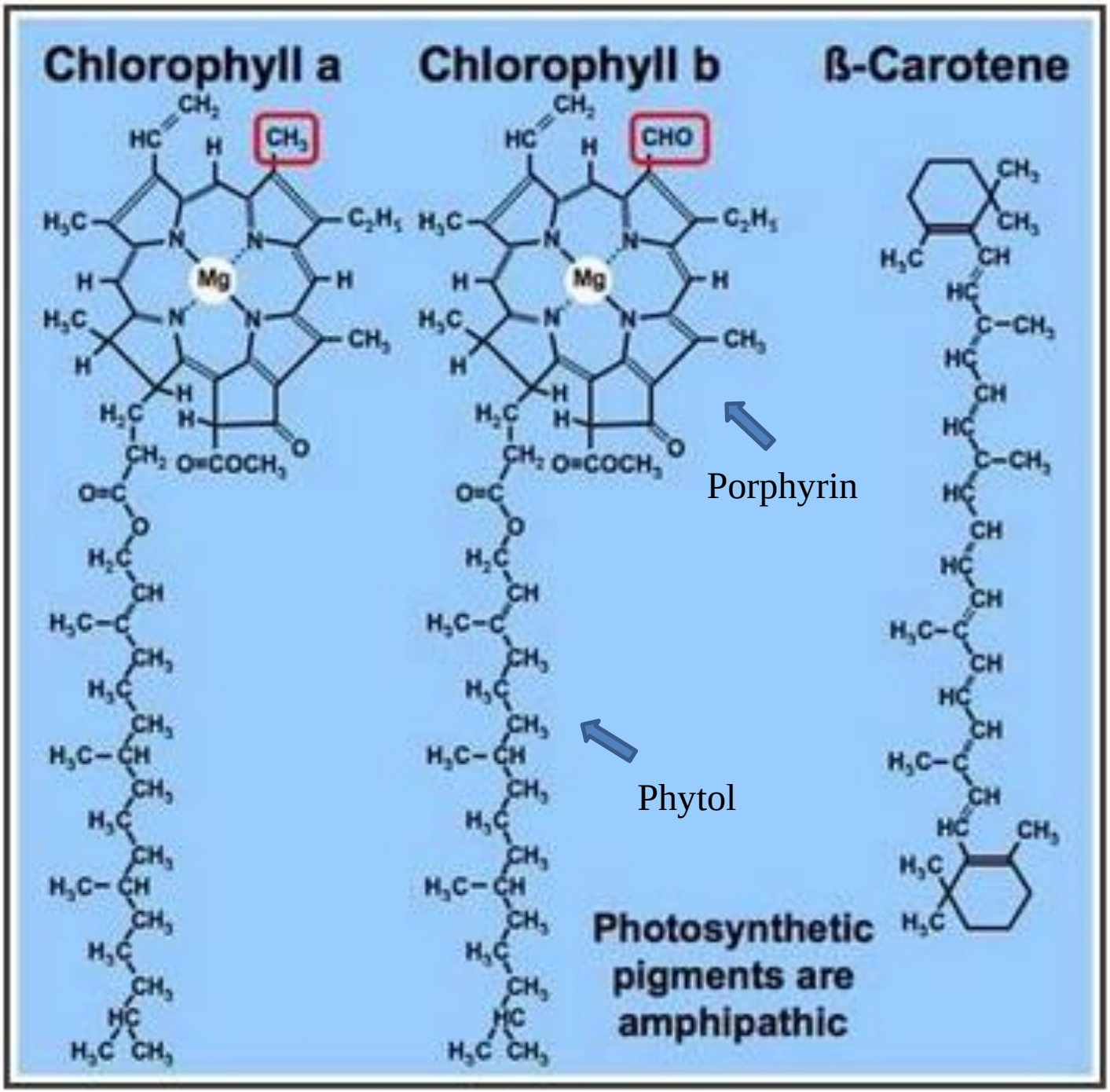
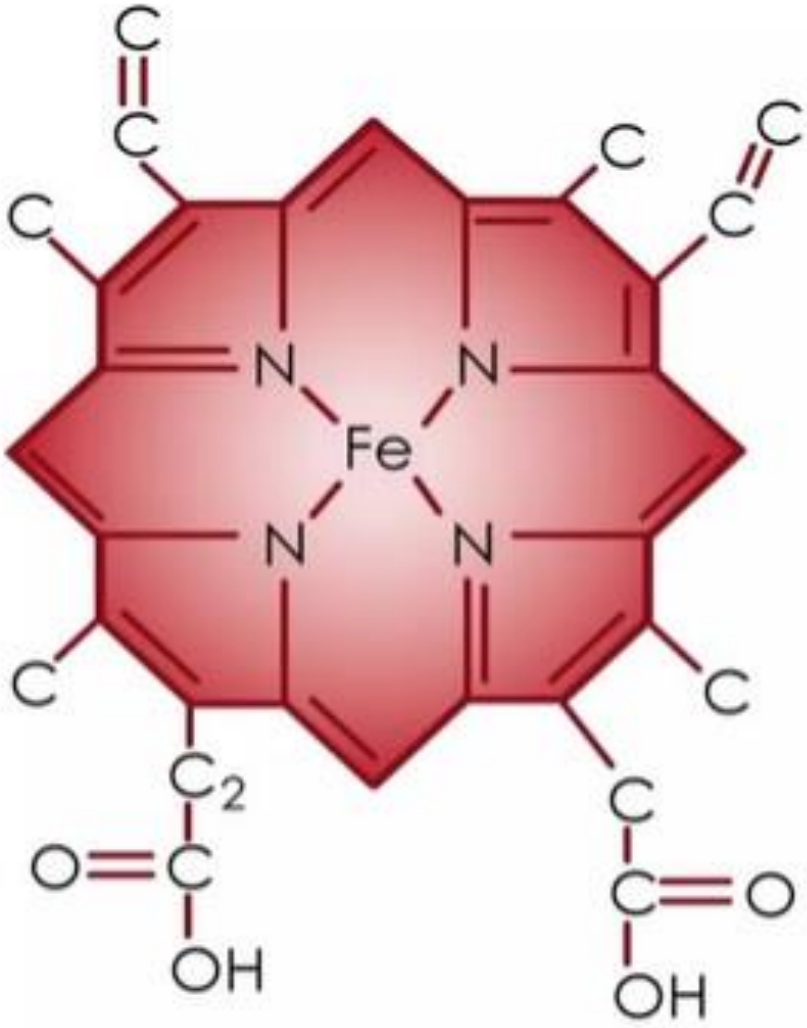
Color Changes in Fruits and Vegetables

رنگیزه‌های عامل رنگ در میوه‌ها

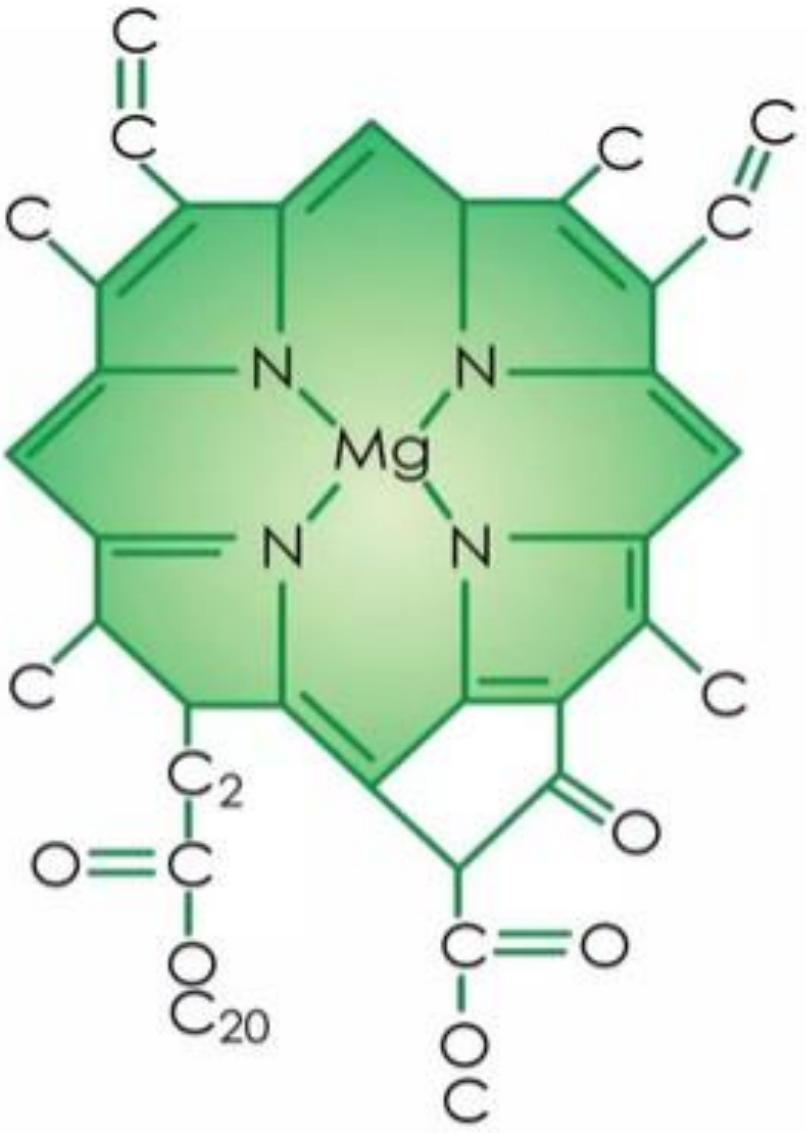
کلروفیل‌ها (کلروپلاست)

- این رنگیزه‌ها به دو نوع اصلی تقسیم می‌شود: کلروفیل a و b ساختار کلروفیل شامل یک حلقه پورفیرین است که با یک اتم منیزیم در مرکز آن مشخص می‌شود. این ساختار به کلروفیل اجازه می‌دهد تا نور خورشید را جذب کند.
- **نقش اصلی آن جذب نور آبی و قرمز برای فرآیند فتوسنتز است و به گیاهان کمک می‌کند تا انرژی نور را به انرژی شیمیایی تبدیل کنند.**


Chlorophyll a
Chlorophyll b
ß-Carotene
Porphyrin
Phytol
Photosynthetic pigments are amphipathic



Human Blood
Hemoglobin

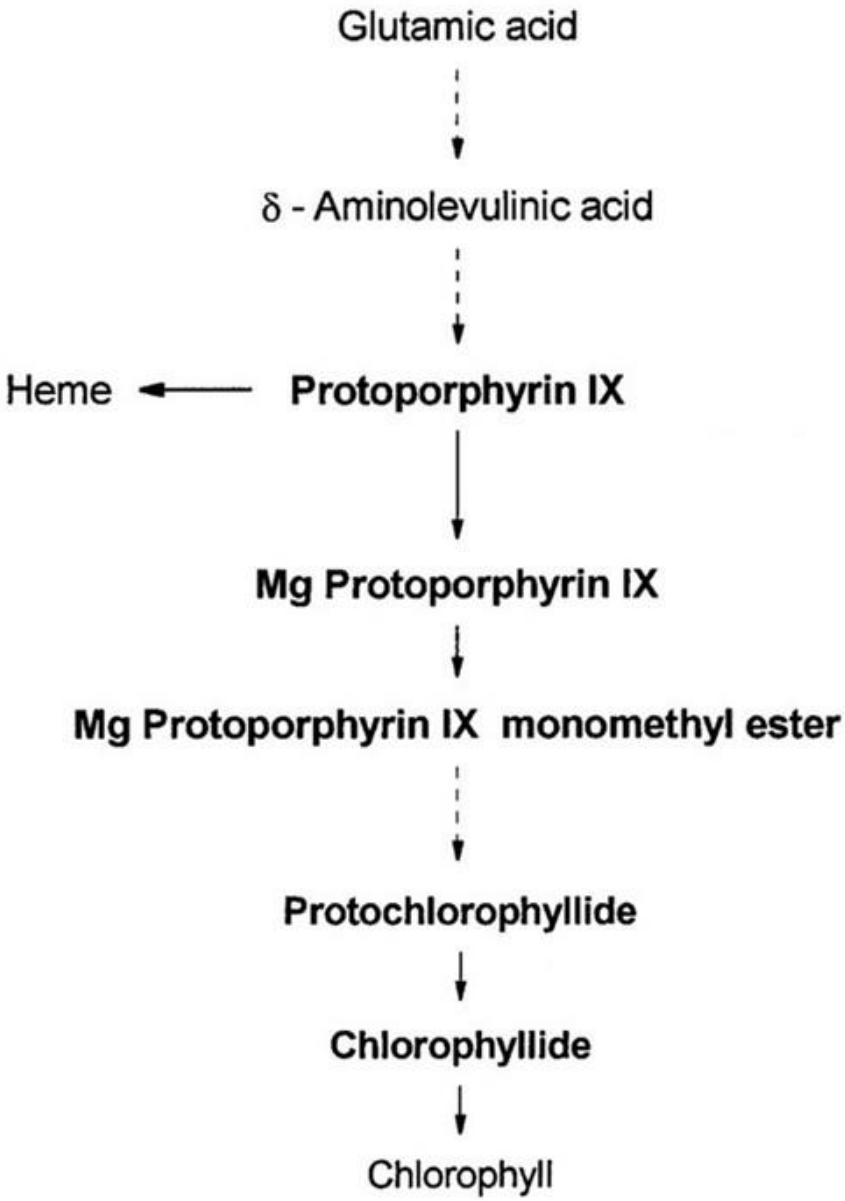


Plant Chlorophyll

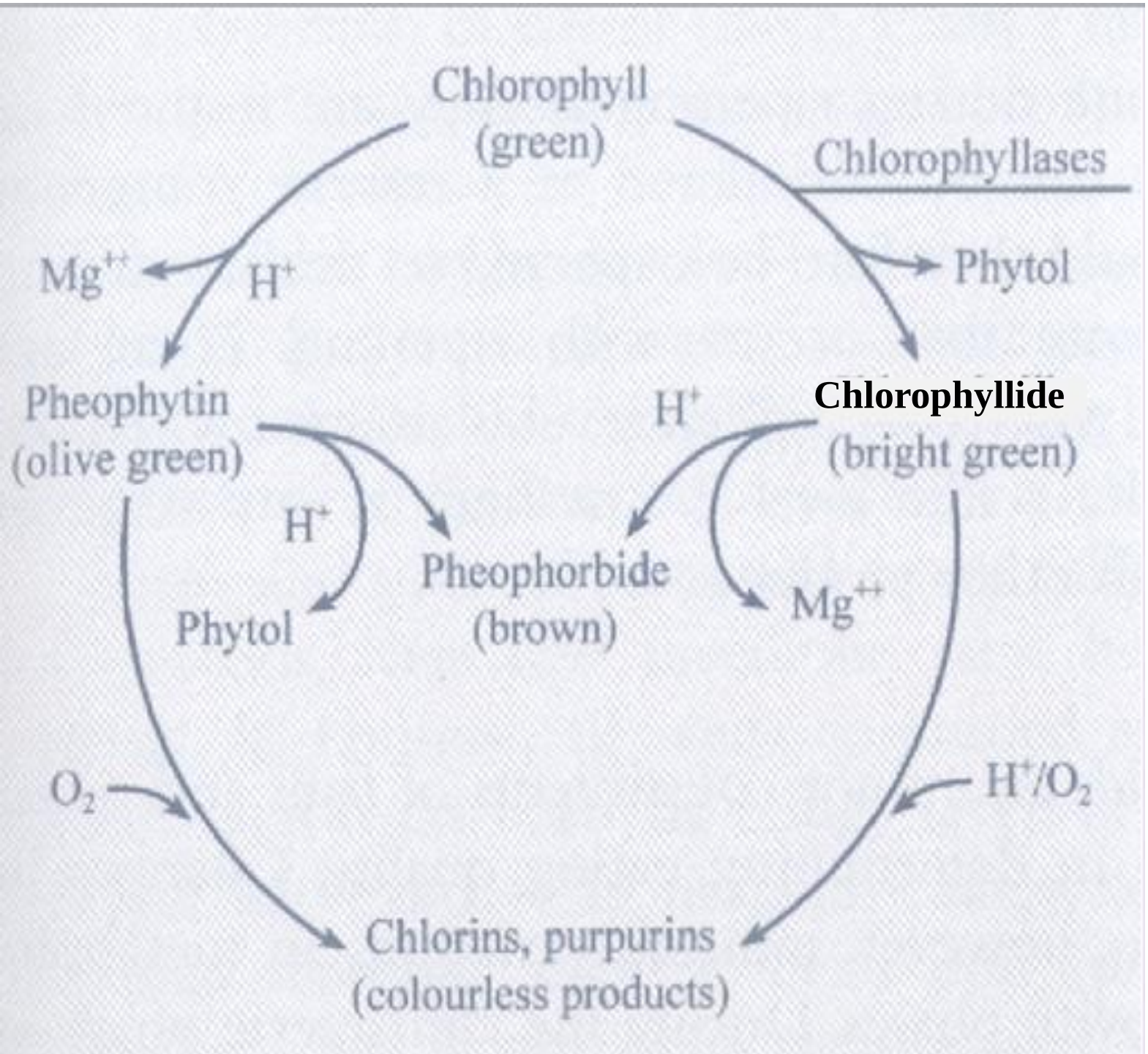
بیوسنتز کلروفیل

آلفاکتوگلوتارات (چرخه کربس) ← گلوتامات ← دلتاآمینولوولینات ← پروتوپورفیرین

Mg- پروتوپورفیرین ← پروتوکلروفیلید ← کلروفیلید ← کلروفیل


Glutamic acid
δ - Aminolevulinic acid
Heme
Protoporphyrin IX
Mg Protoporphyrin IX
Mg Protoporphyrin IX monomethyl ester
Protochlorophyllide
Chlorophyllide
Chlorophyll

تجزیه کلروفیل



کلروفیل
از دست دادن Mg
فئوفیتین
کلروفیلاز
(از دست
دادن فیتول
)
از
دست
دادن
فیتول
کلروفیلید
از دست دادن Mg
فئوفوربید

کاروتنوئیدها (کروموپلاست)

همانند کلروفیل از دسته رنگیزه‌های فتوسنتزی محسوب می‌شوند. این ترکیبات از گروه ترپن‌ها هستند و عموماً دارای رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز هستند. کاروتنوئیدها حاوی تعداد زیادی واحد ایزپرن هستند و به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها.

- **کاروتن‌ها** ← هیدروکربن‌های غیراشباع محلول در چربی بدون اکسیژن
- لیکوپن — کاروتنوئید اصلی گوجه‌فرنگی، هندوانه و پاپایا
- آلفاکاروتن — کاروتنوئید اصلی کدوتنبل و کدوحلوایی
- بتاکاروتن — کاروتنوئید اصلی هویج، طالبی‌ها، انبه و سیب‌زمینی‌شیرین
- **گزانتوفیل‌ها** ← هیدروکربن‌های غیراشباع محلول در چربی اکسیژن‌دار
- لوتئین — کاروتنوئید اصلی فلفل‌دلمه‌ای زرد، زرده تخم مرغ، ذرت، کاهو، اسفناج و کلم بروکلی
- بتاکریپتوگزانتین — کاروتنوئید اصلی نارنگی
- زآگزانتین — کاروتنوئید اصلی فلفل‌دلمه‌ای نارنجی و زردالو
- وایولاگزانتین — کاروتنوئید اصلی پرتقال
- کپسانتین — کاروتنوئید اصلی فلفل‌دلمه‌ای قرمز و فلفل تند قرمز

Table 1 Carotenoids accumulated in some major carotenoid-enriched horticultural crops

	Common name	Variety	Color	Major carotenoid	Minor carotenoid	Reference
Vegetable	Tomato	Wild type	Red	Lycopene	β-carotene, phytoene, ζ-carotene	41
		Delta	Orange/red	δ-carotene, lycopene	Lutein, α-carotene	44
		Beta	Orange	β-carotene, lycopene	phytoene	41, 23
		Old-gold	Golden	Lycopene	β-carotene, phytoene	41, 23
	Pepper		Red	Capsanthin	zeaxanthin, cryptoxanthin, β-carotene	45
			Orange	Zeaxanthin, capsanthin, lutein	β-carotene, cryptoxanthin	45
			Yellow	Lutein, β-carotene	Zeaxanthin, α-carotene	46
	Carrot		Orange	β-carotene	α-carotene, lutein	14
			Red	Lycopene, β-carotene	Lutein	14
			Yellow	Lutein	β-carotene	14
	Sweet potato		Orange	β-carotene	α-carotene	
	Cauliflower	*Or*	Orange	β-carotene		52
	Dark green vegetables		Green	Lutein, β-carotene	α-carotene, zeaxanthin	
Fruit	Melon	Cantaloupe	Orange	β-carotene		54
	Citrus	Orange	Orange	Violaxanthin	β- cryptoxanthin, phytoene	15
		Mandarin	Orange	β- cryptoxanthin	Phytoene, violaxanthin, β-carotene	15
		Grapefruit	Red	β-carotene or lycopene, phytoene	Phytofluene	
	Watermelon		Red	Lycopene	β, ζ-carotene, Violaxanthin	21, 41
			Yellow	Violaxanthin or Neoxanthin	Lutein	21
			Orange	β-carotene	Phytoene, lycopene, ζ-carotene	41
	Peach	Redhaven	Yellow	Antheraxanthin, luteoxanthin, zeaxanthin	β-cryptoxanthin, β-carotene	59
	Papaya		Red	Lycopene	β-cryptoxanthin, β-carotene	58
			Yellow	β-cryptoxanthin, β-carotene	Lycopene	58
Flower	Marigold		Yellow to orange	Lutein		94
	Chrysanthemum		Yellow to orange	Lutein and its epoxide	Violaxanthin, β-carotene	65
	Oncidium	Gower Ramsey	Yellow	Violaxanthin	Lutein	66
		Sunkist	Orange	Violaxanthin, β-carotene	Lutein	
	Osmanthus	Zi Yingui	Butter yellow	β-carotene		67
		Jingui	Golden yellow	β-carotene, lutein	α-carotene	67
		Chenghong Dangui	Orange-red	α-carotene, β-carotene	Lutein	67
	Lily	Connecticut king	Yellow	Antheraxanthin, violaxanthin, lutein	β-carotene	68
		Saija and tiger lily	Red	Capsanthin	Antheraxanthin	28, 68
	Adonis		Red	Astaxanthin, adonirubin	β-carotene, Astaxanthin	69

© 2015 Nanjing Agricultural University

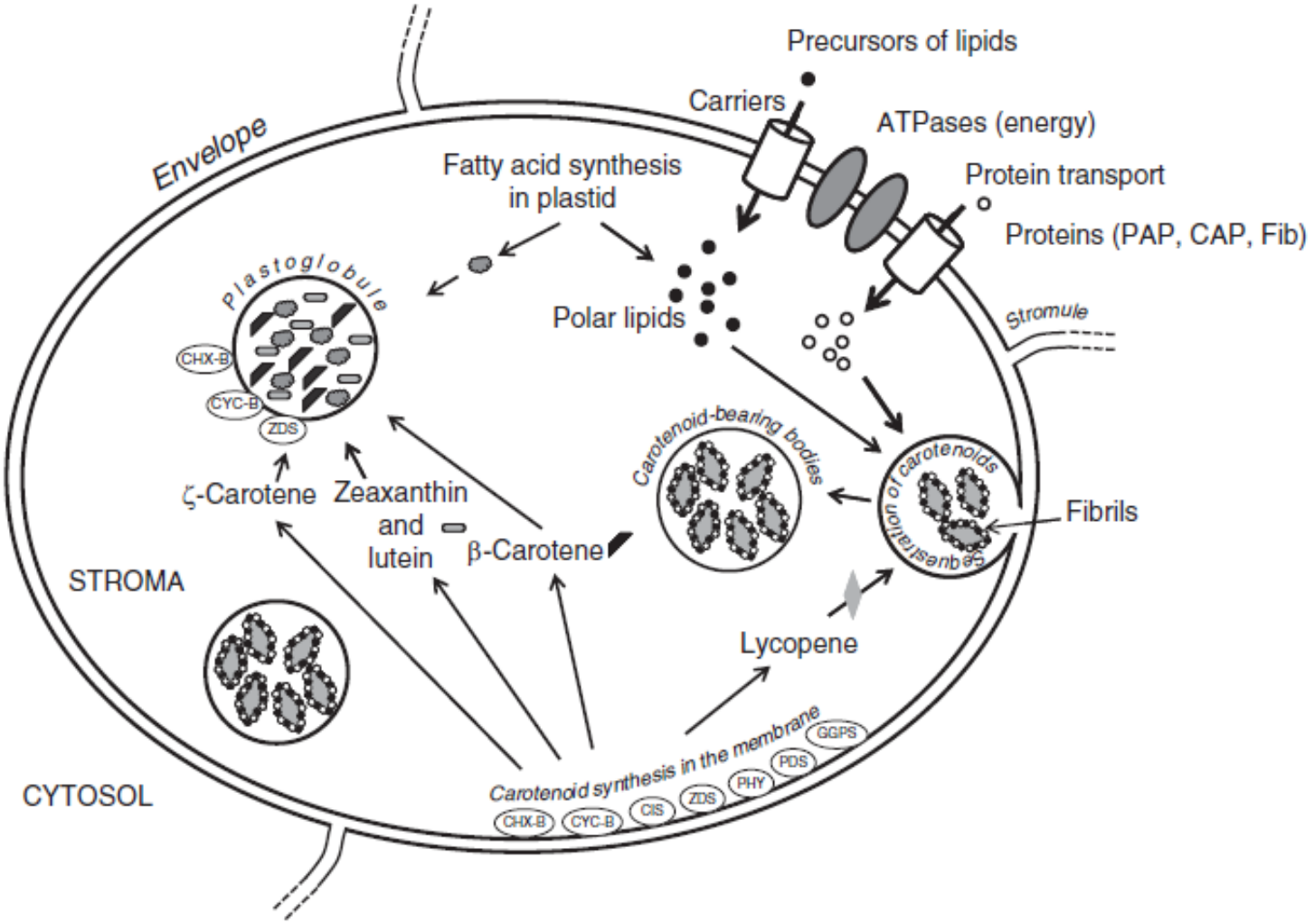
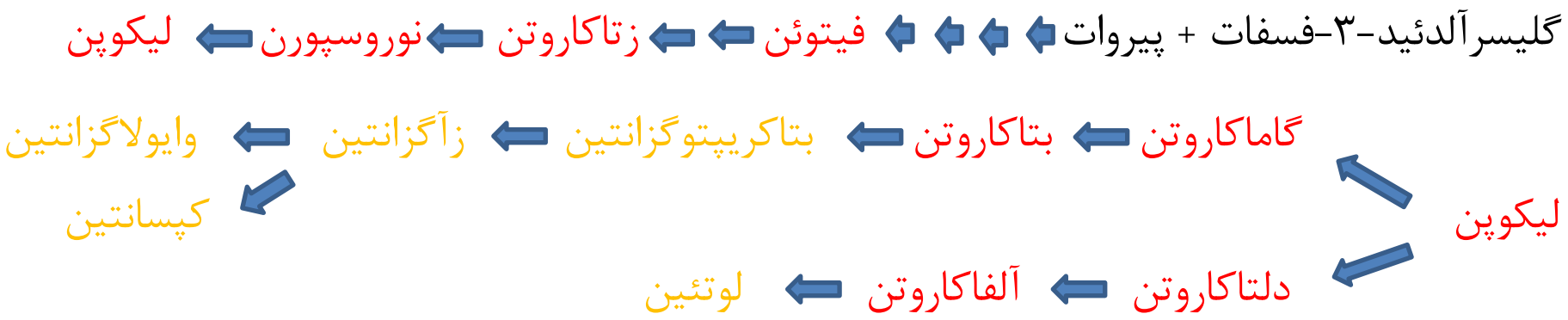
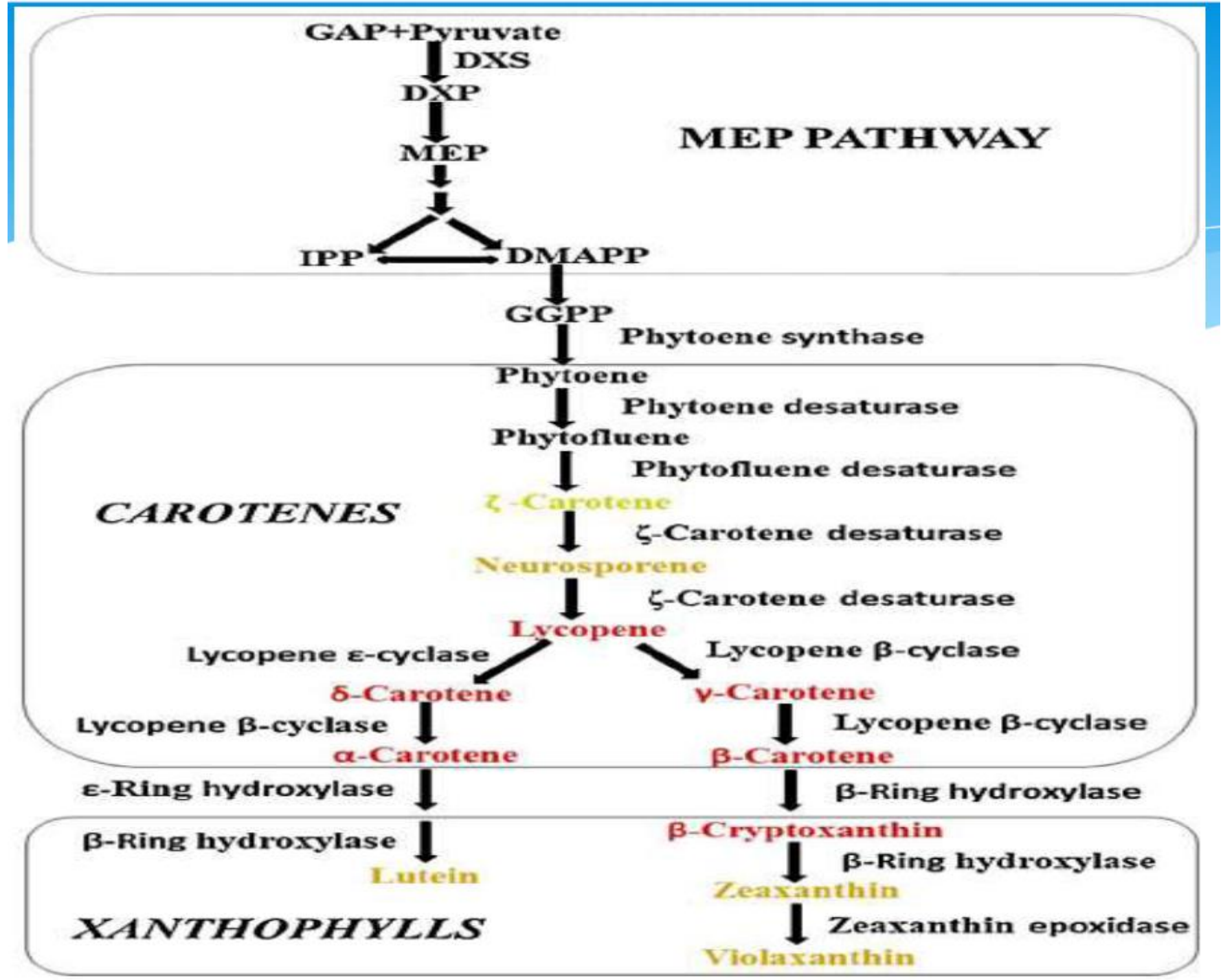


Fig. 3.3. Representation of a fully differentiated chromoplast acting as a metabolic sink with the accumulation of carotenoid-bearing structures. The following elements contribute to the metabolic sink: stimulation of carotenoid biosynthesis in the membrane, emergence of vesicles from the inner membrane that generate carotenoid-bearing bodies, import of proteins and lipid precursors that participate in the sequestration of carotenoids, active energy provision through ATPases, stimulation of the development of stromules, and accumulation of quinones, carotenoids and lipid material in plastoglobules. PAP, plastid lipid-associated protein; CAP, carotenoid-associated protein; Fib, fibrillin; see Plate 1 for abbreviations for the enzymes of the carotenoid biosynthesis pathway.

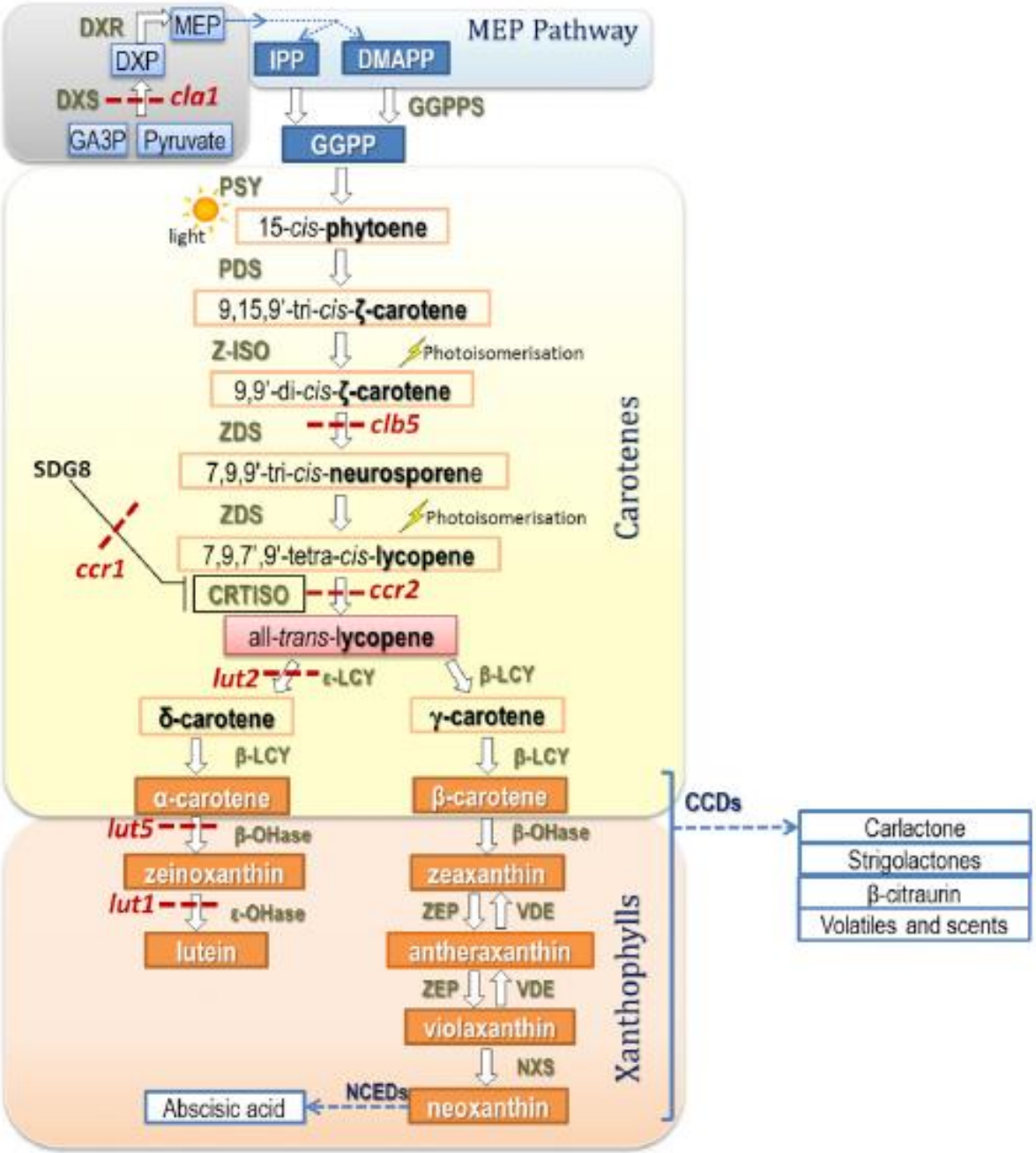
بیوسنتز کاروتنوئیدها

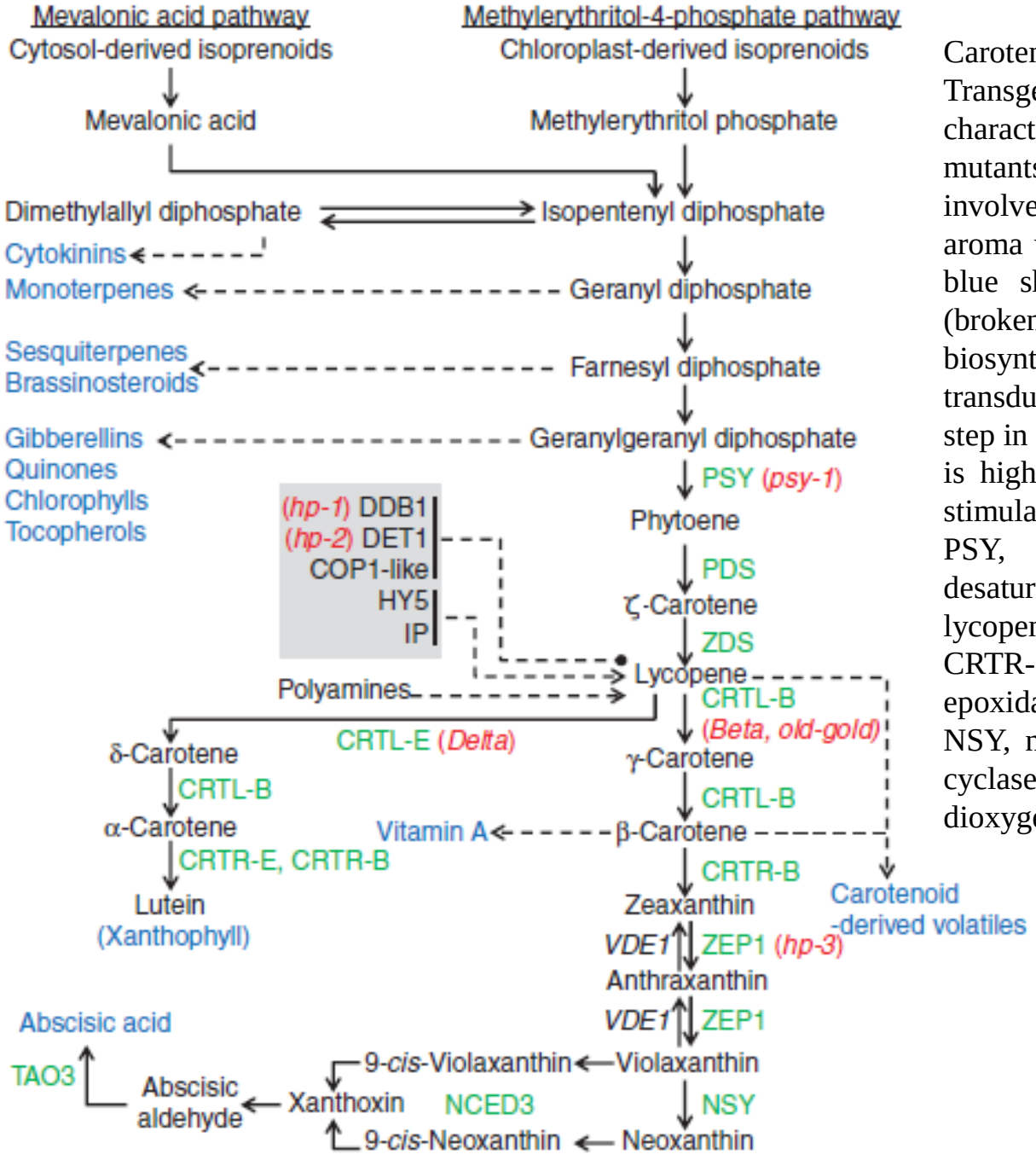


کاروتنوئیدها برخلاف کلروفیل‌ها جهت سنتز آنها به نور نیاز ندارند.


GAP+Pyruvate
DXS
DXP
MEP
MEP PATHWAY
IPP
DMAPP
GGPP
Phytoene synthase
Phytoene
Phytoene desaturase
Phytofluene
Phytofluene desaturase
CAROTENES
ζ -Carotene
ζ-Carotene desaturase
Neurosporene
ζ-Carotene desaturase
Lycopene
Lycopene ε-cyclase
Lycopene β-cyclase
δ-Carotene
γ-Carotene
Lycopene β-cyclase
Lycopene β-cyclase
α-Carotene
β-Carotene
ε-Ring hydroxylase
β-Ring hydroxylase
β-Ring hydroxylase
β-Cryptoxanthin
β-Ring hydroxylase
Lutein
Zeaxanthin
XANTHOPHYLLS
Zeaxanthin epoxidase
Violaxanthin

Carotenoid Metabolism and Regulation





Carotenoid biosynthesis pathway in plants. Transgenic interventions in enzyme characterization are shown in green and their mutants in red. Broken arrows indicate the involvement of multiple steps. Phytohormones, aroma volatiles and other compounds indicated in blue showing direct (solid arrows) or indirect (broken arrows) connections with carotenoid biosynthesis pathways. Photomorphogenic signal transduction factors are shown in the grey box. A step in polyamine action on lycopene accumulation is highlighted. Inhibitory (blunt-ended lines) and stimulatory (with arrowheads) effects are shown. PSY, phytoene synthase; PDS, phytoene desaturase; ZDS, ζ-carotene desaturase; CRTL-B, lycopene β-cyclase; CRTR-B, β-ring hydroxylase; CRTR-E, ε-hydroxylase; ZEP1, zeaxanthin epoxidase; VDE1, violaxanthin de-epoxidase; NSY, neoxanthin synthase; CRTL-E, lycopene ε-cyclase; NCED3, 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase 3; TAO3, abscisic-aldehyde oxidase.

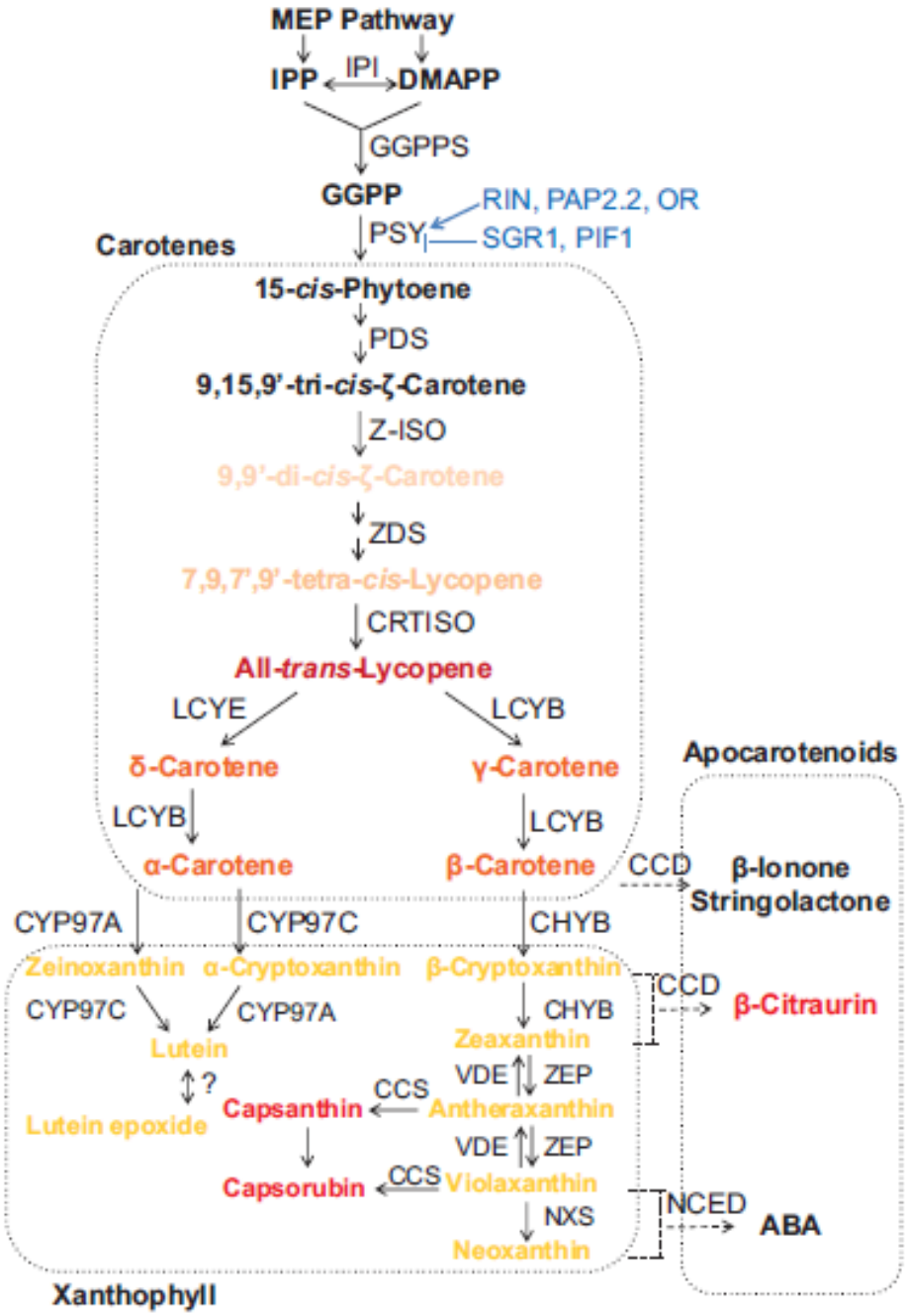


Figure 1. General carotenoid metabolic pathway in horticultural crops. PSY catalyzes the first committed condensation step from GGPP to produce the first C40 carotene, phytoene. Following several desaturation and isomerization steps, lycopene is produced. The next cyclization yields the α-carotene and β-carotene branches. A wide range of carotenoids are degraded by CCDs or NCEDs to produce apocarotenoids. IPP, isopentenyl diphosphate; DMAPP, dimethylallyl diphosphate; GGPP, geranylgeranyl diphosphate; IPI, isopentenyl diphosphate isomerase; GGPPS, GGPP synthase; PSY, phytoene synthase; PDS, phytoene desaturase; Z-ISO, ζ-carotene isomerase; ZDS, ζ-carotene desaturase; CRTISO, carotenoid isomerase; LCYE, lycopene ε-cyclase; LCYB, lycopene β-cyclase; CHYB, β-carotene hydroxylase; CYP97C, cytochrome P450-type monooxygenase 97C; ZEP, zeaxanthin epoxidase; VDE, violaxanthin de-epoxidase; CCS, capsanthin-capsorubin synthase; NXS, neoxanthin synthase; CCD, carotenoid cleavage dioxygenase; NCED, 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase. Metabolites are bolded and colored according to their compound colors, whereas black indicates no color. Enzymes and regulators are not bolded. Solid arrows indicate biosynthesis and dashed arrows indicate degradation PSY regulators are colored in blue. Dotted rectangles separate different groups of carotenoids.

آنتوسیانین‌ها (واکوئل)

آنتوسیانین‌ها جزء رنگیزه‌های غیرفتوسنتزی محسوب شده و از ترکیبات فنلی و از گروه فلاونوئیدها هستند و دارای یک یا چند واحد قند به نام گلیکوزیدها می‌باشند. آن‌ها معمولاً رنگ‌های قرمز، بنفش و آبی در میوه‌ها و سبزی‌ها ایجاد می‌کنند.

آنتوسیانین‌ها برخلاف کلروفیل و کاروتنوئیدها، معمولاً حلال در آب هستند.

تولید آنتوسیانین‌ها وابسته به نور است و نور بر ساختار آنها موثر است.

نکته جالب اینکه آنتوسیانین‌ها و بتالائین‌ها با هم در یک گیاه وجود ندارند.

انواع آنتوسیانین‌ها

- **مهم‌ترین آنتوسیانین‌ها عبارتند از:**
- **سیانیدین (Cyanidin)**

این نوع آنتوسیانین در میوه‌هایی مانند سیب قرمز، انگور، آلو، هلو، انجیر، گیلاس، بری‌ها، تمشک، توت‌فرنگی، انار، کلم قرمز، پیاز قرمز یافت می‌شود.

- **دلفینیدین (Delphinidin)**

در توت‌ها، پوست بادمجان، انار، انگور و برخی گل‌ها مثل بگونیا یافت می‌شود.

- **پلارگونیدین (Pelargonidin)**

در تمشک، توت‌فرنگی، انار، آلو، بری‌ها، تربچه نقلی، گل‌های نیلوفر، شمعدانی قرمز و فیلودندرون‌ها یافت می‌شود.

- **مالویدین (Malvidin)**

در انگور قرمز، زغال‌اخته‌آبی، پامچال آبی یافت می‌شود.

- **پئونیدین (Peonidin)**

در گیلاس قرمز، انگور قرمز-بنفش، سیب‌زمینی‌شیرین و گل‌های نیلوفر یافت می‌شود.

- **پتونیدین (Petunidin)**

این ترکیب بیشتر در انگورها، گل‌های اطلسی و بنفشه یافت می‌شود.

بیوسنتز آنتوسیانین‌ها

فسفوانول‌پیروات (گلیکولیز) + اریتروز-۴-فسفات (پنتوز فسفات) ← شیکیمات ← کوریزمات ← فنیل‌آلانین

← سینامات ← کومارات ← ۴-کوماریل‌کوآنزیم‌آ ← چالکون ← فلاوونون

← دی‌هیدروفلاونول ← لئوکوآنتوسیانیدین ← آنتوسیانیدین ← آنتوسیانین

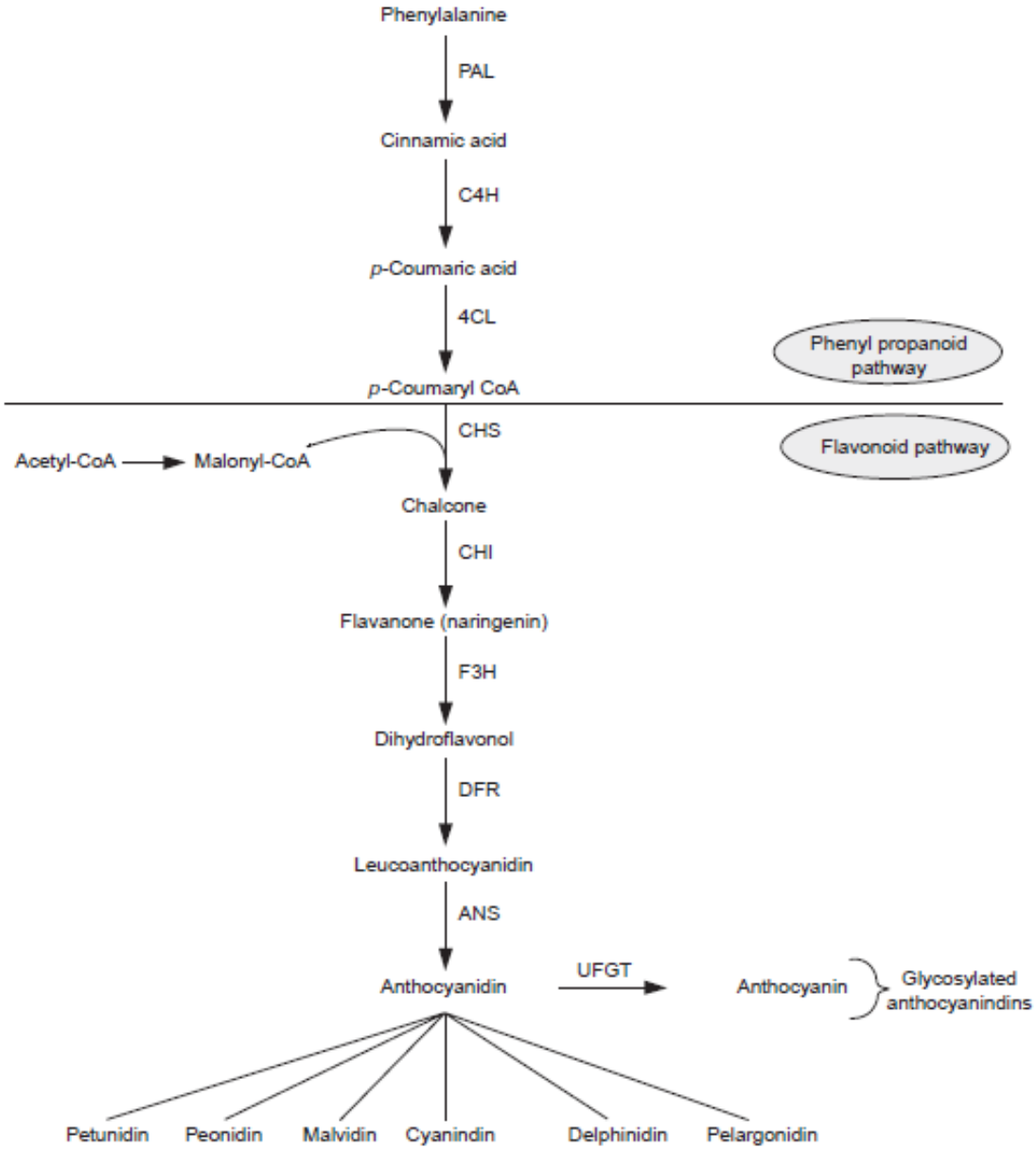


Fig. 21.2 A simplified presentation of anthocyanin biosynthesis in plants. PAL, phenylalanine ammonia lyase; C4H, cinnamate-4-hyroxylase; 4CL, 4-coumaryl CoA ligase; CHS, chalcone synthase; CHI, chalcone isomerase; F3H, flavanone-3-hydroxylase; DFR, dihydroflavonol-4-reductase; ANS, anthocyanin synthase; UFGT, UDP-glucose flavonoid 3-oxy-glucosyltransferase. (Adapted from Jaakola et al., 2002.)

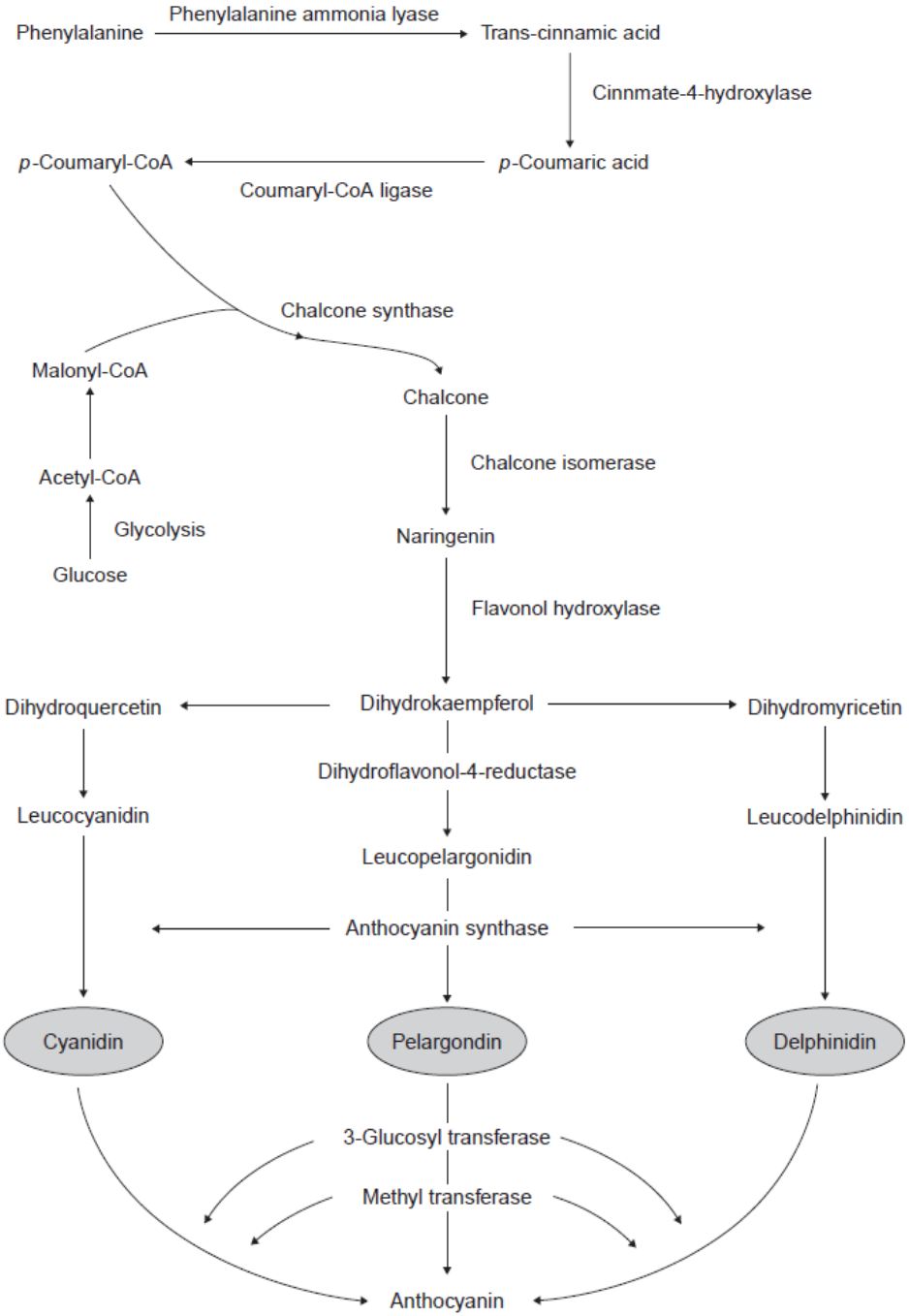


Fig. 3.8 Anthocyanin biosynthetic pathway in plants.

بتالائین‌ها (واکوئل)

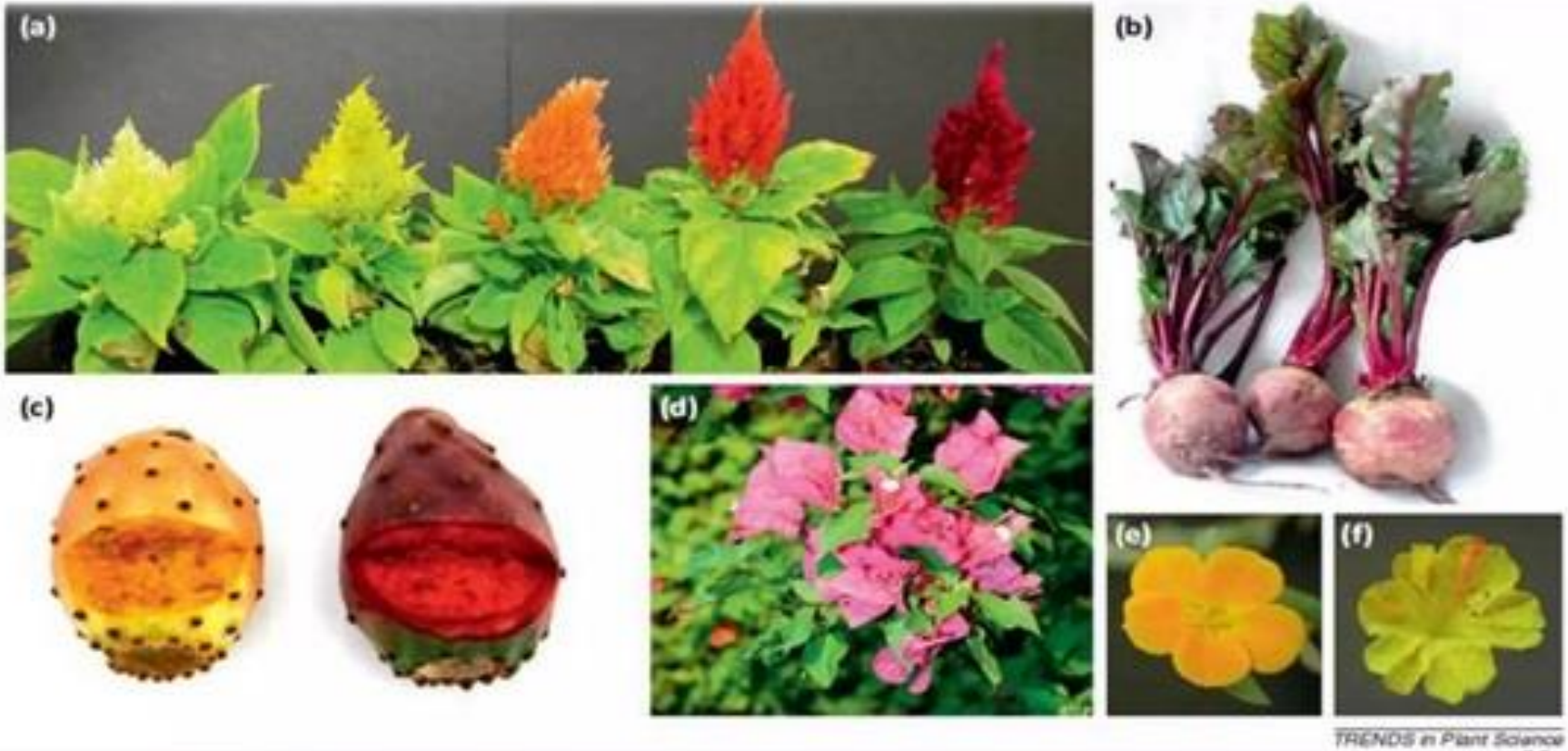
بتالائین‌ها (Betalains) در راسته‌ی میخک‌سانان (Caryophyllales) که در گل، میوه، برگ یا ریشه انواع مختلفی از گیاهان مثل چغندر، ریواس و برخی میوه‌های کاکتوس *Opuntia*، یافت می‌شوند. این رنگیزه‌های غیرفتوسنتزی محلول در آب و برخلاف آنتوسیانین‌ها ساختار ایندولی و حاوی نیتروژن هستند و ظهور رنگ‌شان وابسته به pH نبوده و از اسید آمینه تیروزین مشتق می‌شوند. بتالائین‌ها به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند؛

نوع اول: بتاسیانین‌ها (betacyanins) که رنگ‌های صورتی، قرمز تا بنفش را ایجاد می‌کنند مانند رنگیزه موجود در گل‌های کاغذی نوع گل صورتی یا قرمز

و نوع دوم: بتاگزانتین‌ها (betaxanthins) که رنگ‌های زرد تا نارنجی را تشکیل می‌دهند. مانند رنگیزه موجود در گلبرگ‌های گل ناز (*Portulaca*)

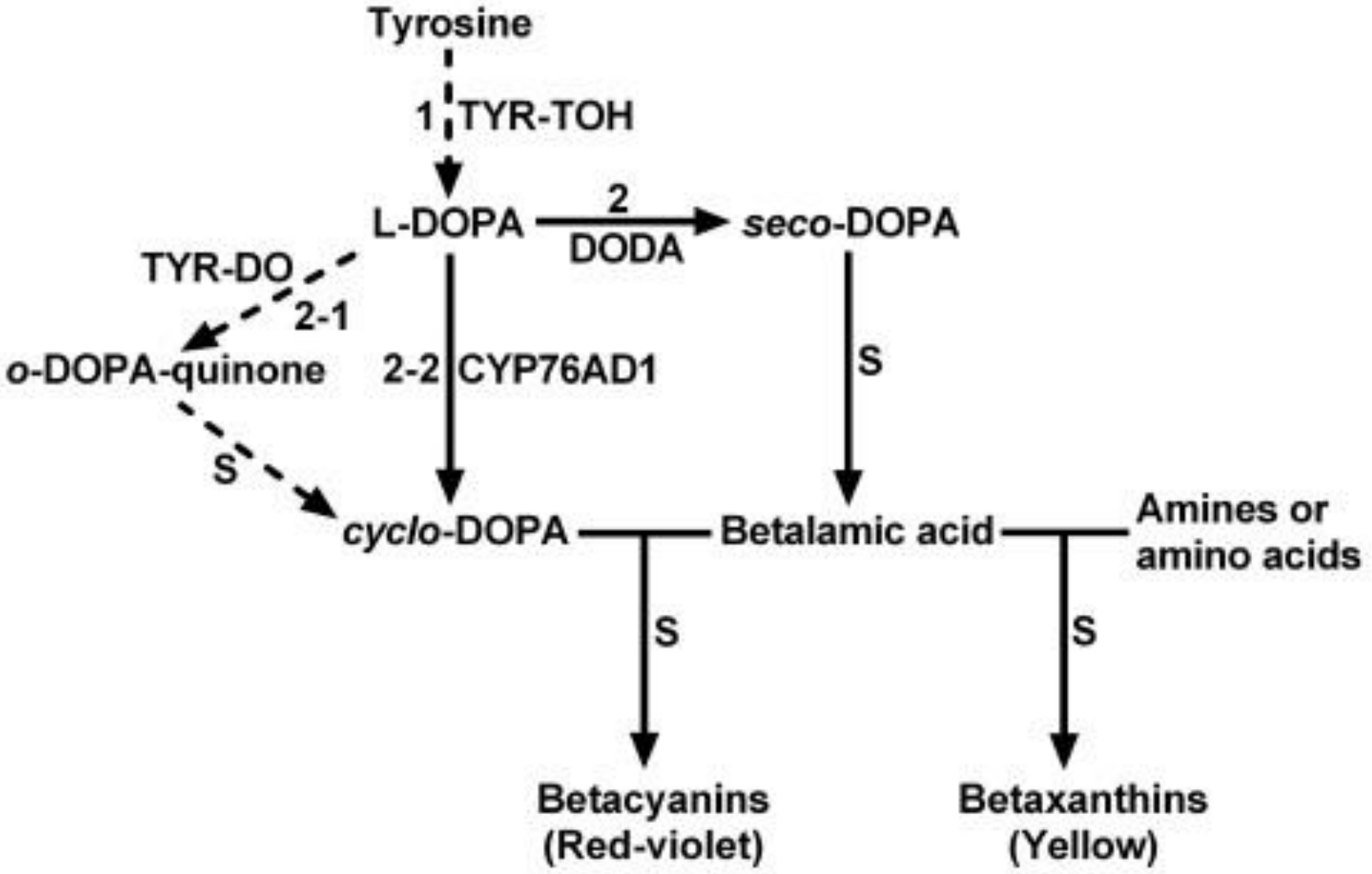
- مهم‌ترین خانواده‌های راسته **Caryophyllales** عبارتند از:

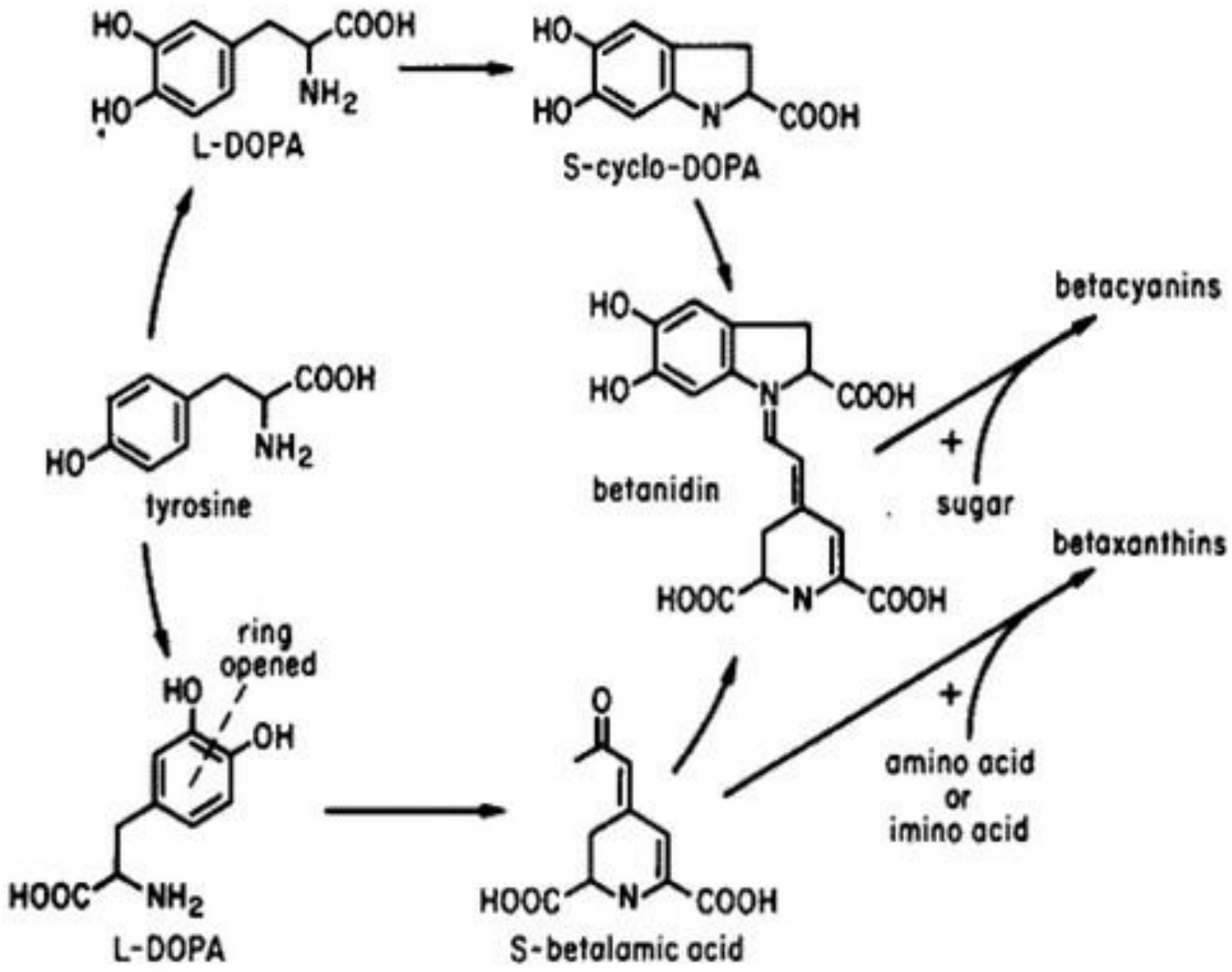
- **Caryophyllaceae** خانواده میخکیان
- **Amaranthaceae (Chenopodiaceae)** خانواده تاج‌خروسیان یا چغندریان یا تیره اسفناج
- **Portulacaceae** خانواده خرفه‌ایان
- **Nyctaginaceae** خانواده گل کاغذیان
- **Cactaceae** خانواده کاکتوسیان
- **Polygonaceae** خانواده هفت‌بندیان یا تیره ریواس



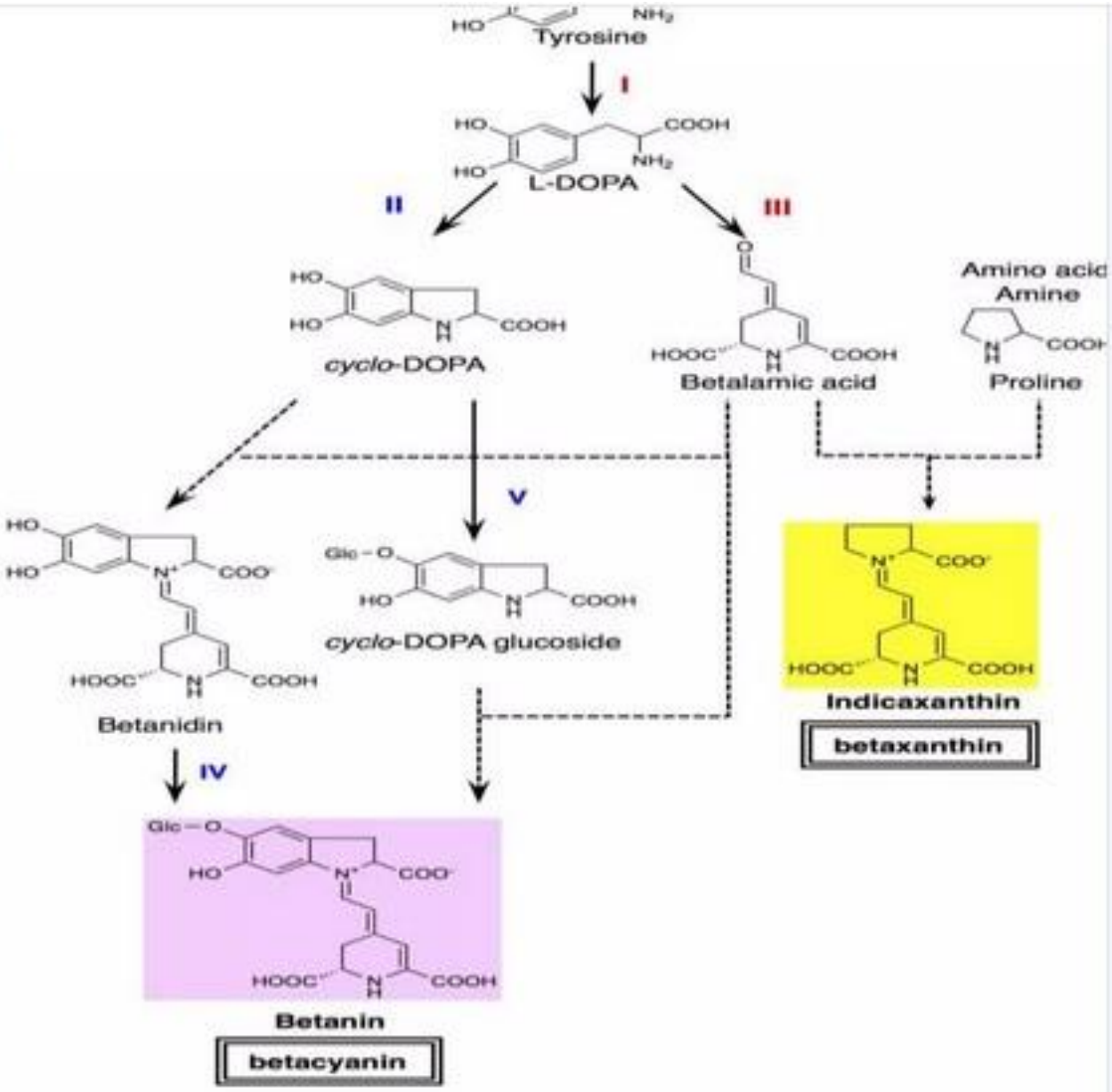
igure 1. Betalain-containing plants.: (a) *Celosia argentea* inflorescences; (b) *Beta vulgaris* whole plants; (c) *Opuntia ficus-indica* fruits; (d) *Bougainvillea glabra* bracts; an

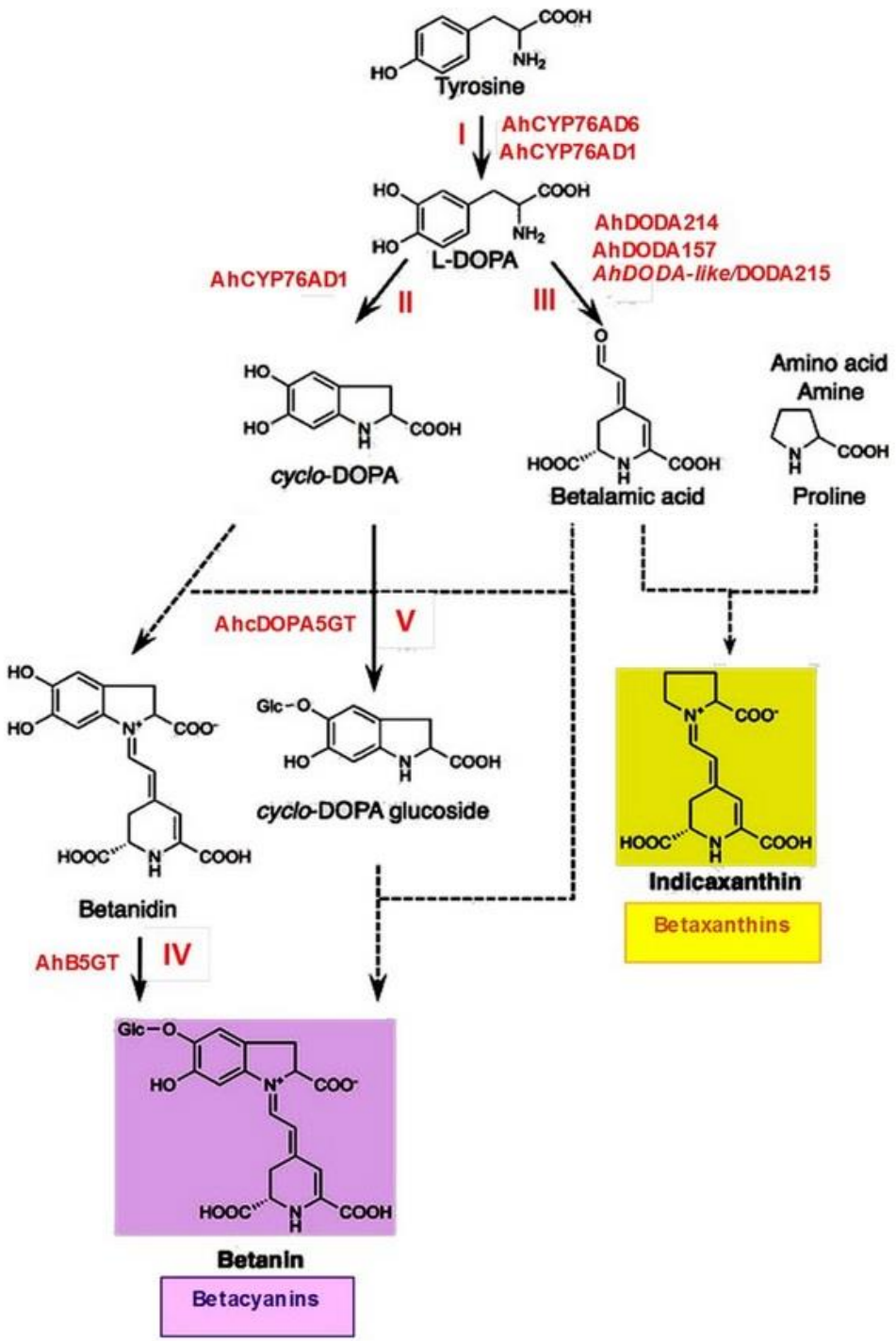
بیوسنتز بتالائین‌ها




HO
HO
COOH
NH2
L-DOPA
HO
HO
N
COOH
S-cyclo-DOPA
HO
HO
N
COOH
betanidin
HOOC
N
COOH
betacyanins
+
sugar
betaxanthins
+
amino acid
or
imino acid
HO
HO
COOH
NH2
tyrosine
ring
opened
HO
OH
HOOC
NH2
L-DOPA
O
HOOC
N
COOH
S-betalamic acid

Thick arrows show enzymatic reactions, dotted arrows show spontaneous reactions. I, enzyme with tyrosine-hydroxylating activity (LeTYR in this study); II, L-DOPA oxidase; III, DOPA 4,5-dioxygenase (MjDOD in this study); IV, betanidin 5-*O*-glucosyltransferase; V, *cyclo*-DOPA 5-*O*-glucosyltransferase. Enzymes used for betaxanthin engineering in this study are shown in red font




Tyrosine
I
AhCYP76AD6
AhCYP76AD1
L-DOPA
AhDODA214
AhDODA157
AhDODA-like/DODA215
AhCYP76AD1
II
III
cyclo-DOPA
Betalamic acid
Amino acid
Amine
Proline
AhcDOPA5GT
V
cyclo-DOPA glucoside
Betanidin
Indicaxanthin
Betaxanthins
AhB5GT
IV
Betanin
Betacyanins