

温度与作物生育的关系

植物需要在一定的温度环境下才能生长。其根本原因在于植物作为生命体，体内所有的生物化学反应都需要以酶为催化剂进行，能否进行反应以及其反应速度完全取决于酶的活性。通常，生物体内的酶在低于 0°C 的温度下几乎失去活性，不参与反应。但当温度高于 0°C 后，酶开始表现出一定的活性，可以催化生物体内的生化反应。在一定的范围内温度越高酶的活性越大。通常，在 5~35°C 的温度范围内，温度每升高 10°C，生化反应的速率大约增加两倍。但温度升高到一定程度后，酶就会因高温而发生热变性，降低或失去反应活性。若超过一定的温度阈值，则会酶会发生不可逆的热变性，完全失去反应活性。因此，温度条件是作物栽培上的一个非常重要的因素。

农业生产中所使用的温度概念可区分为气温和地温(土壤温度)2种。气温是大气的温度，通常指距地表 1.25~2.0m 高度处的大气温度。地温是指地面或靠近地面的土壤温度。在农业上，地温通常指耕地的耕作土层中的温度。气温主要影响农作物的地上部分生长和地下块茎、根的膨大，而地温主要影响种子的发芽和地下根系的生长，养分吸收功能的强弱。

白天，地表在接收了来自太阳的光能后，能使地表变暖并提高其温度。地表受热后辐射出来的热量(表面辐射热)可使地表空气变暖而使得气温升高。换句话说，来自太阳的光能并不是直接加热空气，而是先加热地面后再提高空气的温度。随着地表温度的升高，地面吸收的部分热量从地表传导到地面下方，靠近地面的土壤温度也开始逐渐升高。然而，到了晚上，随着来自太阳的光能消失，直接导致地表温度下降而使得气温和地温亦随着下降。但由于土壤的导热性较差，地表土壤温度的升高和下降速度都慢于空气的温度。图 1 显示了太阳光能对空气和土壤温度的影响，图 2 显示了四种不同地表的的地温和气温在 1 天内变化的比较。

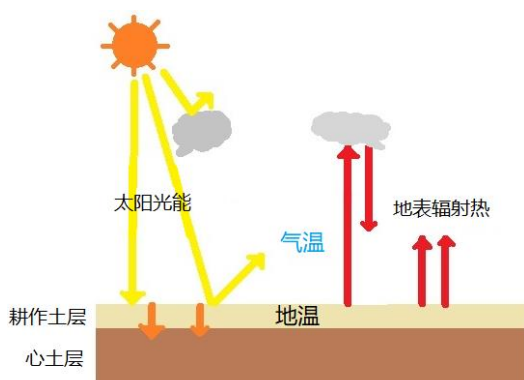


图 1. 太阳光能与气温和地温的关系

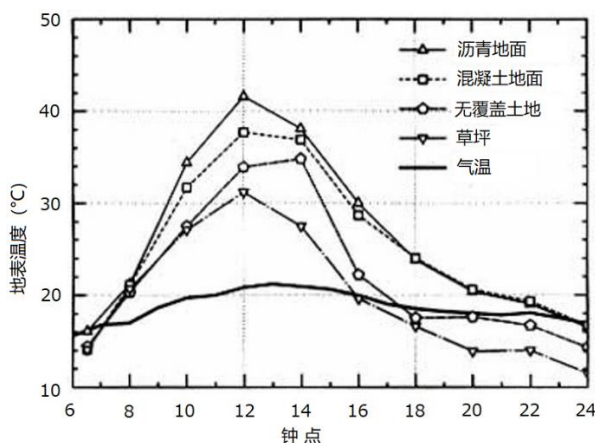


图 2. 4 种地表类型的地面温度和气温的日变化 (引用自杉本・近藤；地表面に近い大気の科学)

如图 2 所示，地表受到阳光的直接照射，其温度变化很大。尤其是黑色沥青路面和混凝土

路面，中午的地表温度可高达气温的两倍。气温和地表温度大致由太阳光注入的光能（太阳辐射）与地球表面辐射的热量（地面辐射）之间的平衡来决定。气流（风）、地形、海拔、植被和人类活动产生的废热也会影响到气温和地温的变化。

但是，因为土壤的热传导性较差，地表下 5cm 以下耕作土层的土壤温度变化要比气温变化来的缓慢平稳。位于地表以下 50 至 100 厘米处的心土层则几乎不受地表温度变化的影响，常年保持 15~20℃ 的恒定温度。图 3 显示了日本千葉县夏季和冬季气温和耕作土层的土壤温度逐时变化的数据。夏天和冬天的同一天的最低气温和最高气温相差远超过 10℃，但土壤最低和最高温度的相差值仅在 3~4℃ 的范围内。

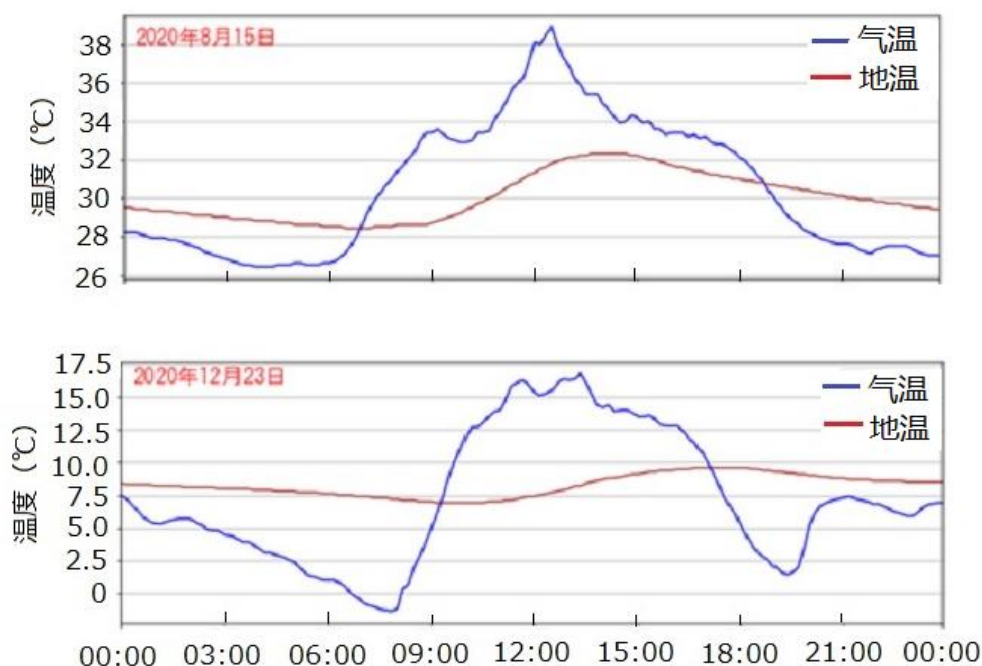


图 3. 日本千葉县夏天（8 月 15 日）和冬天（12 月 23 日）的气温和地温的逐时变化
（引用自齋藤典之 https://note.com/nohen_saito/n/n13e6db9d79b8）

来自太阳的光能是对气温和地温影响的最大因素。由于太阳和地球之间的天体运动导致了太阳光的入射角发生变化，日照时间也出现较大的变化，所以照射到地表的太阳光的能量也会发生变化。因此，气温和地温在年周期中随季节而变化，在日周期中则随着太阳高度的改变而变化。一般来说，在年周期和日周期中，太阳高度越高、日照时间越长，气温和地温就会越高。

通常，植物能够耐受的温度范围是 -30℃ 到 45℃。但在低于 5℃ 或高于 35℃ 的温度下，植物往往会进入休眠状态，最大限度地减少其自身的新陈代谢活动，以减少低温或高温对植物体造成的损害。当然，植物在休眠期间就会停止生长。

植物能够维持正常生长的温度范围被称为“生育温度”，最适合生长的温度范围则被称为“生长适温”。超出了生长温度范围外的高温或低温会给植物造成一定的损害，但仍能够维持住

自身生命能力的温度范围称为“生存温度”，植物能够在极短的期间内可以承受的最大的温度则称为“极限温度”。图 4 为植物的生长温度和最适生长温度，生存温度和极限温度的示意图。

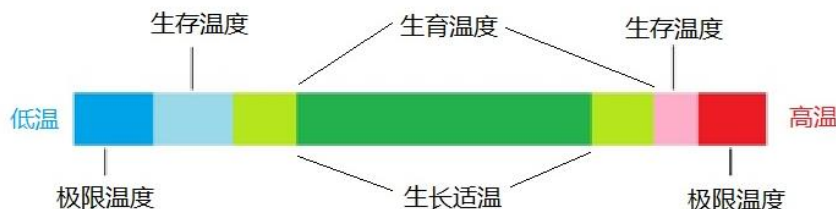


图 4. 温度对植物生育的影响示意图

在农业生产中，所选择栽培的农作物种类和品种是否适合所在地区的温度（气温和地温）是一个非常重要的问题。通常，主要农作物的生育温度范围在 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，最适生长温度约为 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。在最适宜生长的温度范围内，温度越高，生长就越快。

另一方面，生存温度这个概念也很重要。生存温度根据作物种类的不同而有很大差异。例如，同属禾本科植物的谷物中，原产于温带地区的小麦，其最适生长温度为 20°C 左右，冬眠时可承受低至 -25°C 的温度，而原产于热带地区的玉米，其最适生长温度为 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，但不能承受低温，若温度低于 5°C ，就会被冻死。即使是能耐一定低温的冬小麦，冬季最低气温低于 -30°C 的环境里亦无法越冬。所以在俄罗斯、加拿大等高纬度寒冷地区因为冬小麦不能越冬，所以只能种植春小麦。

在热带地区，因为太阳光能充足，气温和地温高，有利于植物生长，只要有足够降雨或灌溉，能够满足农作物生长所需的水分，则农作物的栽培很少会出现问题。而温带地区太阳光能较少，冬季气温低，农作物通常只能在春～夏季期间内生长。高纬度的北极和南极地区，因缺少太阳光能，气温很低，农作物无法生长。因此，适宜农作物种植的地区仅限于热带和温带地区，而且栽培季节多限制在春，夏，秋这 3 个季度。

一些热带作物的生长对温度条件有非常严格的要求。例如，种植甘蔗要求年积温 5000°C 以上，最低气温 -2°C 以上，无霜期至少 330 天的气候条件，因此日本甘蔗的露地栽培的北限是九州南部。木瓜和芒果等热带水果则通常只能在温室设施中栽培。但日本的冲绳县因为受到海洋暖流的影响，属于热带雨林气候，不会下霜和结冰，所以可以在室外栽培众多种类的热带水果。

温度不仅极大地影响着植物的生长，而且还影响到植物的花芽形成、开花、结果和成熟。特别是叶类蔬菜的花芽分化、抽苔和开花往往会受到温度的控制。例如，大白菜在苗期经历 10°C 以下低温超过 10 天后就会出现花芽分化现象，早春气温升至 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时就会抽苔开花。卷心菜在长出了 $10\sim 12$ 片叶子尚未进入结球期前如果遇到长达一个月以上的 10°C 以下的低温，就会出现花芽分化，早春气温升高后就会抽苔开花。所以在栽培这些蔬菜种类时，不能忽视气温对花芽分化的影响，以免在收获前就出现了抽苔开花，造成减产。

在实际栽培上，可以使用以下的 3 种方法来调节小范围的气温和地温，以满足作物栽培

所需的温度条件。

1. 塑料薄膜隧道栽培：塑料薄膜隧道栽培是在用细铁管和塑料薄膜搭成的低矮的隧道内种植农作物的方法。在耕地上先用细铁管插入地面搭成半圆形的框架后再覆盖上聚乙烯薄膜以隔离外界的冷空气和霜雪，保持太阳光能的辐射热，使得隧道内可以维持一定的气温和地温，以满足农作物发芽和生长（图 5）。

2. 地膜覆盖栽培：耕地上条状覆盖白色或黑色聚乙烯薄膜的栽培方法。聚乙烯薄膜的覆盖可以提高土壤温度，抑制杂草生长和水分蒸发，促进作物发芽生长和根系的生长。适用于早春地温较低的时期播种栽培西红柿、茄子、辣椒等果蔬以及许多其他蔬菜（图 6）。但是，地膜覆盖栽培只对地温起作用，不会影响到气温。



图 5. 塑料薄膜隧道栽培



图 6. 地膜覆盖栽培

3. 设施栽培：这是用钢构件和玻璃或透明塑料建造成大棚或钢架温室，在里面种植农作物的方法。可以通过人工加温和人工照明来人为地控制气温和地温等环境条件，从而提高作物的生产性能和收获物的品质（图 7）。植物工厂就是这方面的终极例子。因为设施内的环境与外界基本完全隔离，可以保持恒定的环境，包括适合农作物生长的最佳的光照、温度和养分水分。



图 7. 施設栽培

然而，塑料薄膜隧道栽培和地膜覆盖栽培在提高气温和地温方面有一定的局限性，且栽培后的废膜需要清理废弃。大棚和玻璃温室在调节气温和地温方面非常有效，但初期投资和运行维护成本较高，限制了适合栽培的农作物种类。因此，农作物栽培的基础是选择适合当地环境条件（土壤、气候等）的农作物种类，并根据季节（主要是气温和地温）来进行播种、育苗、定植等栽培工作。

表 1 是根据主要农作物种类的生长适温范围将其分为高温性作物、中温性作物和低温性作物，并给出了各种农作物的发芽和生长的最适温度。需要注意的是，大多数高温性作物起源于热带地区，适合高温环境，因此很多都需要在春~夏季种植。中温性作物和低温性作物则多起源于温带地区，特别是相当多的低温性作物适合在秋季和冬季播种栽培。

表 1. 主要农作物的发芽温度和生长适温

高温性作物（其生长适温大概在 20~30℃的农作物）						
作物名称	发芽温度（℃）			生育温度（℃）		
	最低	适温范围	最高	最低	适温范围	最高
玉米	10	25~30	40	10	20~30	35
红薯	15	25~35	—	15	18~30	35
芋头	15	20~30	35	15	20~33	38
苦瓜	—	25~30	—	15	20~30	35
南瓜	15	25~30	40	10	20~30	35
西瓜	15	25~30	35	15	25~30	35
甜瓜		25~30		15	20~30	—
茄子	15	20~25	35	10	20~30	35
辣椒	15	25~30	35	10	20~30	35
菜椒	15	25~30	35	10	20~30	35
秋葵	20	25~30	35	15	22~30	35
毛豆	15	22~28	—	15	20~25	35
花生	15	20~30	35	15	25~30	35
芝麻	20	25~35	40	15	25~35	40
甘蔗	15	20~25	35	10	20~32	40
向日葵	10	20~25	35	15	20~30	35
烟草	8	24~29	30	8	25~30	38
中温性作物（其生长适温大概在 15~25℃的农作物）						
小麦	4	22~28	40	12	18~25	32
水稻	8	15~25	30	15	20~25	32
黄瓜	18	25~30	30	12	18~25	30

西红柿	15	20~28	30	10	15~25	35
菜豆	15	20~25	30	10	20~25	33
牛蒡	10	20~25	35	10	20~25	35
低温性作物 (其生长适温大概是 20℃ 以下的农作物)						
马铃薯	10	15~20	25	5	15~20	25
豌豆	10	15~25	30	5	15~20	25
蚕豆	10	15~25	30	5	15~23	25
萝卜	4	20~25	35	10	15~20	25
芜菁	8	20~25	35	10	15~20	25
胡萝卜	10	15~25	30	3	18~21	30
洋葱	10	15~20	25	5	10~20	25
油菜	10	15~25	30	5	15~20	30
结球生菜	10	18~20	28	10	15~20	25
春菊	10	15~20	25	5	15~20	25
西蓝花	10	20~25	30	5	15~20	25
花椰菜	10	20~25	35	5	18~20	23
小松菜	5	20~25	30	5	15~25	30
卷心菜	8	15~25	30	5	15~20	28
大白菜	5	20~25	30	5	15~20	30
芹菜	15	18~20	25	5	15~20	25
菠菜	10	15~20	30	5	15~20	25
大葱	4	15~20	30	5	10~20	25
草莓	—	—	—	5	18~25	28

即使是同一种类的作物，各地区的特有品种（本地品种）以及各个种子公司不同的育种方针繁育出的品种的生长适温有可能存在一定的差异，因此上述表 1 所记述的发芽温度和生长适温仅作为参考。

在栽培农作物前，必须先行搞清楚该作物的最适发芽温度和生长温度范围，在气温和地温达到该作物发芽生长所需的适合温度后才能进行播种或定植，以免出现发芽不齐或生长不良，造成减产或失收的现象。