必要であるため、露地栽培の北限は九州南部までである。パパイヤ、マンゴーなどの熱帯果物も熱帯雨林気候の沖縄を除き、日本国内には施設栽培に限られる。

温度は作物の生育だけではなく、花芽形成、開花・結実・成熟にも大きく影響を与える。特に葉菜類にはその花芽分化と抽苔・開花は気温に制御されることが多い。例えばハクサイは幼苗期に 10°C 以下の低温に 10 日以上遭遇すると、花芽が分化し、春先に気温が $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ に上昇すると抽苔して開花する。キャベツも本葉が 10~12 枚程度展開して、結球期に入る前に 10°C 以下の低温に 1 か月以上遭遇すると、花芽が分化し、春先に気温が上昇すると抽苔して開花する。従って、これらの野菜を栽培する際に気温の変動が無視できない。

作物栽培に合わせて温度を調整する手法が次の 3 つしかない。

1. トンネル栽培： トンネル栽培とは、うねに防寒用の透明ポリフィルムやビニルフィルムなどをトンネル状にかけてその中に作物を栽培する方法である。防寒用シートをかけることで外部の冷気や雪を遮り、トンネル内に作物の発芽や生育に必要な気温と地温を保つ

ことができる（図 5）。適した地域は平野部である。

2. マルチ栽培： うねの上を白色または黒色のポリフィルムやビニルフィルムなどで土を被覆して栽培する方法である。被覆することにより地温が高まり、雑草の発生を抑え、また水分の蒸発も抑えられるので、初春の地温が低い時期に播種と定植を行うトマト、ナス、ピーマンなど果菜類をはじめ、多くの野菜類の栽培に採用されている（図 6）。ただし、マルチ栽培は地温を高めるだけで、気温には影響しない。



図 5. トンネル栽培



図 6. マルチ栽培

3. 施設栽培： 透明のガラスやプラスチックを利用して、透光性の温室や鉄骨ハウスを建て、中に作物を栽培する方法である。人工加熱や人工照明などで気象や根圏等の環境条件を人為的に制御しながら、作物の生産性や品質向上を図る（図 7）。外部と完全隔離して、最適照度、温度と養水分など作物生育環境を恒常に保つことができる植物工場はその極めである。



図 7. 施設栽培

ただし、トンネル栽培とマルチ栽培では気温や地温を上昇させるには限界があり、後の片付けも大変である。ガラス温室やビニルハウスは気温や地温の調整に非常に有効である

が、初期投資が嵩み、運転と維持費用も高いので、栽培に適する作物種類に限られる。従って、作物栽培の基本は地域の環境条件（土壌、気象など）に適する作物の種類を選び、季節（主に気温と地温）に合わせて播種・育苗、定植などを行うことである。

表 1 は主な作物をその生育適温により高温性作物、中温性作物と低温性作物に分けて、それぞれの発芽適温と生育適温を示すものである。なお、高温性作物が大体原産地が熱帯で、高温環境に適して、春夏栽培のものが多い。中温性作物と寒冷性作物は原産地が温帯のもので、特に寒冷性作物は秋冬栽培のものが多い。

表 1. 主な作物の発芽温度と生育適温

高温性作物（生育適温が概ね 20～30℃の作物）						
作物名	発芽温度（℃）			生育温度（℃）		
	最低	適温	最高	最低	適温	最高
トウモロコシ	10	25～30	40	10	20～30	35
サツマイモ	15	25～35	—	15	18～30	35
サトイモ	15	20～30	35	15	20～33	38
ニガウリ	—	25～30	—	15	20～30	35
カボチャ	15	25～30	40	10	20～30	35
スイカ	15	25～30	35	15	25～30	35
メロン		25～30		15	20～30	—
ナス	15	20～25	35	10	20～30	35
トウガラシ	15	25～30	35	10	20～30	35
ピーマン	15	25～30	35	10	20～30	35
オクラ	20	25～30	35	15	22～30	35
エダマメ	15	22～28	—	15	20～25	35
ラッカセイ	15	20～30	35	15	25～30	35
ゴマ	20	25～35	40	15	25～35	40
サトウキビ	15	20～25	35	10	20～32	40
ヒマワリ	10	20～25	35	15	20～30	35
タバコ	8	24～29	30	8	25～30	38
中温性作物（生育適温が概ね 15～25℃の作物）						
コムギ	4	22～28	40	12	18～25	32
イネ	8	15～25	30	15	20～25	32
キュウリ	18	25～30	30	12	18～25	30
トマト	15	20～28	30	10	15～25	35
インゲンマメ	15	20～25	30	10	20～25	33

ゴボウ	10	20～25	35	10	20～25	35
寒冷性作物 （生育適温が概ね 20℃未満の作物）						
ジャガイモ	10	15～20	25	5	15～20	25
エンドウ	10	15～25	30	5	15～20	25
ソラマメ	10	15～25	30	5	15～23	25
ダイコン	4	20～25	35	10	15～20	25
カブ	8	20～25	35	10	15～20	25
ニンジン	10	15～25	30	3	18～21	30
タマネギ	10	15～20	25	5	10～20	25
ナタネ	10	15～25	30	5	15～20	30
結球レタス	10	18～20	28	10	15～20	25
シュンギク	10	15～20	25	5	15～20	25
ブロッコリー	10	20～25	30	5	15～20	25
カリフラワー	10	20～25	35	5	18～20	23
コマツナ	5	20～25	30	5	15～25	30
キャベツ	8	15～25	30	5	15～20	28
ハクサイ	5	20～25	30	5	15～20	30
セロリ	15	18～20	25	5	15～20	25
ホウレンソウ	10	15～20	30	5	15～20	25
ネギ	4	15～20	30	5	10～20	25
イチゴ	—	—	—	5	18～25	28

同じ作物でも、各地域の固有品種（土着品種）や各種苗メーカーの育成方針に沿って育成した品種によって異なることがあるので、上記の発芽適温と生育適温を目安として参考してください。