

آزمایشگاه آموزشی  
بیست و دومین المپیاد  
زیست‌شناسی ایران

# گیاه‌شناسی

## برگ

روز چهارم  
۹۸/۵/۳

اهداف آزمایش:

۱. آشنایی با ویژگی‌های آناتومیک و تاکسونومیک برگ‌ها
۲. کار با کلید شناسایی دوراهی

زمان آزمایش: ۶۵ دقیقه عملی + ۱۵ دقیقه  
آموزشی + ۱۰ دقیقه جمع‌بندی

طراح آزمایش: راحله درزی



این فایل به منظور آموزش عملی دانش پژوهان المپیاد زیست‌شناسی ایران گردآوری شده است.

● شناسایی نمونه‌ها به کمک کلید شناسایی دوراهی بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی و تشریحی برگ (۲۵ دقیقه) | بررسی تیپ‌های فتوسنتزی بر اساس ویژگی‌های تشریحی برگ (۳۵ دقیقه) | شناسایی برش‌های عرضی (۱۰ دقیقه) | بازسازی درخت تبارزایی بر اساس ویژگی‌های برگ (کار در منزل)

- دانش‌پژوه گرامی رعایت نکات ایمنی ، بهداشت و سلامت فردی در اولویت کار شما قرار دارد.
- نگهداری و حفظ میکروسکوپ ها و رعایت قوانین آزمایشگاه الزامی است.
- توضیحات لازم مربوط به نکات ایمنی و قوانین و روش کار را از استاد و کارشناس مربوطه دریافت و قبل از شروع آزمایش روش کار را مطالعه نمایید.
- به زمان در نظر گرفته شده برای این آزمایش دقت کنید.
- طرز کار در ابتدای هر بخش تدریس خواهد شد و فایل های تکمیلی در صورت نیاز در اختیار دانش پژوه قرار خواهد گرفت.
- نمونه ها و وسایل مورد نیاز آزمایش روی میز کار هر فرد قرار دارد.
- قبل از شروع کار ۵ دقیقه فرصت دارید تا وسایل خود را با پروتکل چک نموده و در صورت کمبود اعلام نمایید در غیر اینصورت به درخواست شما رسیدگی نخواهد شد.
- تا پایان کلاس نمونه ها و لام های خود را دور نیندازید.
- در پایان در صورتی که استاد و کارشناس مربوطه اجازه ی دور انداختن لام ها را دادند، هر یک را در ظروف مخصوص دفع لام دور بیندازید.
- در پایان کلاس مواد گیاهی دورریز مانند برگ های تشریح شده و .. را در ظرف جدا دور بیندازید.
- در پایان کار میز کار خود را مرتب نمایید.
- لوپ و میکروسکوپ ها را به حالت اولیه (استیج پایین و روی عدسی ۴) قرار دهید و خاموش نمایید.
- صندلی ها را در محل مخصوص خود قرار دهید.

## شناسایی نمونه ها به کمک کلید شناسایی دو راهی بر اساس

### ویژگی های ریخت شناسی و تشریحی برگ (۲۵ دقیقه)

کلید شناسایی دو راهی به عنوان راهنما در گروه بندی موجودات زنده اعم از گیاهان استفاده می شود. این کلید شامل صفات و ویژگی هایی است که فقط دو حالت دارند و هر موجود براساس آن می تواند در یکی از دو گروه قرار بگیرد مانند داشتن و نداشتن دانه در گیاهان که آن ها را به دو گروه بزرگ گیاهان دانه دار و گیاهان بی دانه تقسیم می کند. در این بخش شما شش عدد نمونه برگ (۱،۲،۳،۴،۵،۶،۷) از گونه ها یا تاکسون های متعددی در اختیار دارید. با استفاده از نکات و شکل ها و صفات مربوط به بخش برگ (به کمک پیوست ۱) و کلید شناسایی که بر اساس صفات برگ ایجاد شده است نمونه هایی که در اختیار دارید را شناسایی نمایید.

#### دستگاه ، مواد و ابزار مورد نیاز:

۱. میکروسکوپ نوری: ۱ عدد
۲. لام و لامل: ۷ عدد
۳. تیغ: ۱ عدد
۴. هفت عدد نمونه برگ ( ۱-۲-۳-۴-۵-۶-۷ )

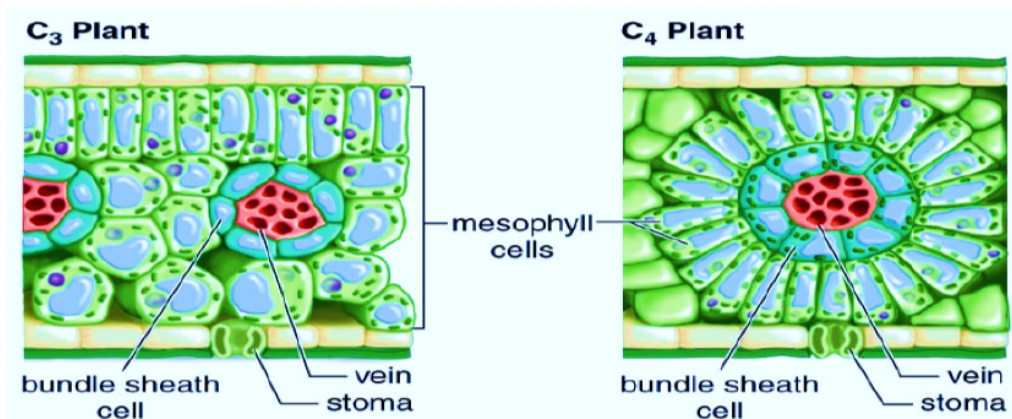
#### روش کار ۱ : بر اساس کلید دوراهی زیر نمونه ها را شناسایی نمایید.

۱. رگبرگ موازی..... ۲
۱. رگبرگ منشعب..... ۳
۲. اپیدرم برگ های دارای سلول نگهبان روزنه دمبلی شکل..... p
۲. اپیدرم برگ دارای سلول نگهبان روزنه لوبیایی شکل..... g
۳. برگ ساده..... ۴
۳. برگ مرکب شانه ای..... r
۴. قاعده برگ متقارن..... ۵
۴. قاعده برگ نامتقارن..... u
۵. پهنک برگ دارای کرک های ساده یا بدون کرک..... ۶
۵. پهنک برگ دارای کرک های منشعب خوشه ای..... a
۶. برش عرضی برگ دارای بلور دراس..... k
۶. برش عرضی برگ دارای بلور سیستولیت..... f

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
نام نمونه							

## بررسی تیپ‌های فتوسنتزی بر اساس ویژگی‌های تشریحی برگ (۳۰ دقیقه)

۱. تشخیص تیپ‌های فتوسنتزی بر اساس ویژگی‌های تشریحی برگ (۱۵ دقیقه)  
تصویر زیر تفاوت‌های تشریحی برگ و تفاوت توزیع کلروپلاست در میانبرگ یک گیاه C3 را با یک گیاه C4 نشان می‌دهد.

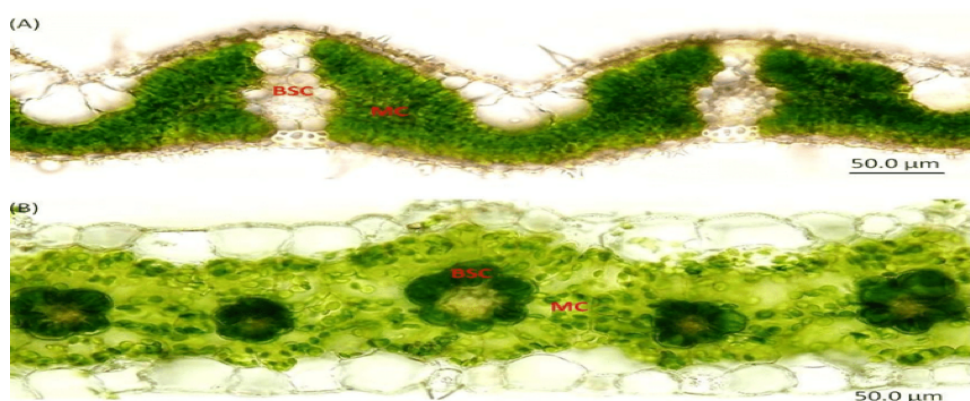


در ادامه یک مثال از گیاهان C3 و C4 گفته شده است.

(A) C3 leaf (*Oryza sativa* L., rice variety IR64).

(B) C4 leaf (*Setaria viridis*).

سلول‌های میانبرگ (مزوفیلی) (MC) در برنج پر از کلروپلاست‌هایی هستند که بیش از 90 درصد کل کلروپلاست‌ها را شامل می‌شود، در حالی که سلول‌های غلاف آوندی (BSC) تعداد کلروپلاست بسیار کمتری دارند که حدوداً شامل کمتر از 10 درصد محتوای کل کلروپلاست‌های برگ برنج می‌باشد.  
در برگ گیاه C4 محتوای کلروپلاست‌ها ی سلول‌های غلاف آوندی برابر با سلول‌های میانبرگ اند.



### مقایسه فتوسنتز در گیاهان C3 ، C4 و CAM

تیپ فتوسنتزی	C3	C4	CAM
آنزیم تثبیت کننده CO <sub>2</sub>	روبیسکو	غیراز روبیسکو	غیر از روبیسکو
محل تثبیت CO <sub>2</sub>	بستره کلروپلاست	سلول های میانبرگ (مزوفیل)	واکوئل سلول
مرحله تثبیت CO <sub>2</sub>	چرخه کالوین	قبل از چرخه کالوین	قبل از چرخه کالوین
زمان باز شدن روزنه های هوایی، و زمان تثبیت CO <sub>2</sub>	روز	روز	شب
زمان چرخه کالوین و زمان تولید قند در فتوسنتز	روز	روز	روز
مرحله ساخته شدن قند در فتوسنتز	چرخه کالوین	چرخه کالوین	چرخه کالوین
محل ساخته شدن قند در فتوسنتز	تمام سلول های فتوسنتزکننده	سلول های غلاف آوندی	تمام سلول های فتوسنتزکننده
آناتومی برگ	Large air spaces bordered by loosely arranged spongy mesophyll cells; mesophyll cells but not bundle sheath cells (BSC) contain chloroplasts	Generally thinner leaves, closer arrangement of vascular bundles, smaller air spaces than C3; veins surrounded by thick-walled BSC further surrounded by thin-walled mesophyll cells (wreath-like arrangement of BSC is called Kranz anatomy); mesophyll cells and BSC contain chloroplasts, those of the BSC much larger	Thick and fleshy leaves, mesophyll cells having large, water-filled vacuoles

**دستگاه، مواد و وسایل مورد نیاز:**

۱. میکروسکوپ نوری: اعداد
۲. لام و لامل: ۶ عدد
۳. تیغ: اعداد
۴. ۳ عدد نمونه برگ (W, X, Y)

**روش کار:**

- ابتدا ویژگی های ظاهری هر یک از برگ ها را بررسی نمایید.
- سپس از هر یک از آن ها برش عرضی تهیه نمایید.
- تیپ فتوسنتزی هر یک از گیاهان را مشخص نمایید. در صورت نیاز می توانید از پیوست دو استفاده نمایید.
- بر اساس مشاهدات خود جدول زیر را کامل نمایید.

نام گیاه	تیپ فتوسنتزی	تک لپه یا دولپه
W		
X		
Y		

**بخش ۲. تشخیص تراکم نشاسته در برگ گیاهان C3 و C4 ( ۱۵ دقیقه)**

**دستگاه ، مواد و ابزار مورد نیاز:**

۱. میکروسکوپ نوری: یک عدد
۲. لام و لامل: دو عدد
۳. تیغ: یک عدد
۴. ۴ عدد نمونه برگ ( Y-X-W ) که در مرحله قبل تیپ فتوسنتزیشان را شناسایی نمودید.
۵. آب ژاول ده درصد
۶. اسید استیک دو درصد
۷. آب مقطر
۸. محلول لوگل
۹. قطره چکان سه عدد

#### روش کار:

- یک برش عرضی مربوط به نمونه های برگ (Y-X-W) (گیاهان C3 ، C4 و CAM که در مرحله قبل تیپ فتوسنتزیشان را شناسایی نمودید) را با آب ژاول ۱۰ درصد بی رنگ نمایید. (تا زمان بی رنگ شدن)
- پس از آن برش ها را با آب مقطر چند بار شست و شو دهید.
- سپس در اسید استیک ۲ درصد قرار داده (مساوی با زمان بی رنگ شدن)
- و مجدداً با آب مقطر بشویید.
- سپس چند قطره لوگل روی برش ها ریخته و کمی صبر نمایید. (لوگل یا یدین پتاسیم یدید به عنوان معرف نشاسته)
- و برش ها را زیر میکروسکوپ مشاهده و تراکم نشاسته را در قسمت های مختلف (مزوفیل و غلاف آوندی) بررسی نمایید.

نام گیاه	W	X	Y
محل تراکم نشاسته			



## شناسایی برش‌های عرضی (ایستگاهی) (۱۵ دقیقه)

دستگاه ، مواد و ابزار مورد نیاز:

۱. میکروسکوپ نوری: ۱ عدد

۲. عدد لام آماده از برش‌های عرضی ii و hh، gg، cc، bb

روش کار:

پس از بررسی و مشاهده برش‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف حدس بزنید هر نمونه مربوط به کدام یک از اندام‌های زیر بوده است؟

کاسبرگ	گوشوارک	خار	براکته	گلبرگ	برگ ذخیره‌ای زیر زمینی	برگ ذخیره‌ای فتوسنتزکننده	کلادود (ساقه برگ‌نما)
--------	---------	-----	--------	-------	---------------------------	------------------------------	--------------------------

ii	hh	gg	cc	bb	شکل برش عرضی
					نام اندام

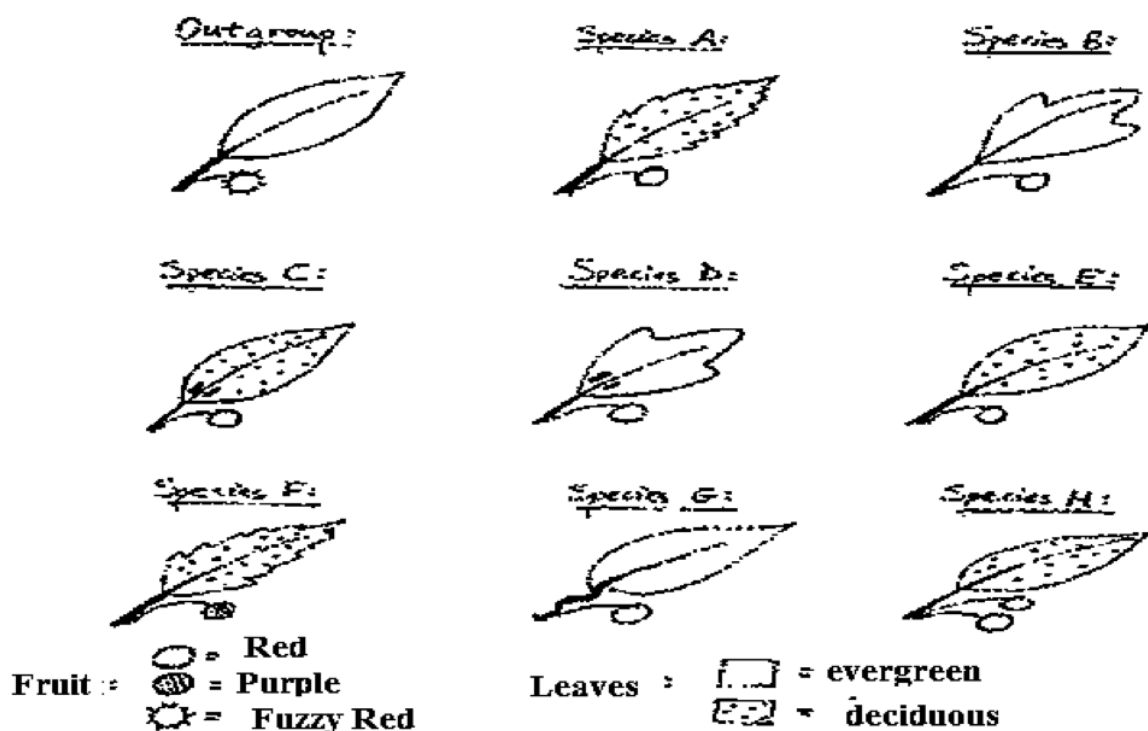
## بازسازی درخت تبارزایشی بر اساس ویژگی‌های برگ (کار در منزل)

با مطالعه ی چگونگی رسم درخت تبار زایشی (از کتاب سیستماتیک گیاهی سیمپسون) و تشکیل جدول صفت × تاکسون روابط تبارزایشی را میان نمونه های A تا H ترسیم نمایید.

صفات

1. **Evergreenness** evergreen vs. deciduous
2. **Leaf shape** simple vs. lobed
3. **Leaf margins** untoothed vs. toothed
4. **Glands on the leaf stalk ("petiolar glands")** present vs. absent (these glands produce nectar that attracts ants, which may protect the plant from destructive herbivores)
5. **Fruit number per cluster** one vs. two
6. **Fruit color** purple vs. red
7. **Fruit texture** fuzzy vs. smooth
8. **Leaf stalk** straight vs. curved

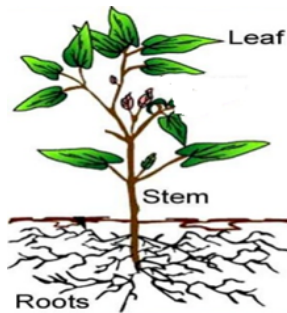
گونه‌ها



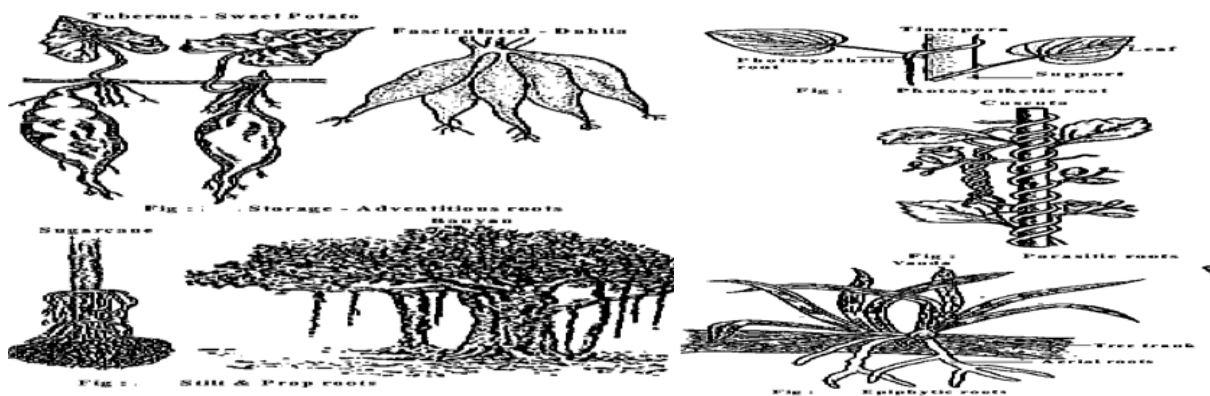
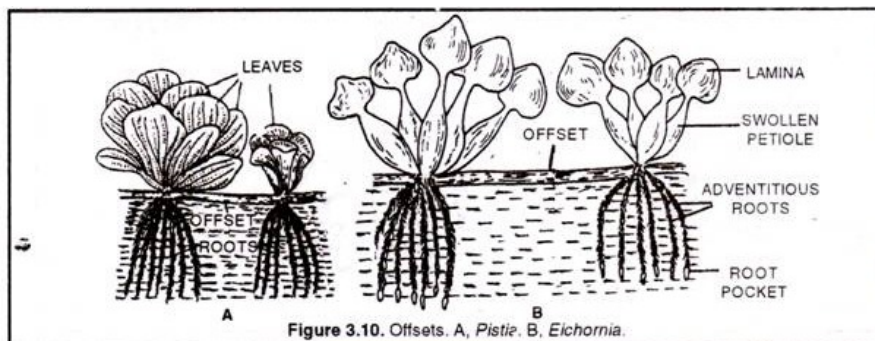
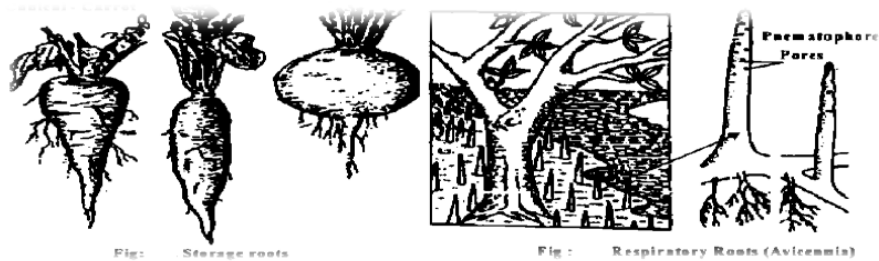
- <http://bankmaghale.ir/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%87-%D8%AE%D8%B5%D9%88%D8%B5%D9%8A%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D9%83%D9%88%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D9%88%D9%84%D9%88%DA%98%D9%8A%D9%83%D9%8A-%DA%AF%D9%8A%D8%A7%D9%87%D8%A7%D9%86-c3c/>
- <http://gorooh.parsiblog.com/Posts/45/%d9%88%d8%a7%d9%83%d9%88%d8%a6%d9%84+%da%86%d9%8a%d8%b3%d8%aa/>
- <http://nargil.ir/Article.aspx?Id=962&cid=4370>
- <http://pierce.wesleyancollege.edu/faculty/brhoades/courses/bio112manual/lab1.html>
- <http://www.biologydiscussion.com/cell/plant-cell/structure-of-a-plant-cell-with-diagram/68806>
- <http://www.biologyeducation.net/classroom/common-stains-for-slide-preparation/>
- <http://ziestsaf.blogfa.com/post/206>
- <https://www.cropsreview.com/c3-plants.html>
- [https://www.researchgate.net/figure/a-Apical-meristem-of-a-Carboniferous-ca-320-Ma-gymnosperm-root-b-Same-image-as\\_fig1\\_322240017?\\_sg=V4N786aU6AAzW\\_-QiQ94E0tyd8Sa\\_bfhQuvv5OTuj4O4hv6GnVf2ZwMq348kg1TMqByLLfHDvhMuyXjeHYg0mIIflqEtjlbui\\_LBkda8LQ](https://www.researchgate.net/figure/a-Apical-meristem-of-a-Carboniferous-ca-320-Ma-gymnosperm-root-b-Same-image-as_fig1_322240017?_sg=V4N786aU6AAzW_-QiQ94E0tyd8Sa_bfhQuvv5OTuj4O4hv6GnVf2ZwMq348kg1TMqByLLfHDvhMuyXjeHYg0mIIflqEtjlbui_LBkda8LQ)

## پیوست ۱. ریخت‌شناسی اندام‌های رویشی گیاهان مانند برگ، ساقه و ریشه

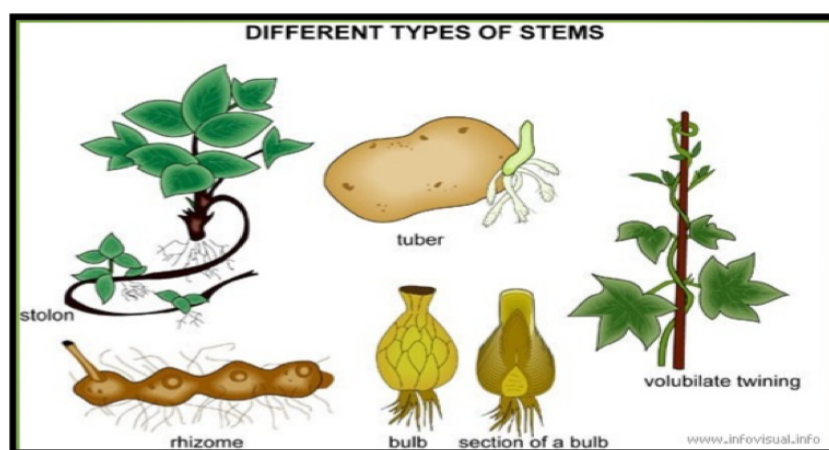
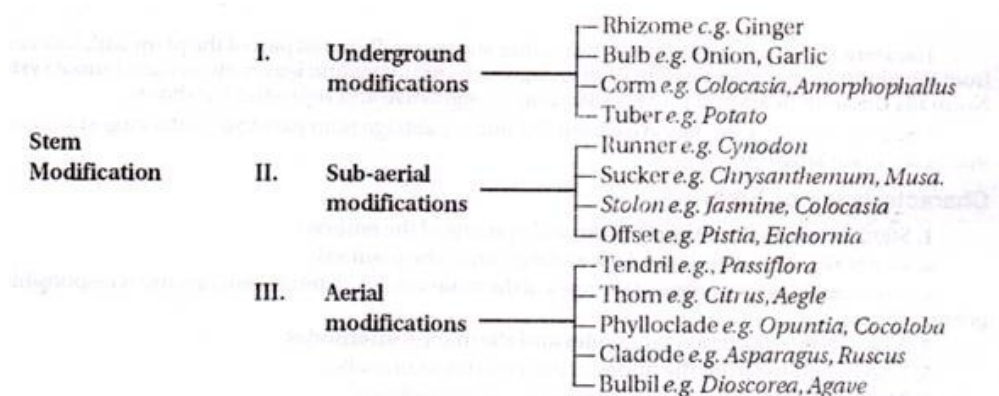
اندام‌های رویشی گیاه شامل سه قسمت زیر می‌شود: ریشه، ساقه و برگ.



**ریشه:** اولین بخش از اندام‌های رویشی گیاه، ریشه است که وظیفه جذب آب و املاح مورد نیاز گیاه را بر عهده دارد و گیاه را محکم در خاک نگه می‌دارد. به استثنای خزه گیان و چند گونه از نهانزادان آوندی که فاقد ریشه‌اند در بقیه گیاهان این اندام به شکلهای مختلف وجود دارد.

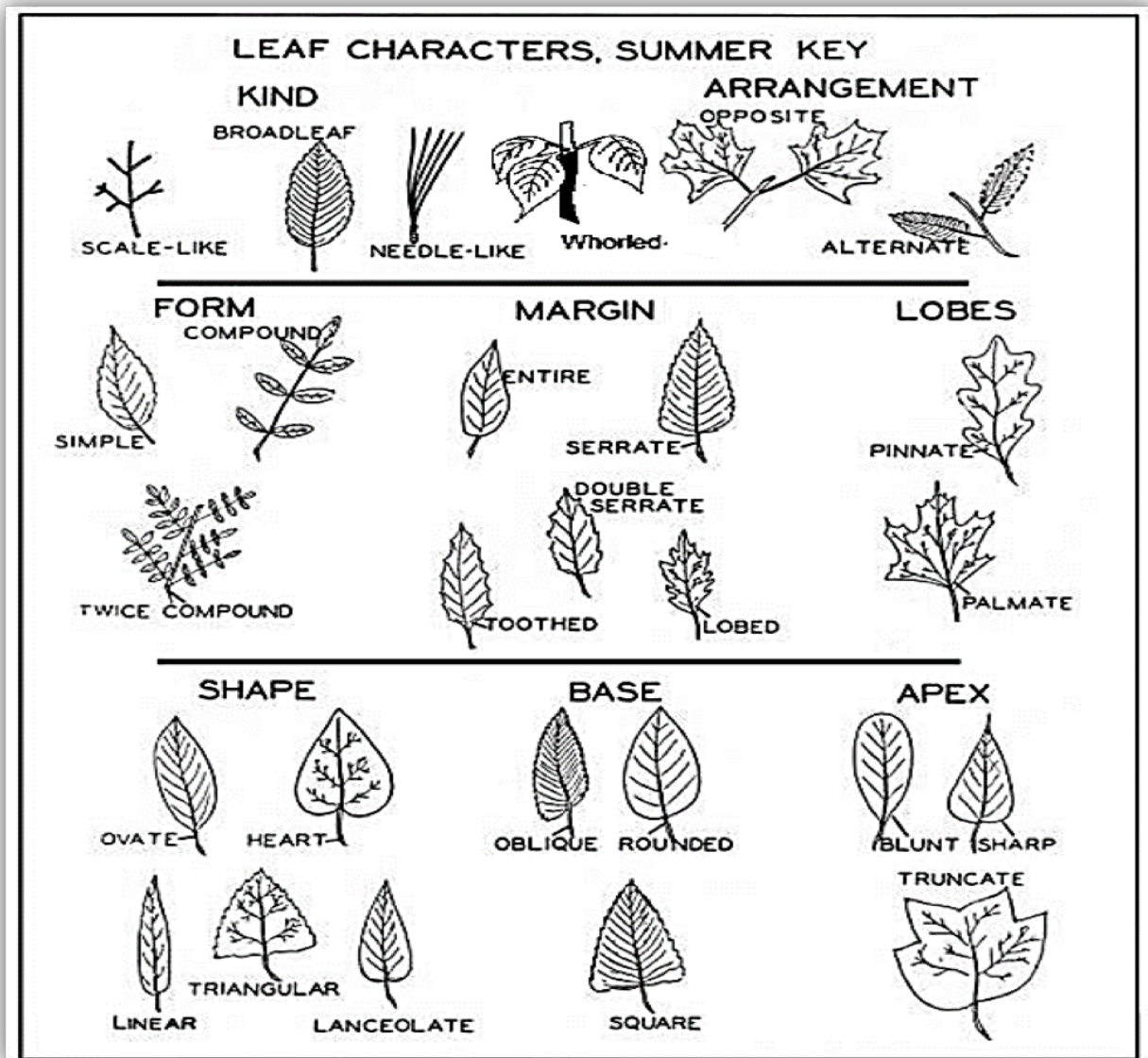
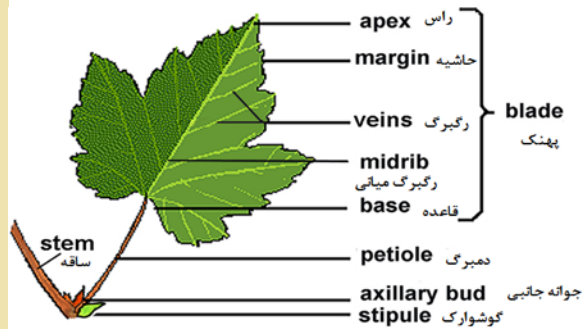
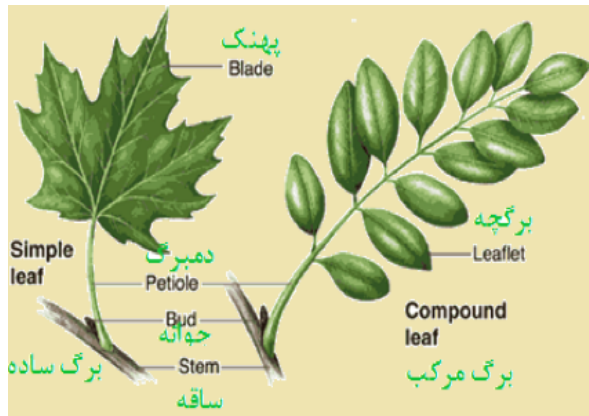


**ساقه:** دومین بخش از اندام های رویشی و بخشی از محور اصلی گیاه، ساقه است که شاخه و برگ ها را روی خود نگه می دارد و حاوی آوند هایی است که شیره خام و پرورده را منتقل می کنند. نقش های نگهداری، هدایت، تولید بافتهای جدید، اندوختن مواد و فتوسنتز را به عهده دارد. ساقه بسته به نوع گیاه در موارد زیر نقش دارد: ۱. محل فتوسنتز است مثل گیاه کاکتوس، ۲. محل ذخیره مواد قندی است مثل نیشکر و ۳-محل ذخیره مواد نشاسته ای است مثل ساقه های زیر زمینی سیب زمینی



**برگ:** سومین بخش از اندام های رویشی گیاه، برگ نام دارد که معمولاً محل انجام فتوسنتز در بسیاری از گیاهان است. برگها اندامهای پهن و سبز رنگ و زوائد جانبی ساقه اند که از مریستم انتهایی نوک ساقه پدید می آیند و با نظم و ترتیب ویژه ای بر روی ساقه گیاهان قرار دارند. هر برگ از دو قسمت اصلی شامل ۱- پهنک، رگبرگ اصلی و رگبرگ های فرعی که به وسیله بخشی به نام ۲- دمبرگ به شاخه وصل می شود، تشکیل می شود. نکته جالب اینجاست که گیاهان تک لپه ای دمبرگ ندارند. پهنک سطح تماس برگ و محیط را زیاد می کند پهنک به علت نازک بودن دو نقش فتوسنتز و تعرق را بخوبی انجام می دهد. برگ هر گیاه معمولاً ویژگیهای ظاهری خود را دارا است. این ویژگی در درجه اول مربوط به خصوصیات ارثی گیاه و در درجه دوم مربوط به عوامل محیطی مانند نور، رطوبت و دماست.





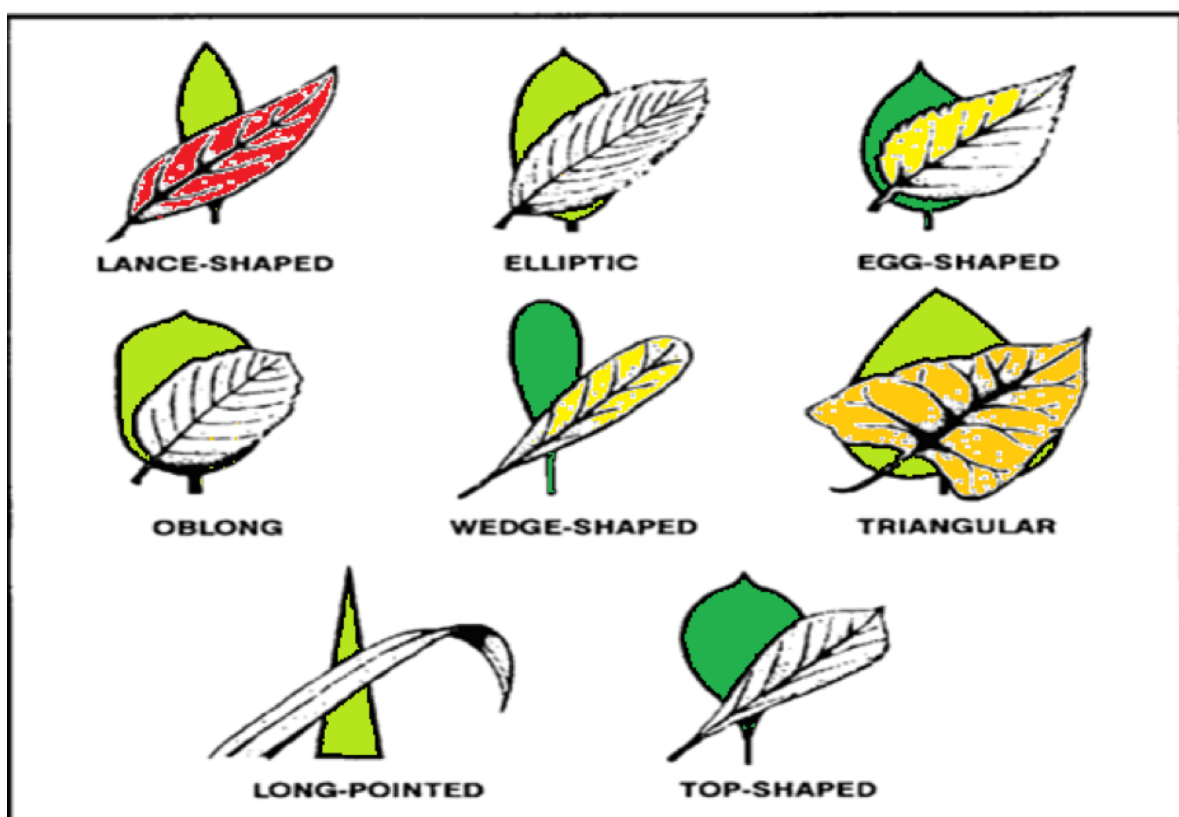
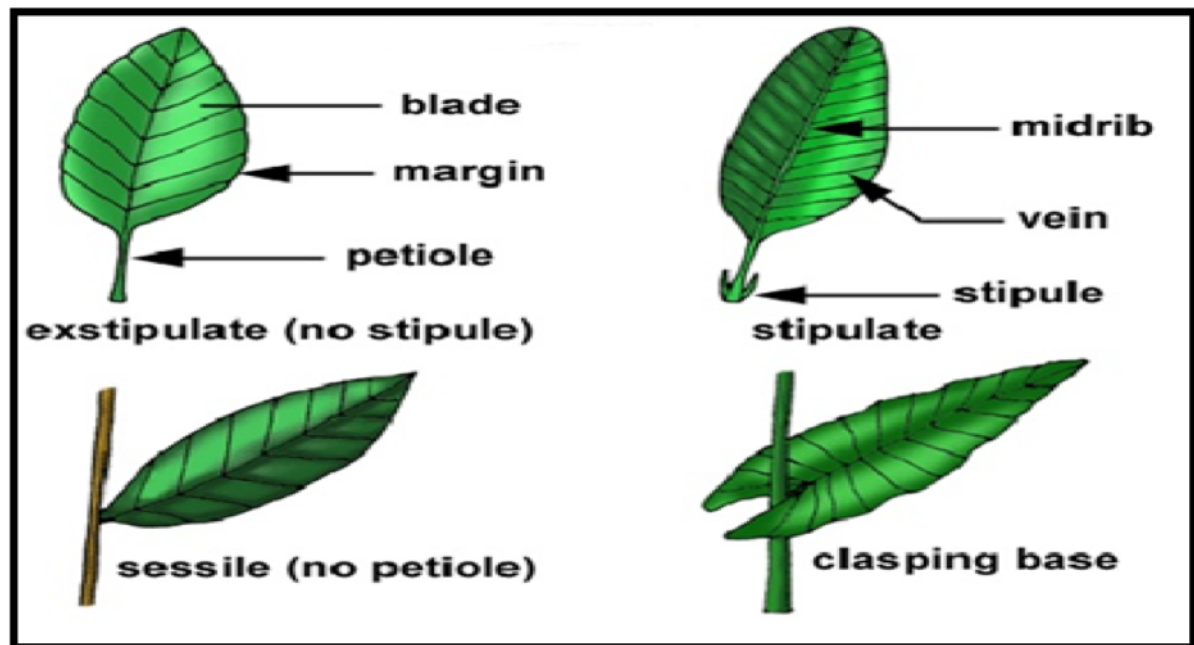
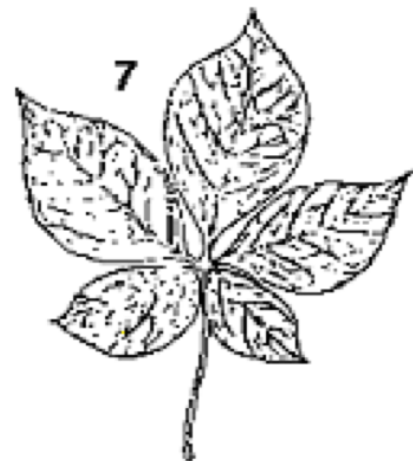
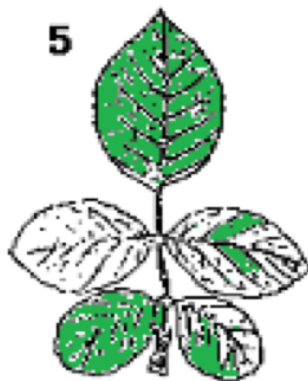


Figure 9-2. Leaf shapes.

## Basic Leaf Forms

اشكال اوليه برگ



1. Parallel venation
2. Netted venation
3. Pinnately lobed
4. Palmately lobed

5. Odd pinnately compound
6. Even pinnately compound
7. Palmately compound



## Leaf Shapes

## اشکال برگ



Acicular



Linear



Elliptic



Oblong



Spatulate



Subulate



Ovate



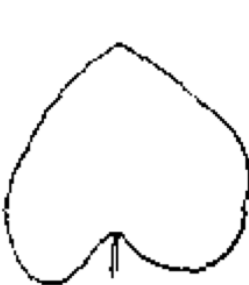
Obovate



Orbicular



Deltoid



Cardate



obcordate



Reniform



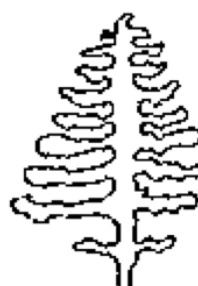
Lyrate



Runcinate



palmate

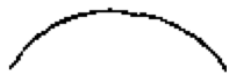


Pinnatifid



Pectinate

## Leaf Margins



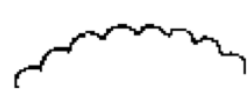
Entire



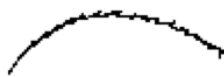
Undulate



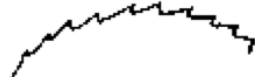
Sinuate



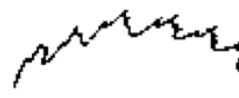
Crenate



Serrulate



Serrate



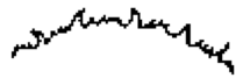
Doubly Serrate



Dentate



Denticulate



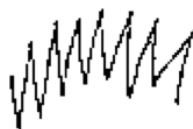
Erose



Lobed



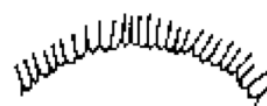
Cleft



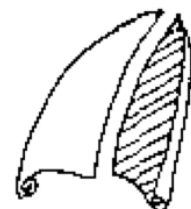
Incised



Lacinate



Ciliate



Revoluate

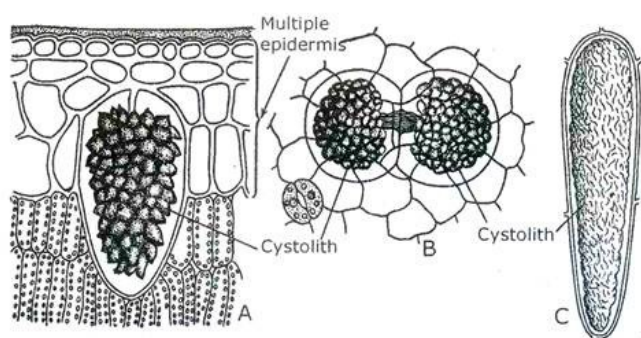


Figure 1.11

Calcium carbonate crystals. A. In the leaf of *Ficus elastica*. B. Double cystolith in *Momordica*. C. Elongated cystolith in *Ruellia*.

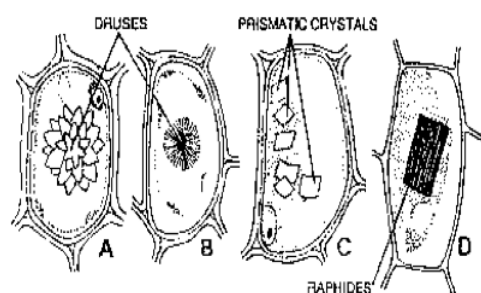


Fig. 33.57. Cells with different types of crystals. A, and B, druses from the cells of *Gnetum gnemon*; C, prismatic crystals from cell of *Gnetum indicum*; D, a bundle of raphides in leaf cell of *Vitis vinifera*.

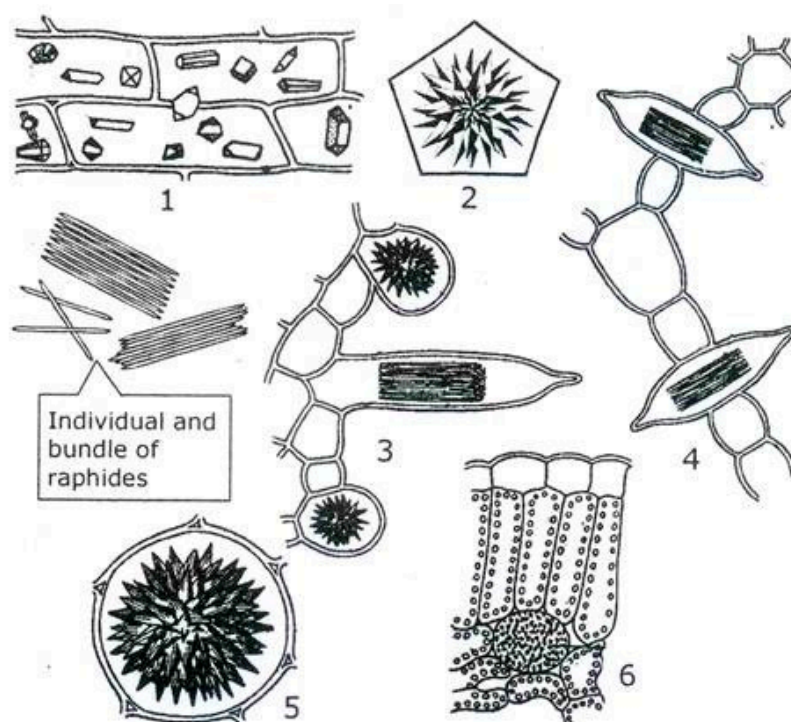


Figure 1.10

Calcium oxalate crystals. 1. Solitary crystals in the tunic of *Allium*. 2. Sphaeraphides in *Nerium* leaf. 3. Raphides and sphaeraphides in the leaf of *Pistia*. 4. Raphides in the petiole of *Eichhornia*. 5. Sphaeraphides in the petiole of *Carica*. 6. Crystal sand in the leaf of *Atropa belladonna*.

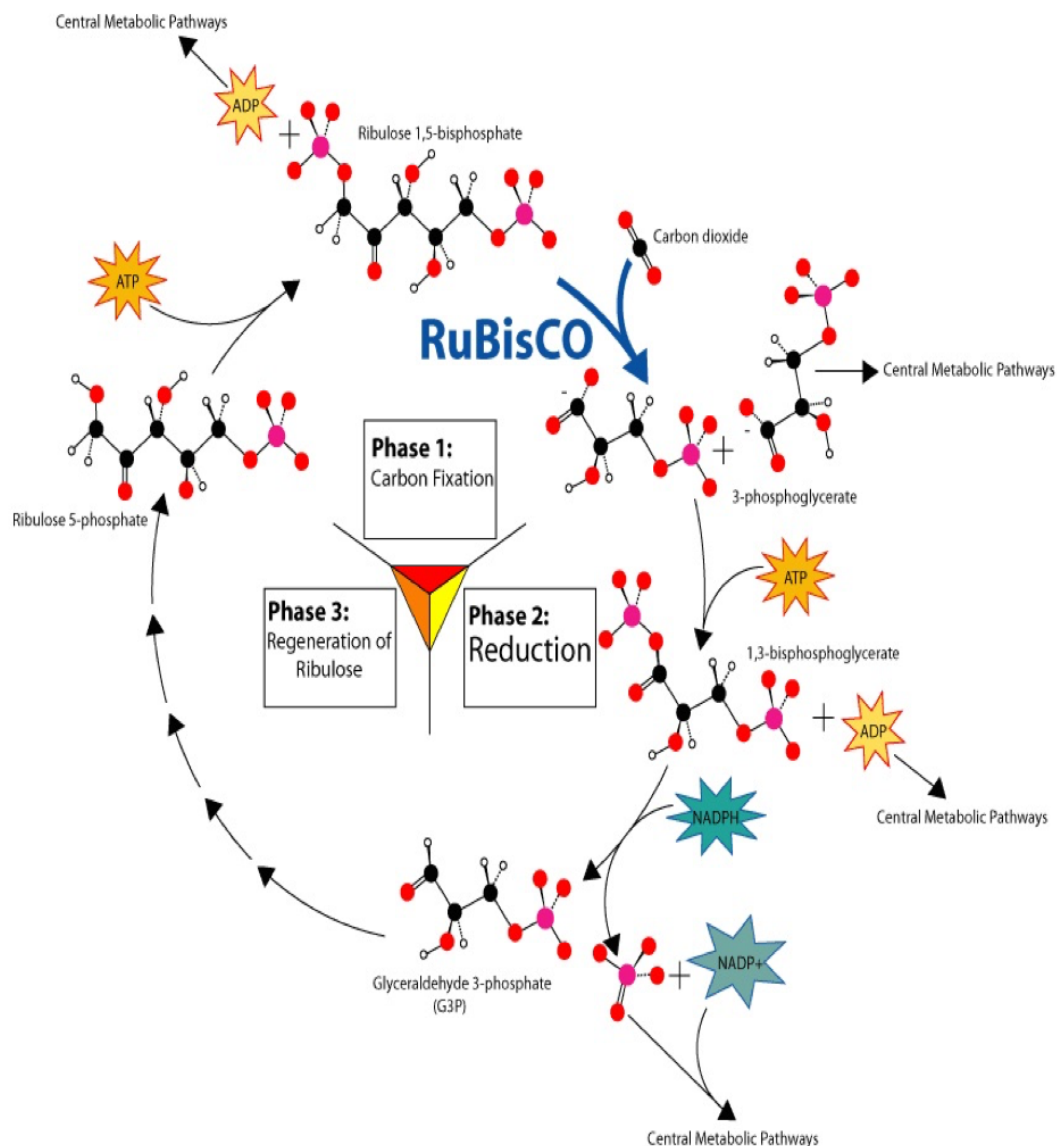
C3, C4 and CAM are the three different processes that plants use to fix carbon during the process of photosynthesis. Fixing carbon is the way plants remove the carbon from atmospheric carbon dioxide and turn it into organic molecules like carbohydrates.

### Comparison Chart

Plant Characteristic	C3 Pathway	C4 Pathway	CAM Pathway
Photorespiration Rate	High	Low / Negligible	Very Low / Negligible
Leaf Anatomy	Typical	Kranz	Xeromorphic
Typical Environments	All	Tropical, elevated daytime temperatures, drought	Dry, arid
Stoma Open During the Day?	Yes	Yes	No
Number of Steps in Pathway	1	2	2
First Molecule Produced in Pathway	3-phosphoglyceric acid	Malic acid or aspartic acid	Malate
Uses the <u>Calvin Cycle</u> ?	Yes	Yes	Yes

### C3 Plants

The C3 pathway gets its name from the first molecule produced in the cycle (a 3-carbon molecule) called 3-phosphoglyceric acid. About 85% of the plants on Earth use the C3 pathway to fix carbon via the Calvin Cycle. During the one-step process, the enzyme RuBisCO (ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase) causes an oxidation reaction in which some of the energy used in photosynthesis is lost in a process known as photorespiration. The result is about a 25% reduction in the amount of carbon that is fixed by the plant and released back into the atmosphere as carbon dioxide. The carbon fixation pathways used by C4 and CAM plants have added steps to help concentrate and reduce the loss of carbon during the process. Some common C3 plant species are spinach, peanuts, cotton, wheat, rice, barley and most trees and grasses.



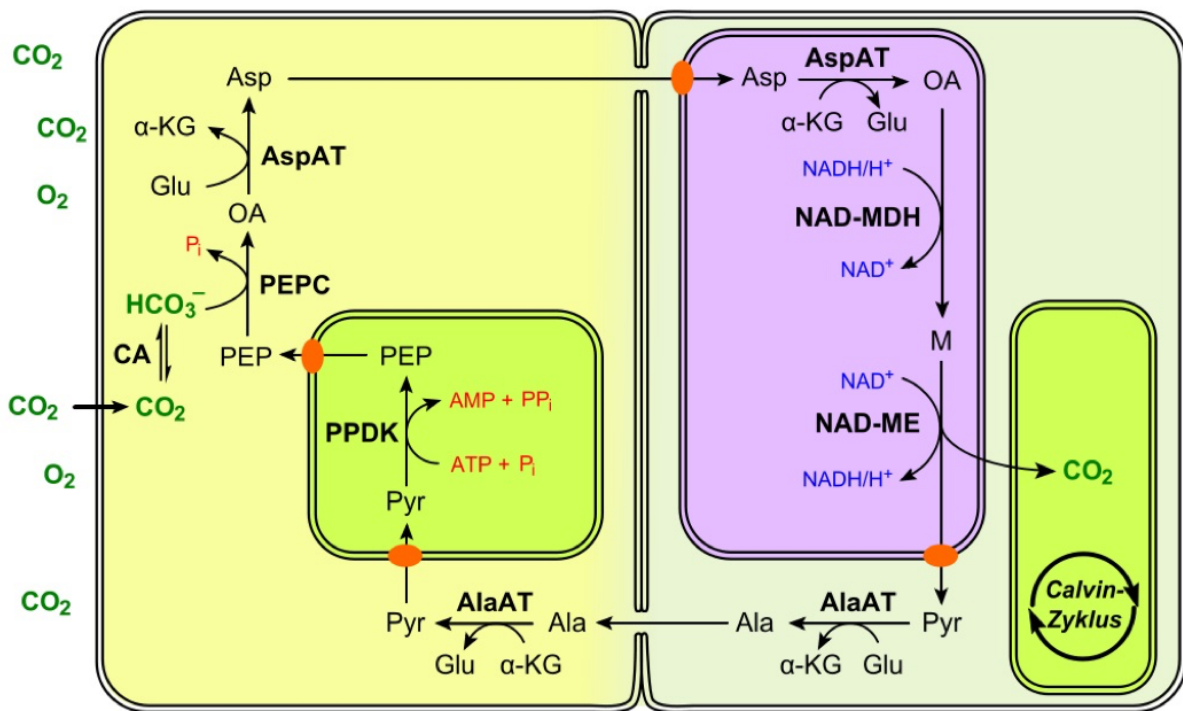
The image above shows the C<sub>3</sub> carbon fixation pathway also known as the Calvin Cycle, used by many types of plants.

### C<sub>4</sub> Plants

The C<sub>4</sub> process is also known as the Hatch-Slack pathway and is named for the 4-carbon intermediate molecules that are produced, malic acid or aspartic acid. It wasn't until the 1960s that scientists discovered the C<sub>4</sub> pathway while studying sugar cane. C<sub>4</sub> has one step in the pathway before the Calvin Cycle which reduces the amount of carbon that is lost in the overall process. The carbon dioxide that is taken in by the plant is moved to bundle sheath cells by the malic acid or aspartic acid molecules (at this point the molecules are

called malate and aspartate). The oxygen content inside bundle sheath cells is very low, so the RuBisCO enzymes are less likely to catalyze oxidation reactions and waste carbon molecules. The malate and aspartate molecules release the carbon dioxide in the chloroplasts of the bundle sheath cells and the Calvin Cycle begins. Bundle sheath cells are part of the Kranz leaf anatomy that is characteristic of C<sub>4</sub> plants.

About 3% or 7,600 species of plants use the C<sub>4</sub> pathway, about 85% of which are angiosperms (flowering plants). C<sub>4</sub> plants include corn, sugar cane, millet, sorghum, pineapple, daisies and cabbage.



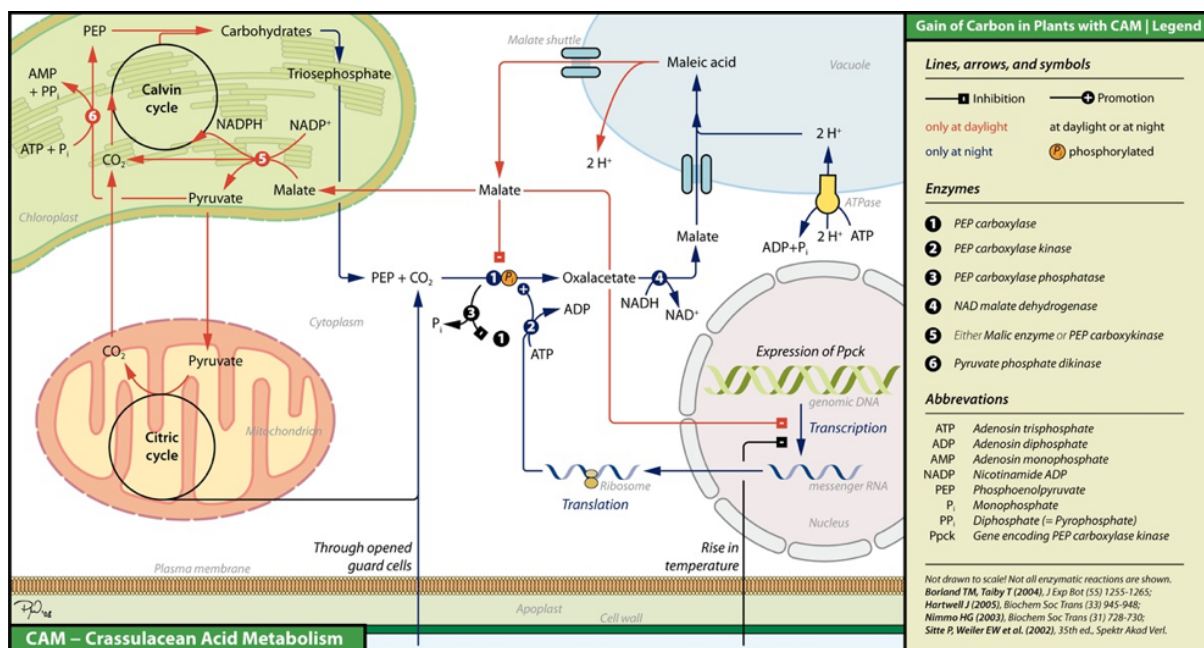
The image above shows the C<sub>4</sub> carbon fixation pathway

### CAM Plants

Plants that use crassulacean acid metabolism, also known as CAM plants, are succulents that are efficient at storing water due to the dry and arid climates they live in. The word crassulacean comes from the Latin word crassus which means "thick." There are over 16,000 species of CAM plants on Earth including cacti, sedum, jade, orchids and agave. Succulent plants like cacti have leaves that are thick and full of moisture and can also have a waxy coating to reduce evaporation.

CAM plants keep their stoma close during the day to prevent water loss. Instead, the stoma are opened at night to take in carbon dioxide from the atmosphere. The carbon dioxide is converted to a molecule called malate which is stored until the daylight returns and photosynthesis begins via the Calvin Cycle.





The image above shows the CAM carbon fixation pathway used by plants that live in dry and arid environments

## References

- Carbon Fixation. (n.d.). In *Wikipedia*. Retrieved August 5, 2017 from [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_fixation](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_fixation)
- Difference between C3, C4 and CAM plants. (n.d.). In *MajorDifferences.com*. Retrieved August 5, 2017 from [http://www.majordifferences.com/2014/04/difference-between-c3-c4-and-cam-plants.html#.WYW\\_LumQzGg](http://www.majordifferences.com/2014/04/difference-between-c3-c4-and-cam-plants.html#.WYW_LumQzGg)

## Examples of C3 plants:

- most small seeded cereal crops such as rice (*Oryza sativa*), wheat (*Triticum spp.*), barley (*Hordeum vulgare*), rye (*Secale cereale*), and oat (*Avena sativa*); soybean (*Glycine max*), peanut (*Arachis hypogaea*), cotton (*Gossypium spp.*), sugar beets (*Beta vulgaris*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), spinach (*Spinacea oleracea*), potato (*Solanum tuberosum*); most trees and lawn grasses such as rye, fescue, and Kentucky bluegrass.

Also includes evergreen trees and shrubs of the tropics, subtropics, and the Mediterranean; temperate evergreen conifers like the Scotch pine (*Pinus sylvestris*); deciduous trees and shrubs of the temperate regions, e.g. European beech (*Fagus sylvatica*) (Moore et al. 2003), as well as weedy plants like the water hyacinth (*Eichornia crassipes*), lambsquarters (*Chenopodium album*), bindweed (*Convolvulus arvensis*), and wild oat (*Avena fatua*) (Llewellyn 2000).

(Ben G. Bareja Aug 2013)

### List of families in the angiosperms having at least one C4 member

(from Simpson 2010):

#### Monocots

Family	Order
1. Cyperaceae	Poales
2. Hydrocharitaceae	Alismatales
3. Poaceae / Gramineae	Poales

#### Eudicots

1. Acanthaceae	Lamiales
2. Aizoaceae	Caryophyllales
3. Amaranthaceae (inc. Chenopodiaceae)	Caryophyllales
4. Asteraceae	Asterales
5. Boraginaceae	Boraginales
6. Capparidaceae	Brassicales
7. Caryophyllaceae	Caryophyllales
8. Euphorbiaceae	Malpighiales
9. Molluginaceae	Caryophyllales
10. Nyctaginaceae	Caryophyllales
11. Polygonaceae	Caryophyllales
12. Portulacaceae	Caryophyllales
13. Scrophulariaceae	Lamiales
14. Zygophyllaceae	Zygophyllales

(Ben G. Bareja Aug. 2013)

### List of families in the angiosperms having at least one CAM member: (from Simpson 2010). In parentheses are the orders (ending 'ales') to which the respective families belong.

#### Monocots

1. Agavaceae (Asparagales)	6. Commelinaceae (Commelinales)
2. Alismataceae (Alismatales)	7. Cyperaceae (Poales)
3. Araceae (Alismatales)	8. Hydrocharitaceae (Alismatales)
4. Asphodelaceae (Asparagales)	9. Orchidaceae (Asparagales)
5. Bromeliaceae (Poales)	10. Ruscaceae (Asparagales)

#### Eudicots

1. Aizoaceae (Caryophyllales)	6. Celastraceae (Rosids)
2. Apiaceae (Apiales)	7. Clusiaceae (Malpighiales)
3. Apocynaceae (Gentianales)	8. Convolvulaceae (Solanales)
4. Asteraceae (Asterales)	9. Crassulaceae (Saxifragales)
5. Cactaceae (Caryophyllales)	10. Cucurbitaceae (Cucurbitales)



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 11. Didiereaceae (Caryophyllales) | 19. Passifloraceae (Malpighiales)  |
| 12. Ebenaceae (Ericales)          | 20. Piperaceae (Piperales)         |
| 13. Euphorbiaceae (Malpighiales)  | 21. Portulacaceae (Caryophyllales) |
| 14. Geraniaceae (Geraniales)      | 22. Rubiaceae (Gentianales)        |
| 15. Gesneriaceae (Lamiales)       | 23. Sapindaceae (Sapindales)       |
| 16. Lamiaceae (Lamiales)          | 24. Vitaceae (Vitales)             |
| 17. Moringaceae (Brassicales)     | 25. Zygophyllaceae (Zygophyllales) |
| 18. Oxalidaceae (Oxalidales)      |                                    |

Except in Crassulaceae and Cactaceae, CAM species are not exclusive to most plant families. There are families having members that are C3 plants and there are also those in which all C3, C4, and CAM patterns of photosynthesis are present (Hopkins 1999).

#### Examples of CAM Plants

Specific examples of CAM plants are the jade plant (*Crassula argentea*), *Aeonium*, *Echeveria*, *Kalanchoe*, and *Sedum* of the family Crassulaceae, pineapple (*Ananas comosus*), Spanish moss (*Tillandsia usneoides*), cacti, orchids, *Agave*, and wax plant (*Hoya carnosa*, family Apocynaceae). Both pineapple and Spanish moss are bromeliads or members of the family Bromeliaceae.

#### References

1. HOPKINS WG. 1999. Introduction to Plant Physiology. 2nd ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc. p. 189-214.
  2. LLEWELLYN LE. 2000. Biopesticides: Marine organisms as sources of C4-weed-specific herbicides. The Royal Society of Chemistry. April 2000. Retrieved Aug. 3, 2013 from <http://www.researchinformation.co.uk/pest/2000/B006323L.PDF>.
  3. MOORE R, CLARK WD, VODOPICH DS. 2003. Botany. 2nd ed. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill. p. 130-162.
  4. SIMPSON MG. 2010. Plant Systematics. 2nd ed. San Diego, CA, USA: Elsevier Inc. P. 535-539.
- (Ben G. Bareja Aug. 2013)