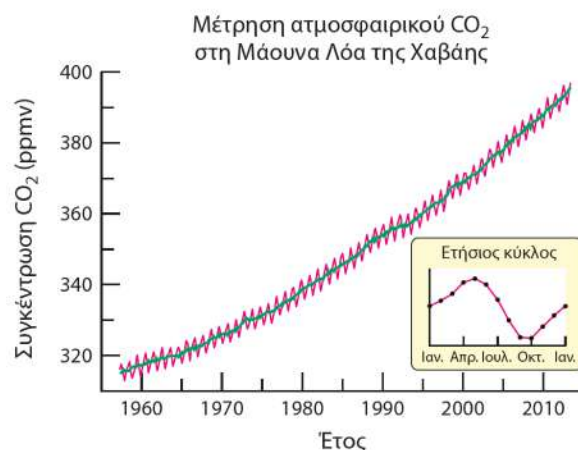


Βιοχημεία I

Κεφάλαιο 20

Ο κύκλος του Calvin και η πορεία των φωσφορικών πεντοζών



Κύκλος του Calvin

Οι σκοτεινές αντιδράσεις χρησιμοποιούν την ATP και το NADPH για να ανάγουν τα άτομα του άνθρακα από την κατάσταση πλήρους οξείδωσης του CO₂ στην περισσότερο ανηγμένη κατάσταση μια εξόξης

Πορεία των φωσφορικών πεντοζών

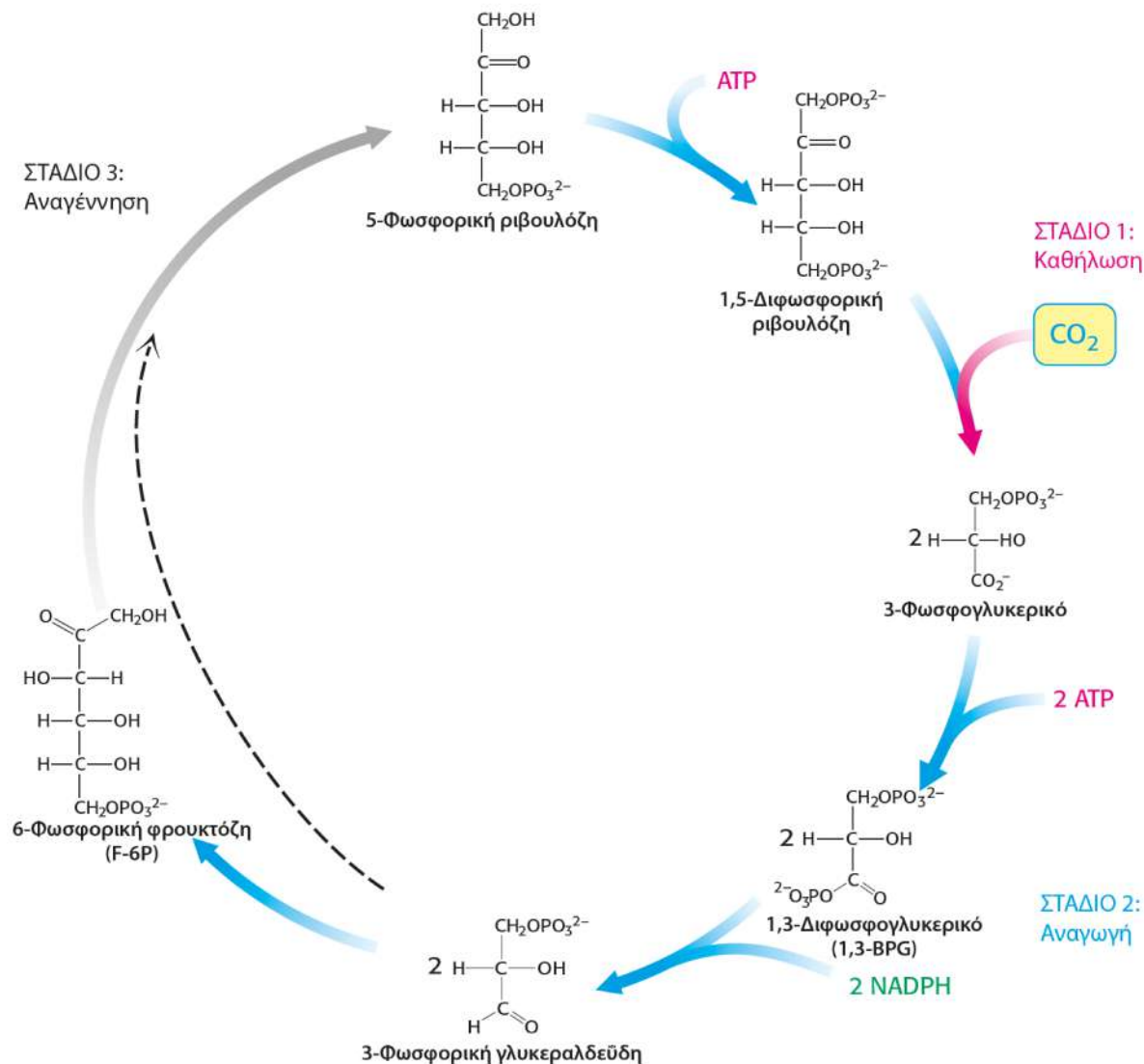
Παρέχει τρόπο με τον οποίο η γλυκόζη μπορεί να οξειδωθεί για την παραγωγή NADPH (νόμισμα άμεσης διαθεσιμότητας αναγωγικής ισχύος των κυττάρων)

20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Ο κύκλος του Calvin φέρνει στους ζώντες οργανισμούς, άτομα C που θα αποτελέσουν συστατικά των νουκλεϊκών οξέων, των πρωτεϊνών και των λιπών

Ο κύκλος του Calvin περιλαμβάνει τρία στάδια

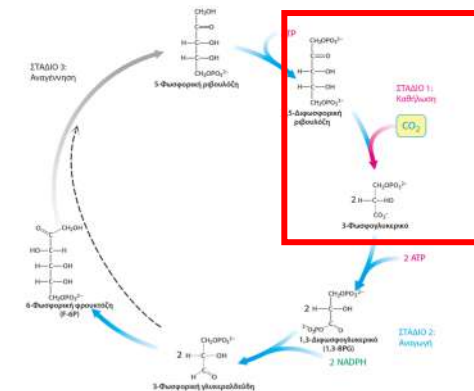
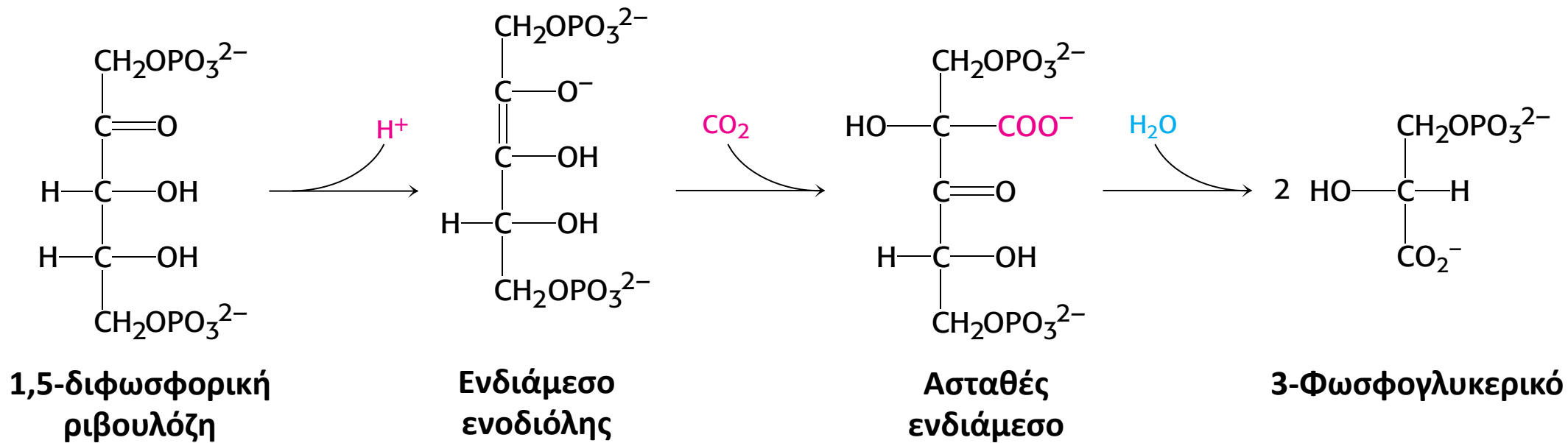
1. Η **καθήλωση του CO₂** από την 1,5-διφωσφορική ριβουλόζη για να σχηματίσει δύο μόρια 3-φωσφογλυκερικού
2. Την **αναγωγή** του 3-φωσφογλυκερικού για να σχηματιστούν **εξόζες**
3. Την **αναγέννηση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης** έτσι ώστε να μπορεί να καταναλωθεί περισσότερο CO₂



20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

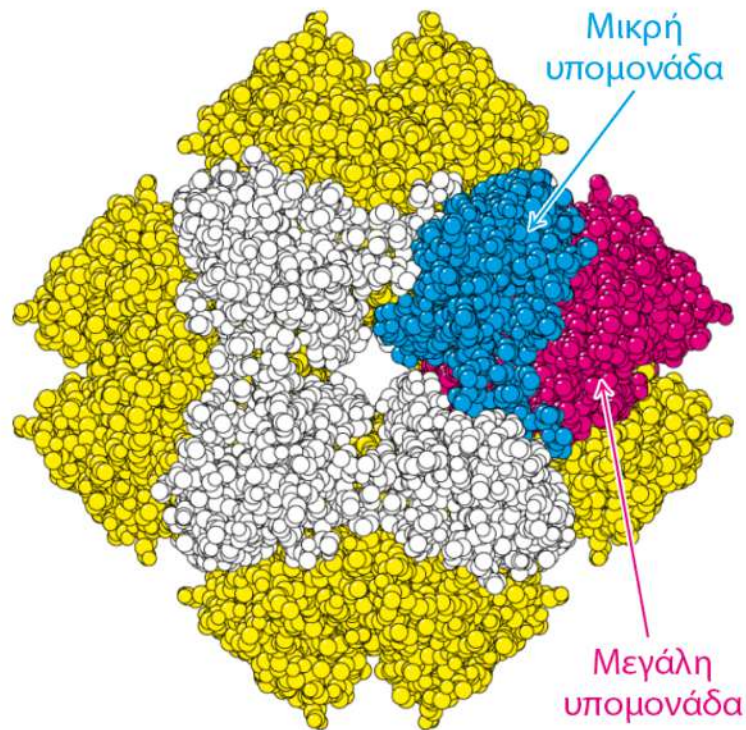
Το CO₂ αντιδρά με την 1,5-διφωσφορική ριβουλόζη για να σχηματιστούν δύο μόρια 3-φωσφογλυκερικού

Με τι άλλο θα μπορούσε να αντιδράσει;



20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Το ένζυμο καρβοξυλάση/οξυγονάση της 1,5-διφωσφορική ριβουλόζη (rubisco)

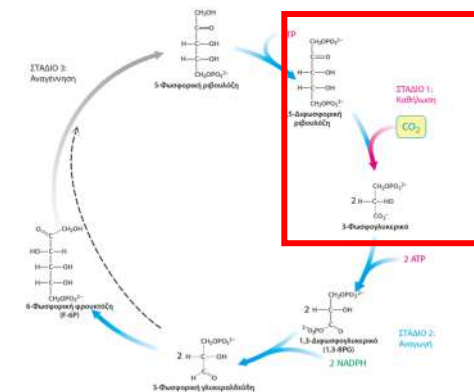


Βρίσκεται άφθονο στους χλωροπλάστες

- 30% της συνολικής πρωτεΐνης των φυτών
- Η πιο άφθονη πρωτεΐνη στην βιόσφαιρα!

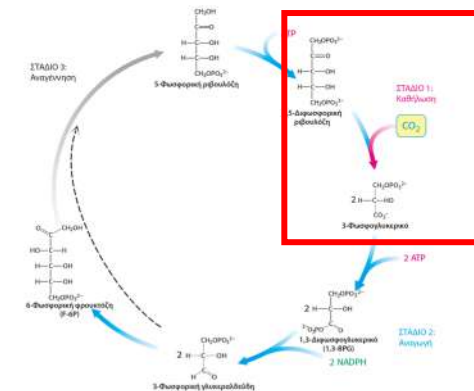
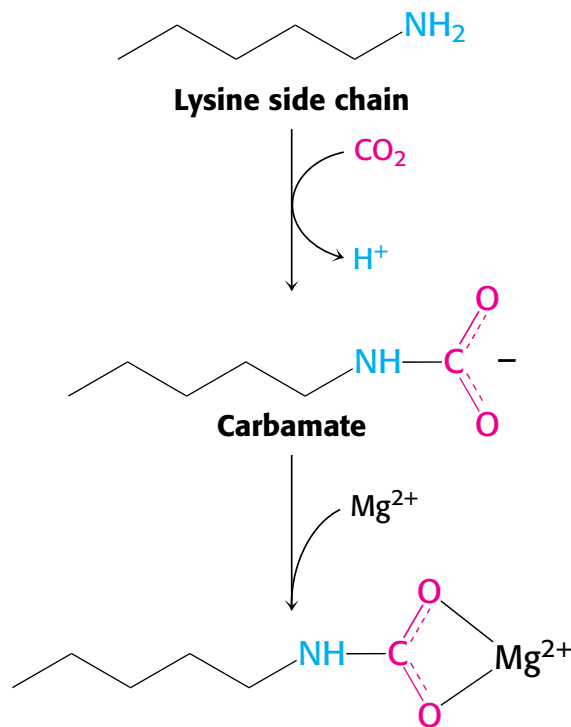
Υπομονάδες:

- 8 μεγάλες L (μια καταλυτική και μια ρυθμιστική περιοχή)
- 8 μικρές S (αυξάνουν την καταλυτική δραστηριότητα)



20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

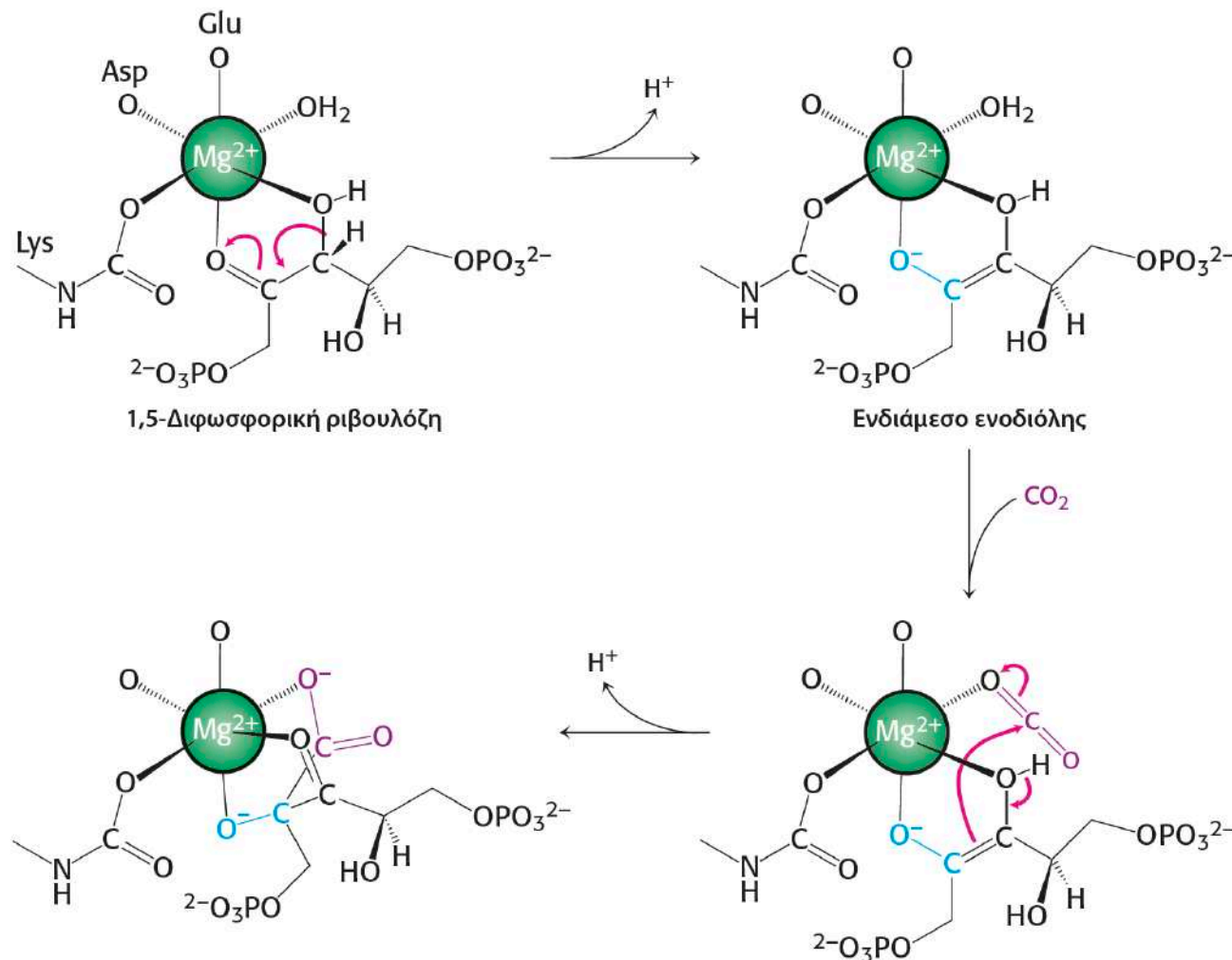
Το ένζυμο καρβοξυλάση/οξυγονάση της 1,5-διφωσφορική ριβουλόζη (rubisco)



- Χρειάζεται ένα προσδεμένο δισθενές ιόν μετάλλου για δραστικότητα (συνήθως Mg^{2+})
- Χρειάζεται ένα μόριο CO_2 διαφορετικό από το υπόστρωμα για να συμπληρωθεί η συγκρότηση της θέσης πρόσδεσης του Mg^{2+}
- Ο σχηματισμός του καρβαμικού διευκολύνεται από το ένζυμο ενεργοποιητάση της rubisco (χρειάζεται ATP)

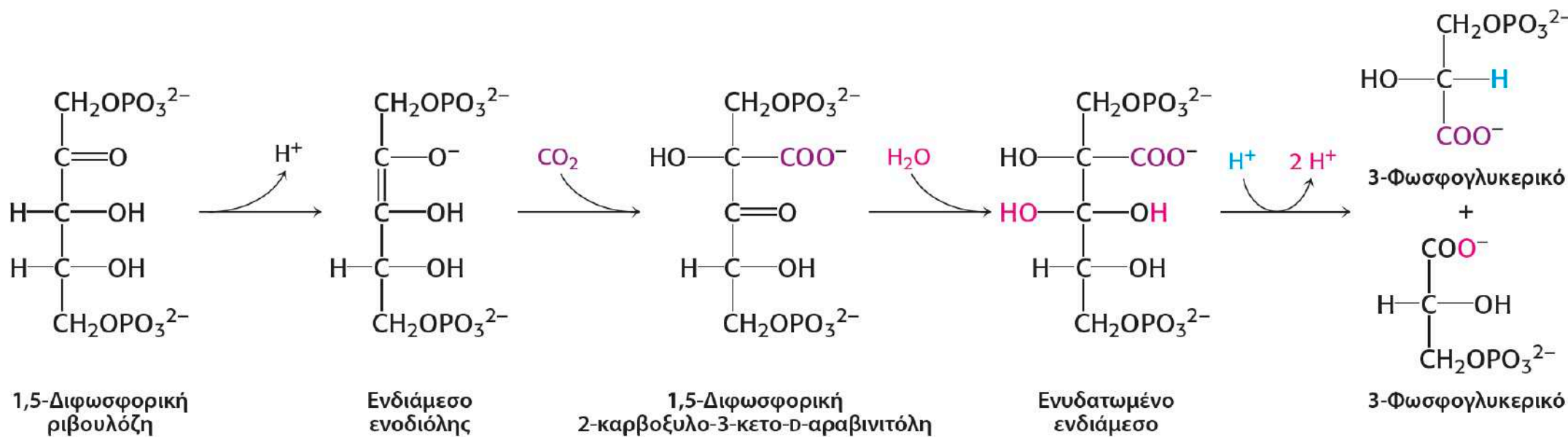
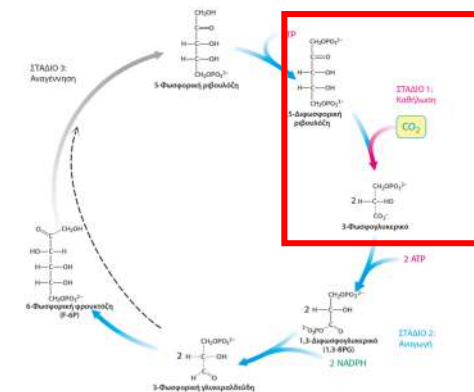
20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Ο ρόλος του ιόντος Mg²⁺ στον μηχανισμό της rubisco



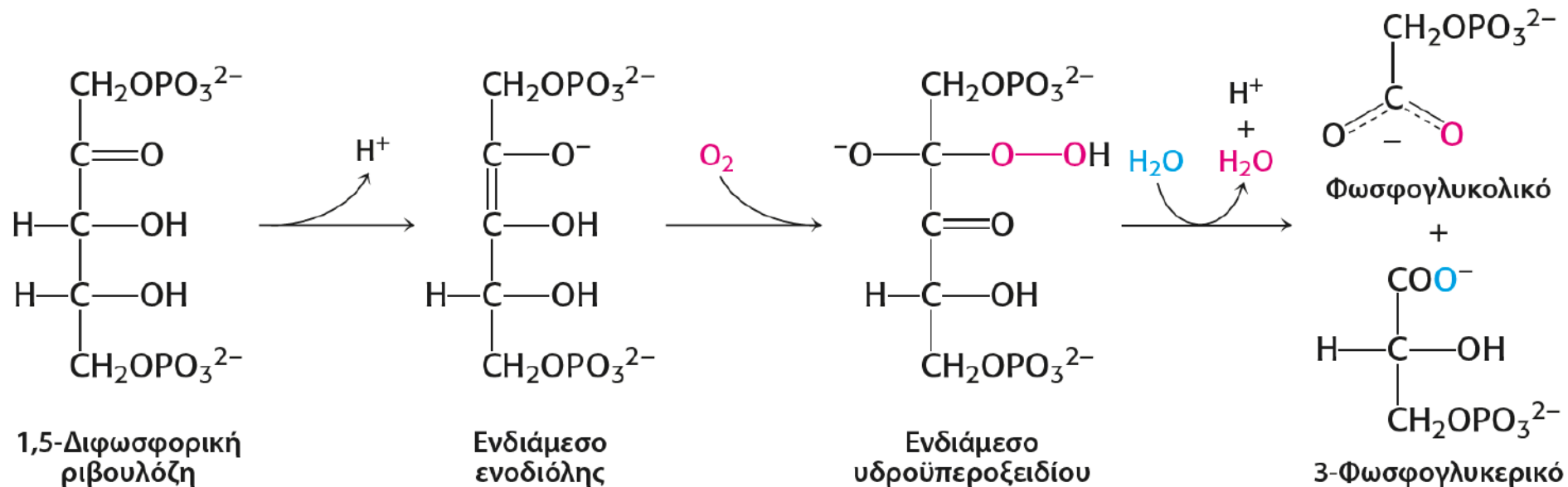
20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Σχηματισμός του 3-φωσφογλυκερικού (ολική πορεία)



20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Η rubisco καταλύει επίσης μια δαπανηρή αντίδραση οξυγονάσης: Καταλυτική ατέλεια



Μέρος του ανθρακικού σκελετού ανακτάται μέσω μιας πορείας περίσωσης

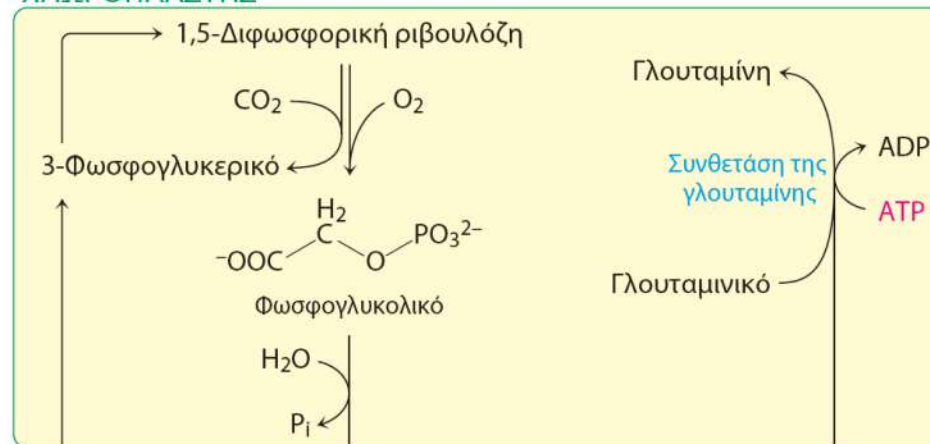
20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Η rubisco καταλύει επίσης μια δαπανηρή αντίδραση οξυγονάσης:
Καταλυτική ατέλεια

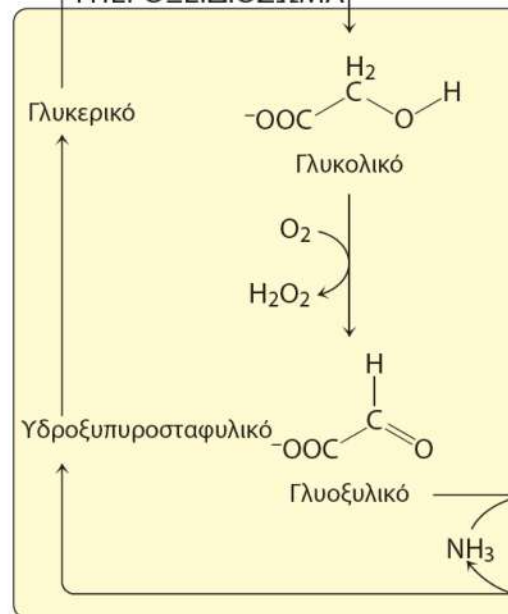
Μέρος του ανθρακικού σκελετού ανακτάται μέσω μιας πορείας περίσωσης

Αντιδράσεις φωτοαναπνοής
(κατανάλωση O₂ και απελευθερώνεται CO₂)

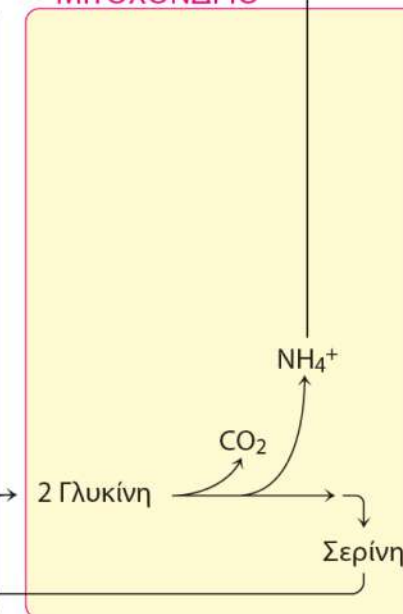
ΧΛΩΡΟΠΛΑΣΤΗΣ



ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟΣΩΜΑ



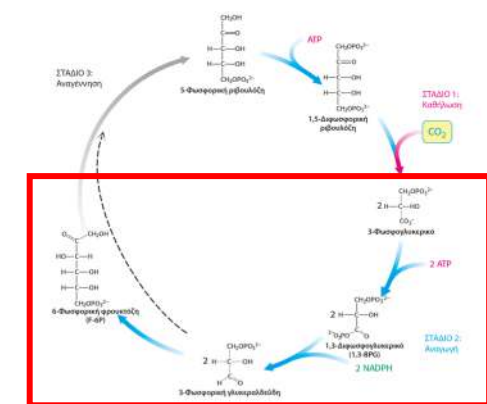
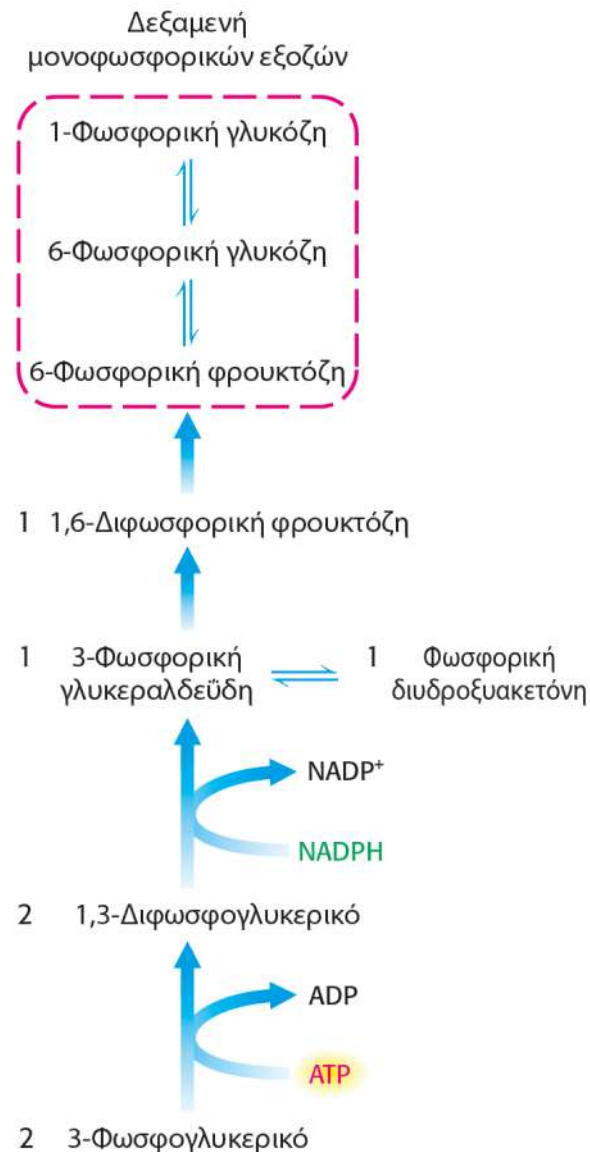
ΜΙΤΟΧΟΝΔΡΙΟ



20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

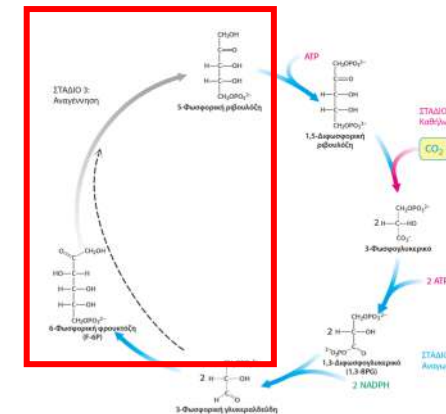
Φωσφορικές εξόζες σχηματίζονται από φωσφογλυκερικό

- Τα βήματα αυτής της μετατροπής είναι όμοια με εκείνα της γλυκονεογενετικής πορείας
- Το μείγμα από τρεις φωσφορυλιωμένες εξόζες ονομάζεται δεξαμενή μονοφωσφορικών εξοζών

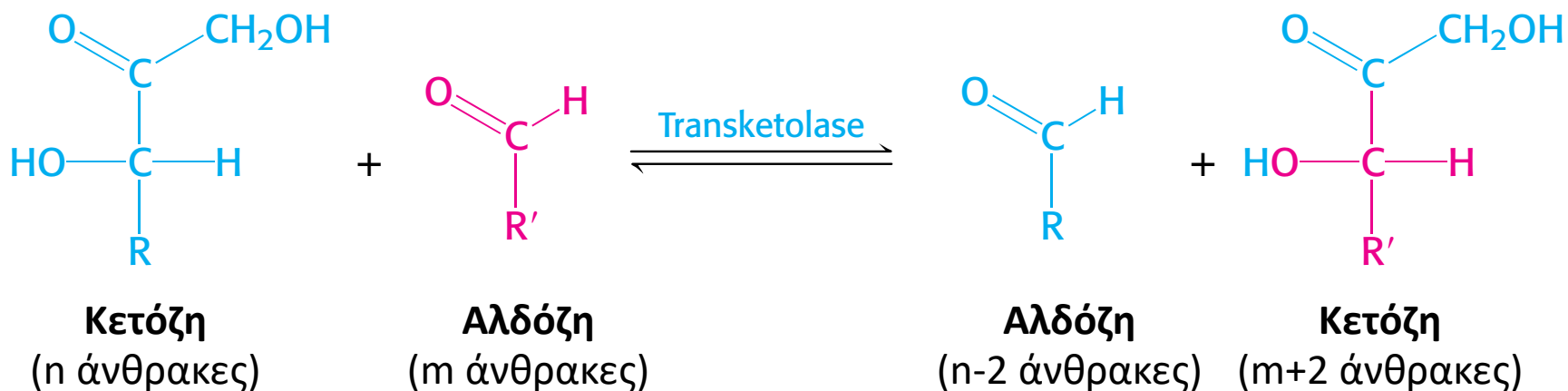


20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Η αναγέννηση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης

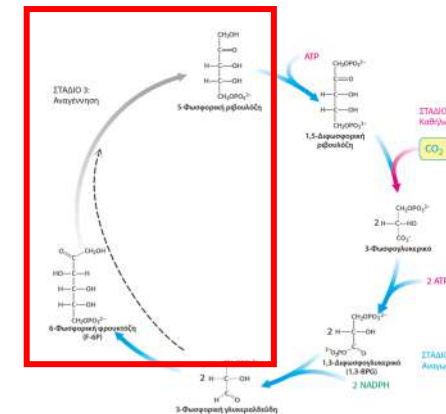


- Παραγωγή ενός σακχάρου με πέντε άτομα άνθρακα από σάκχαρα με έξι και τρία άτομα άνθρακα
- Κυρίο ρολό παίζουν τα ένζυμα τρανσκετολάση και αλδολάση

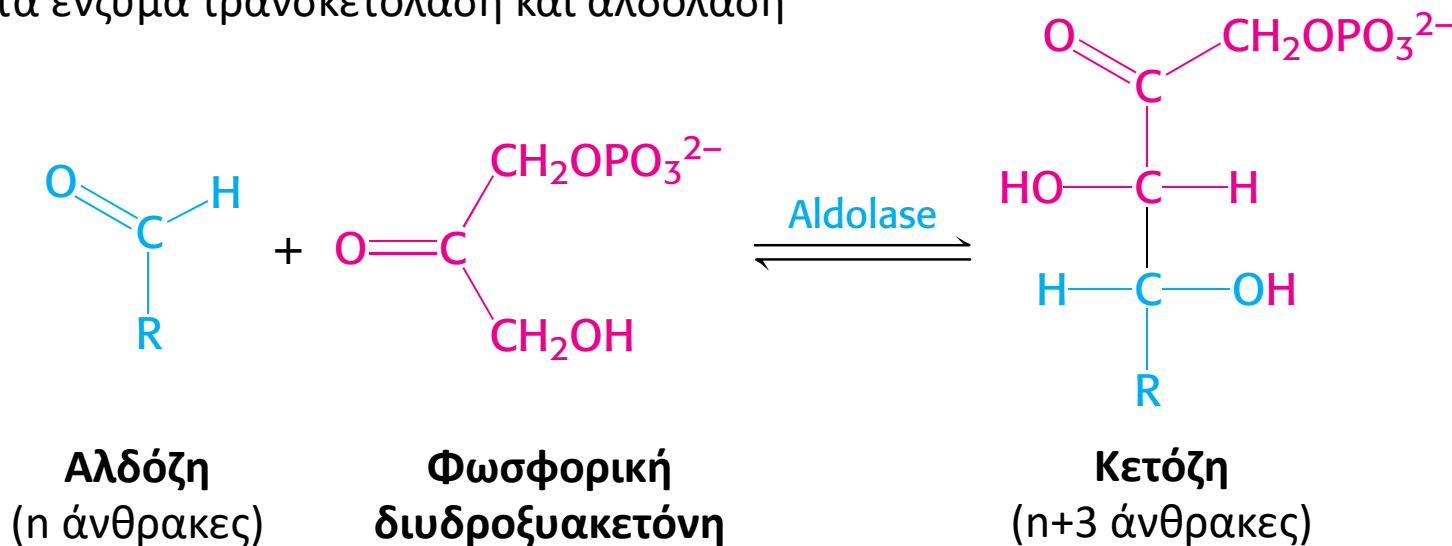


20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Η αναγέννηση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης

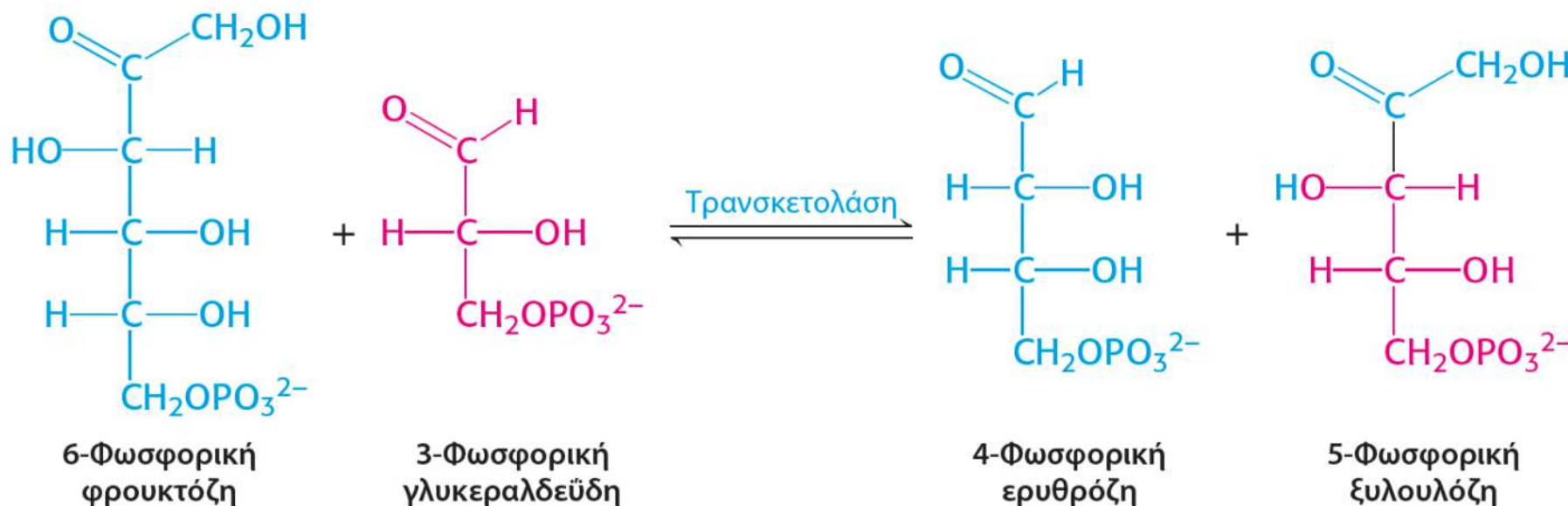
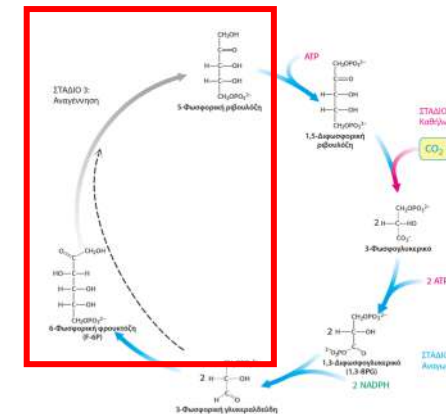


- Παραγωγή ενός σακχάρου με πέντε άτομα άνθρακα από σάκχαρα με έξι και τρία άτομα άνθρακα
- Κυρίο ρολό παίζουν τα ένζυμα τρανσκετολάση και αλδολάση



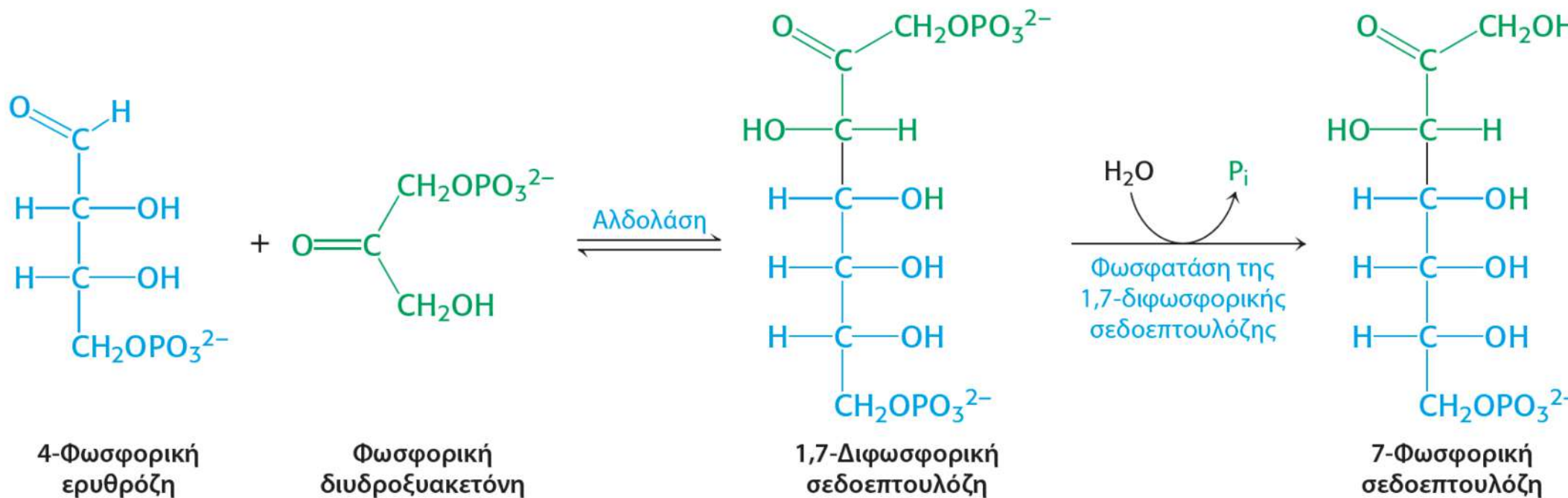
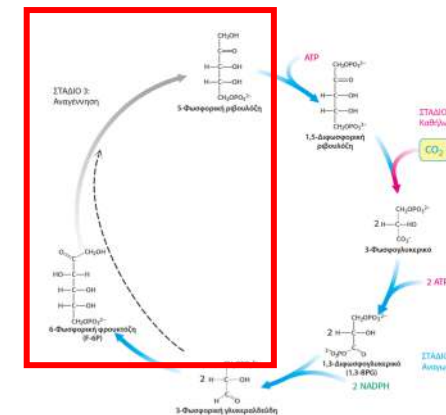
20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Σχηματισμός σακχάρων με πέντε άτομα άνθρακα



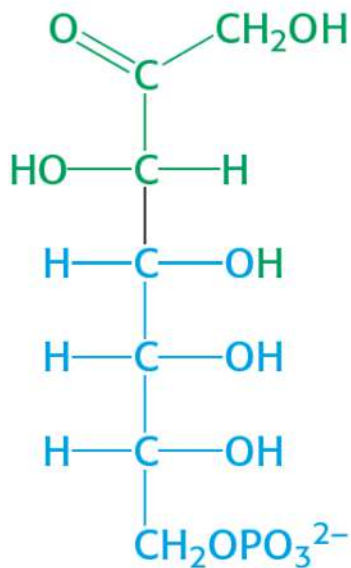
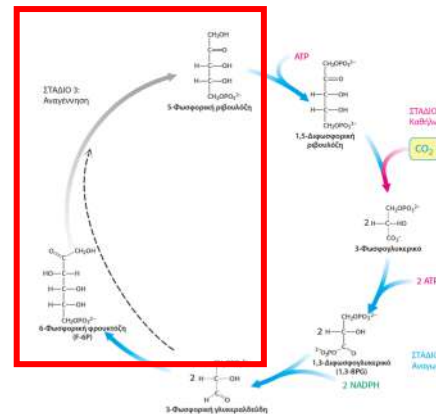
20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Σχηματισμός σακχάρων με πέντε άτομα άνθρακα

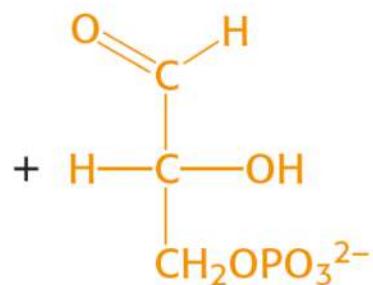


20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Σχηματισμός σακχάρων με πέντε άτομα άνθρακα

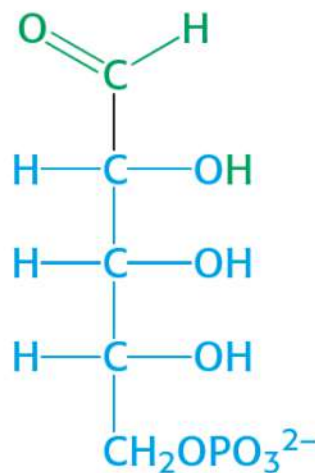


7-Φωσφορική
σεδοεπτουλόζη

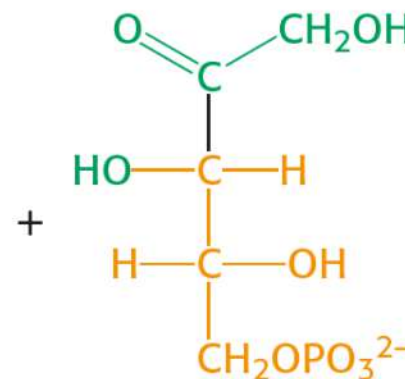


3-Φωσφορική
γλυκεραλδεΐδη

Τρανσκετολάση



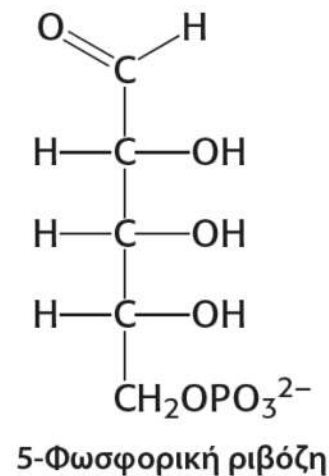
5-Φωσφορική
ριβόζη



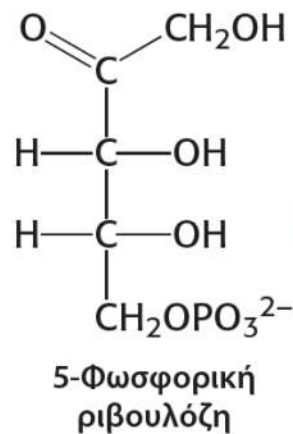
5-Φωσφορική
ξυλουλόζη

20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

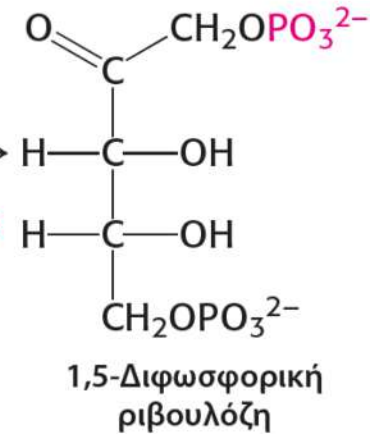
Αναγέννηση της
1,5-διφωσφορικής
ριβουλόζης



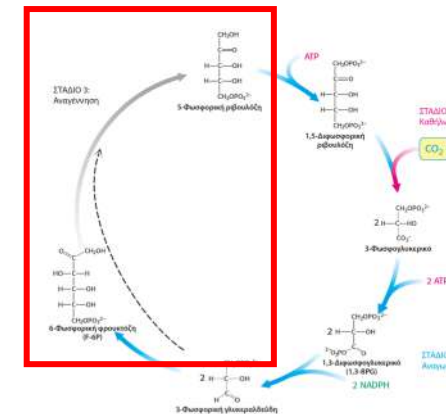
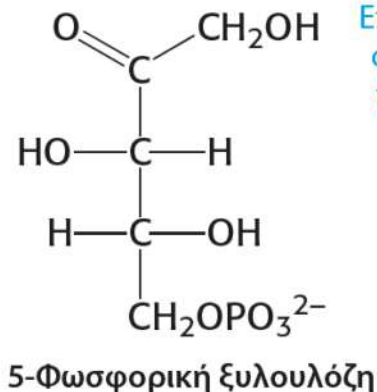
Ισομεράση των
φωσφορικών
πεντοζών



ATP → ADP
Κινάση της
φωσφοριβουλόζης



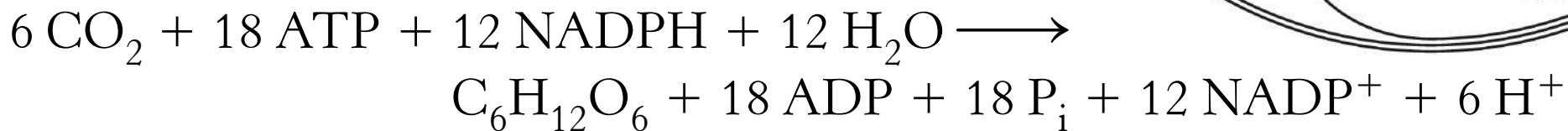
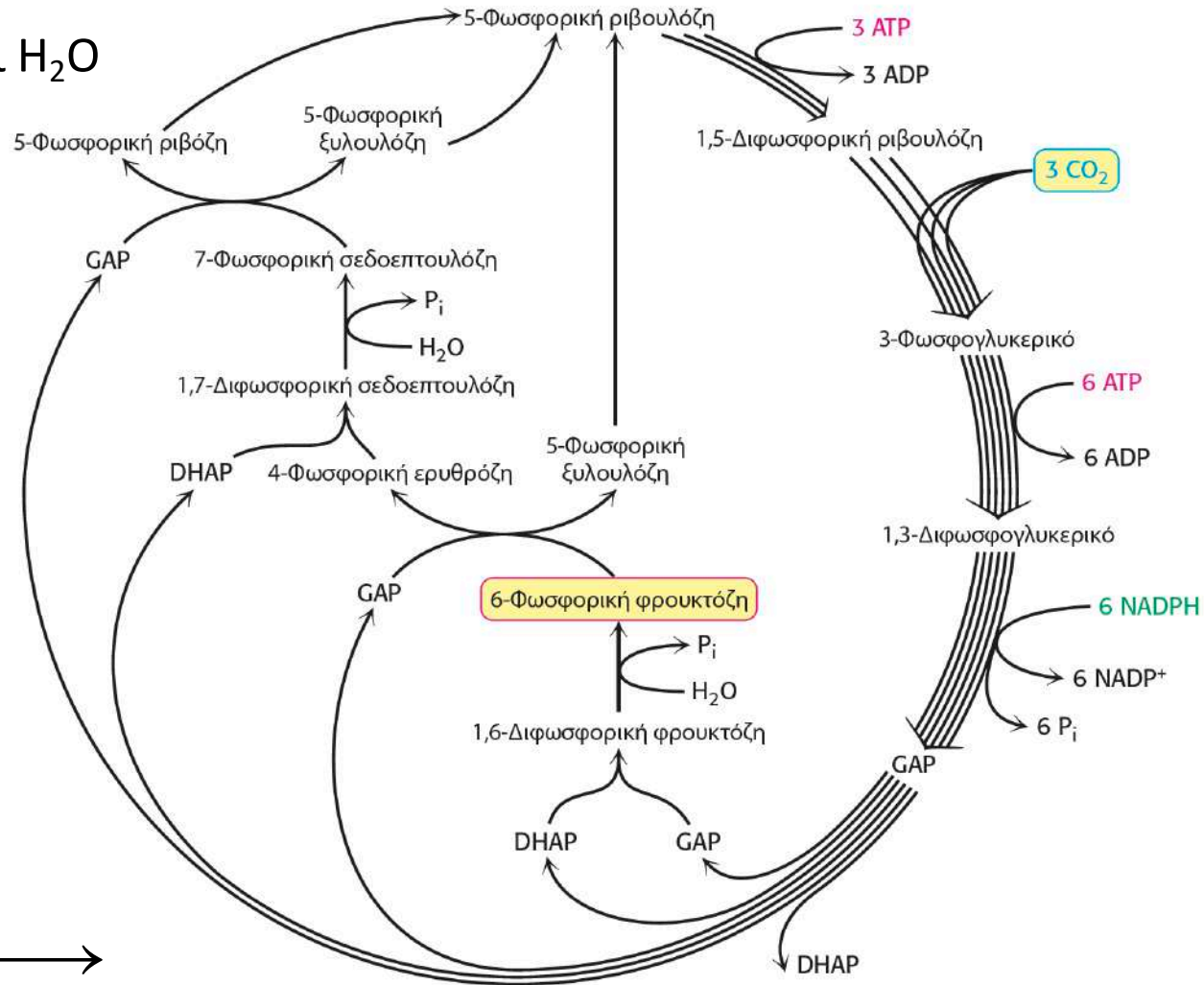
Επιμεράση των
φωσφορικών
πεντοζών



20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Ο κύκλος του Calvin

Πόση γύροι του κύκλου του Calvin απαιτούνται για την σύνθεση μια εξόζης;

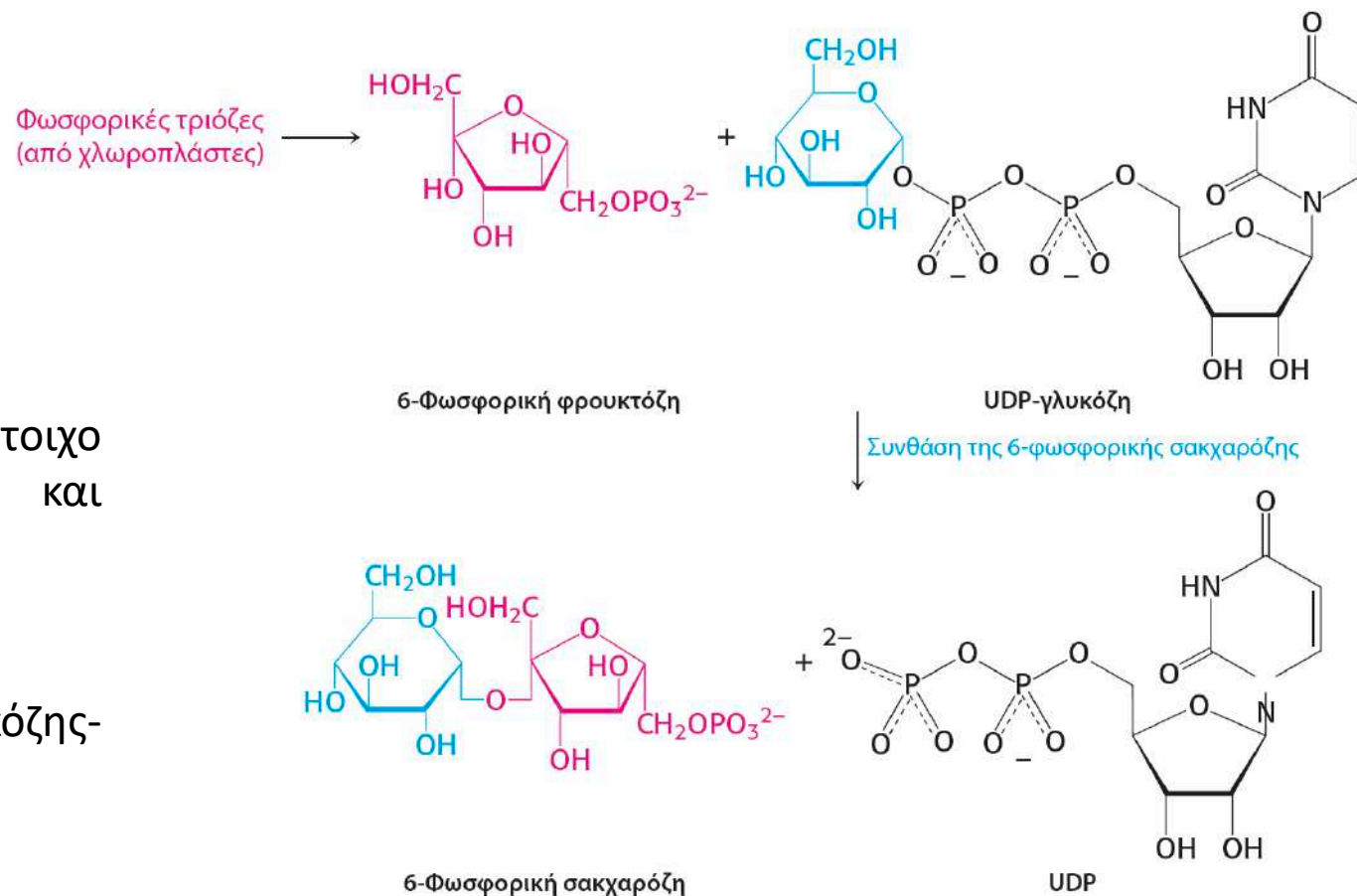


20.1 Ο κύκλος του Calvin συνθέτει εξόζες από CO₂ και H₂O

Το άμυλο και η σακχαρόζη είναι οι κύριες αποθήκες υδατανθράκων στα φυτά

Ποια είναι η κατάληξη των μελών της δεξαμενής των μονοφωσφορικών εξοζών;

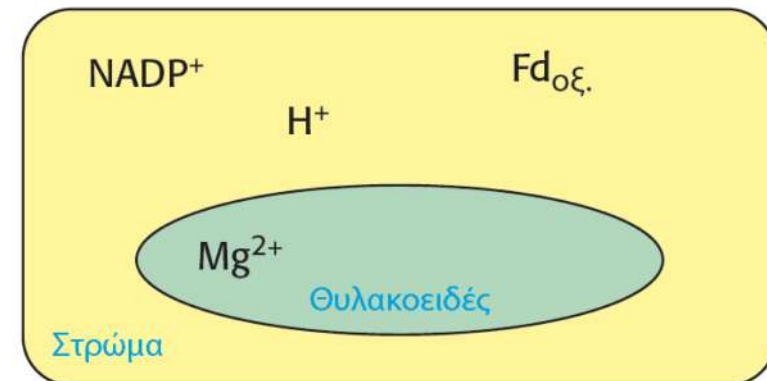
- Άμυλο: Πολυμερές κατάλοιπων γλυκόζης (αντίστοιχο του γλυκογόνου στα ζώα), συντίθεται και αποθηκεύεται στους χλωροπλάστες
- Σακχαρόζη (ζάχαρη): Δισακχαρίτης γλυκόζης-φρουκτόζης, συντίθεται στο κυτταρόπλασμα



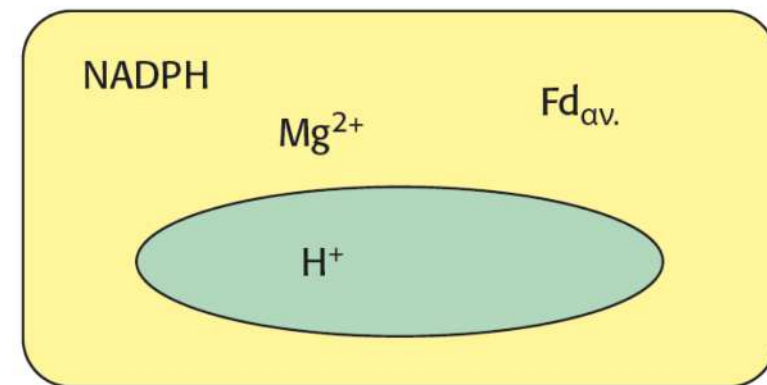
20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Φωτορύθμιση του κύκλου του Calvin

- Η rubisco ενεργοποιείται από αλλαγές στις συγκεντρώσεις των πρωτονίων και του Mg^{2+} που ωθούνται από το φως (ο σχηματισμός καρβαμικού στο στρώμα ευνοείται από αλκαλικό pH και υψηλή συγκέντρωση Mg^{2+})
- Η αφομοίωση του CO_2 από τον κύκλο του Calvin λειτουργεί κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ η αποικοδόμηση των υδατανθράκων για την παραγωγή ενέργειας λαμβάνει χώρα πρωτίστως τη νύχτα



ΣΚΟΤΑΔΙ

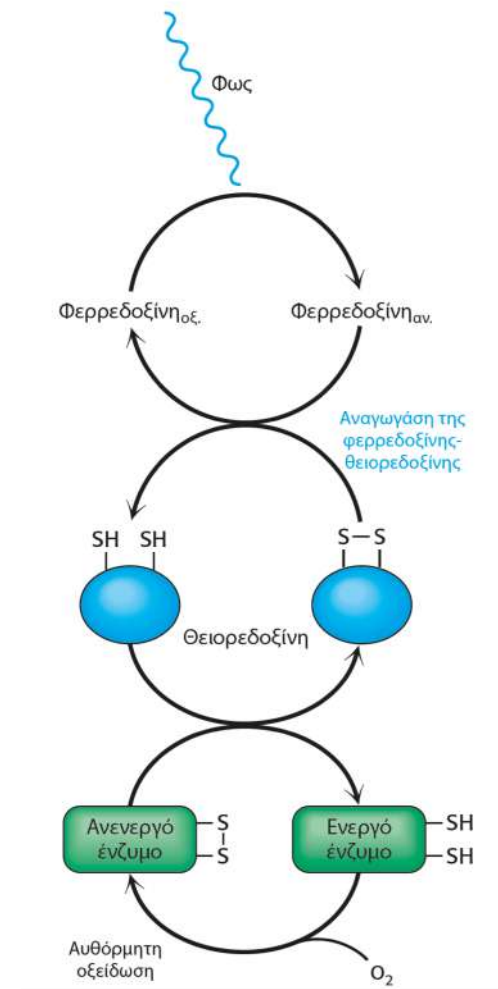
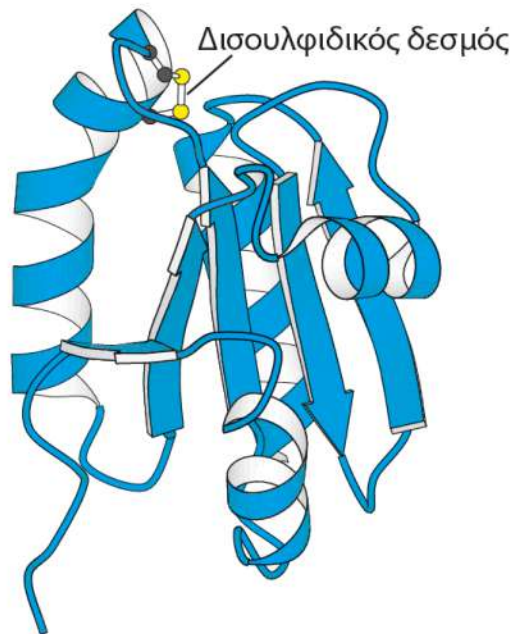


ΦΩΣ

20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Η θειορεδοξίνη παίζει καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση του κύκλου του Calvin

- Οι φωτεινές αντιδράσεις οδηγούν στην αναγωγή της θειορεδοξίνης
- Η ανηγμένη θειορεδοξίνη ενεργοποιεί κάποια ένζυμα του κύκλου του Calvin με το να διασπά ρυθμιστικούς δισουλφιδικούς δεσμούς





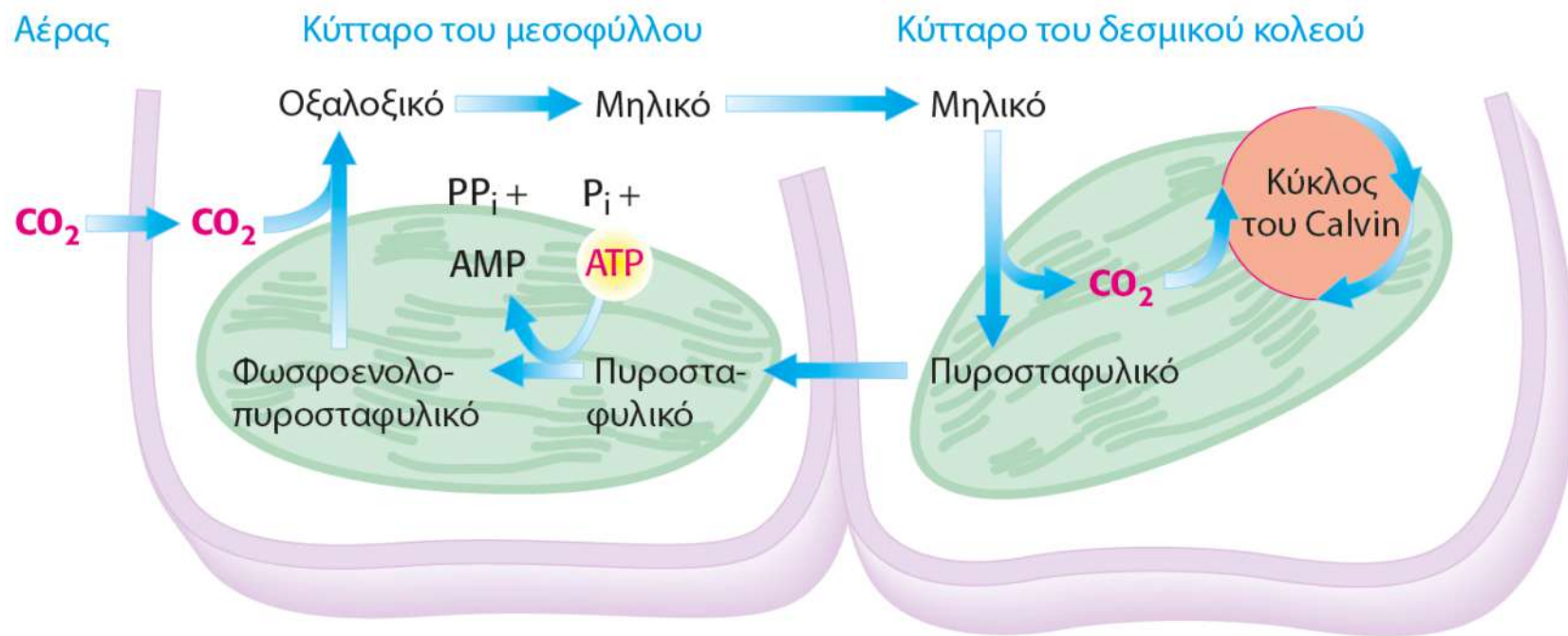
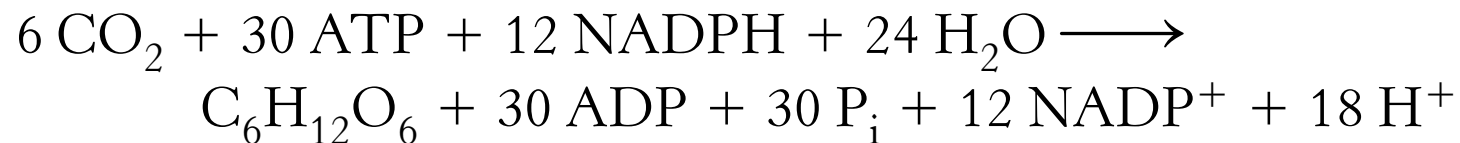
20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Ένζυμα που ρυθμίζονται από την θειορεδοξίνη

Ένζυμο	Πορεία
Rubisco	Καθήλωση άνθρακα στον κύκλο του Calvin
Φωσφατάση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης	Γλυκονεογένεση
Αφυδρογονάση της 3-φωσφορικής γλυκεραλδεϋδης	Κύκλος του Calvin, γλυκονεογένεση, γλυκόλυση
Φωσφατάση της 1,7-διφωσφορικής σεδοεπτουλόζης	Κύκλος του Calvin
Αφυδρογονάση της 6-φωσφορικής γλυκόζης	Πορεία των φωσφορικών πεντοζών
Λυάση της φαινυλαλανίνης-αμμωνίας	Σύνθεση λιγνίνης
Κινάση της 5-φωσφορικής ριβουλόζης	Κύκλος του Calvin
Μηλική αφυδρογονάση εξαρτώμενη από NADP ⁺	Πορεία C ₄

20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Η πορεία C₄ των τροπικών φυτών επιταχύνει τη φωτοσύνθεση συγκεντρώνοντας το CO₂



20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Μεταβολισμός οξέων κατά Κρασσουλίδες (CAM) επιτρέπει την ανάπτυξη σε άνυδρο περιβάλλον



Κατά την διάρκεια της νύχτας (χαμηλές θερμοκρασίες)

- Το CO_2 καθιλώνεται από την πορεία C_4 μέσα στο μηλικό

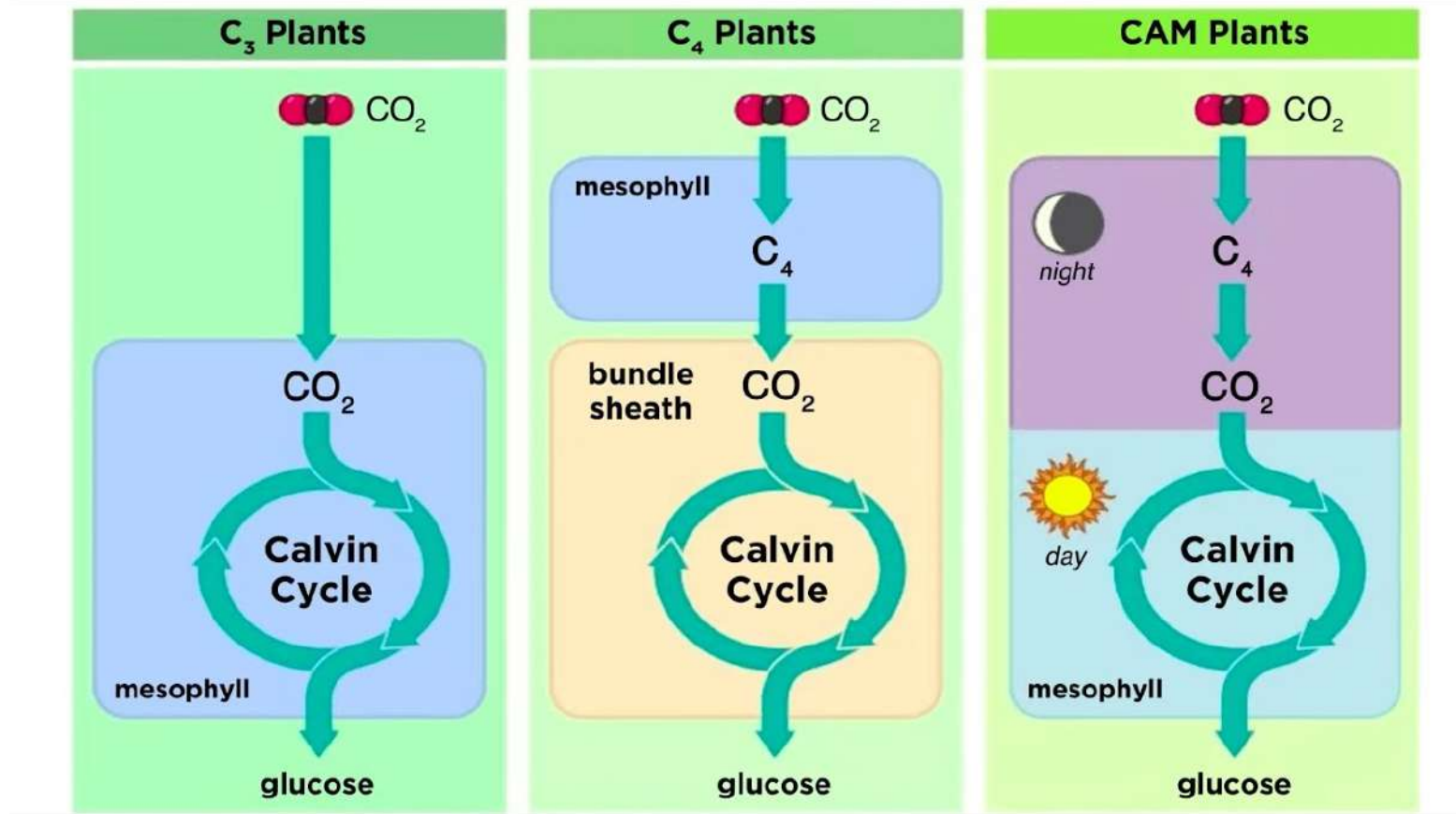
Κατά την διάρκεια της ημέρας

- Το μηλικό αποκαρβοξυλιώνεται και το CO_2 είναι διαθέσιμο στον κύκλο του Calvin

Χρησιμοποίηση του CO_2 χρονικά και όχι χωρικά (C_4)

20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Φυτά C₃, C₄, CAM



20.2 Η δραστηριότητα του κύκλου του Calvin εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Φυτά C_3 , C_4 , CAM



20.3 Η πορεία των φωσφορικών πεντοζών παράγει NADPH και συνθέτει σάκχαρα με πέντε άτομα άνθρακα

Μια μεταβολική πορεία που υπάρχει σε όλους τους οργανισμούς

- καλύπτει τις ανάγκες για NADPH των μη φωτοσυνθετικών οργανισμών και των μη φωτοσυνθετικών ιστών των φυτών



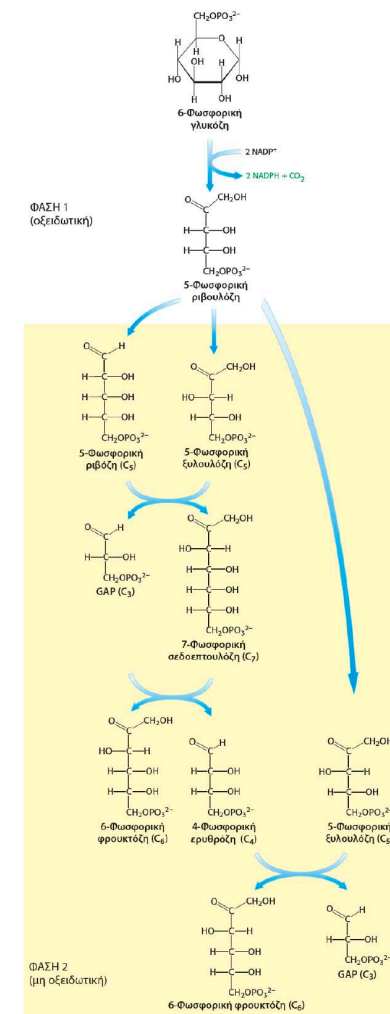
Γιατί χρειαζόμαστε NADPH και NADH;

NADPH: για βιοσυνθέσεις, προστασία από το οξειδωτικό στρες

NADH: για παραγωγή ATP

Η πορεία των φωσφορικών πεντοζών

- Κυτταρόπλασμα
- Πηγή NADPH
- Προστασία ενάντια στο οξειδωτικό στρες





20.3 Η πορεία των φωσφορικών πεντοζών παράγει NADPH και συνθέτει σάκχαρα με πέντε άτομα άνθρακα

Πορείες που χρειάζονται NADPH

Σύνθεση

Βιοσύνθεση λιπαρών οξέων

Βιοσύνθεση χοληστερόλης

Βιοσύνθεση νευροδιαβιβαστών

Βιοσύνθεση νουκλεοτιδίων

Αποτοξίκωση

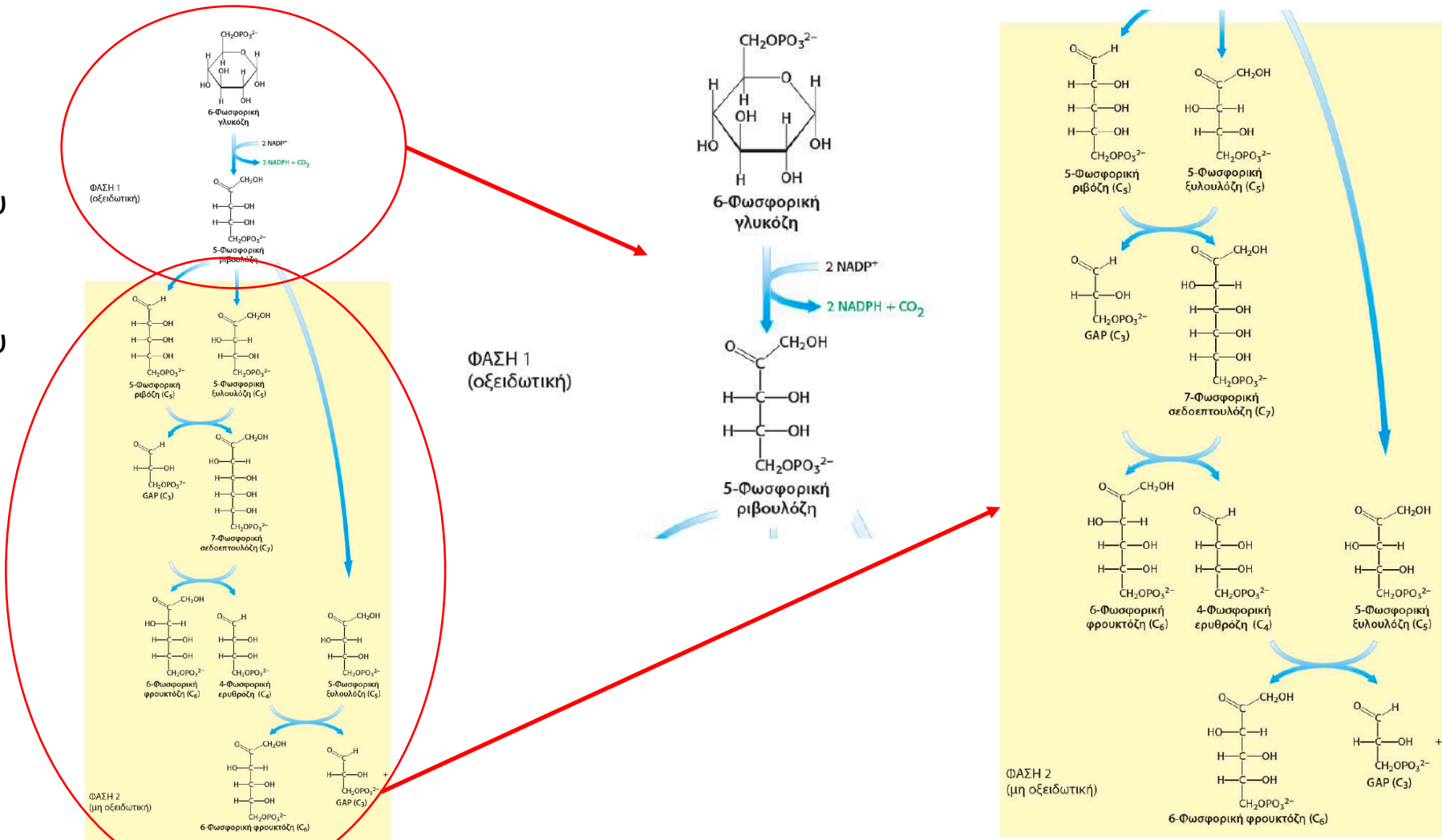
Αναγωγή οξειδωμένου γλουταθείου

Μονοξυγονάσες κυτοχρώματος P450

20.3 Η πορεία των φωσφορικών πεντοζών παράγει NADPH και συνθέτει σάκχαρα με πέντε άτομα άνθρακα

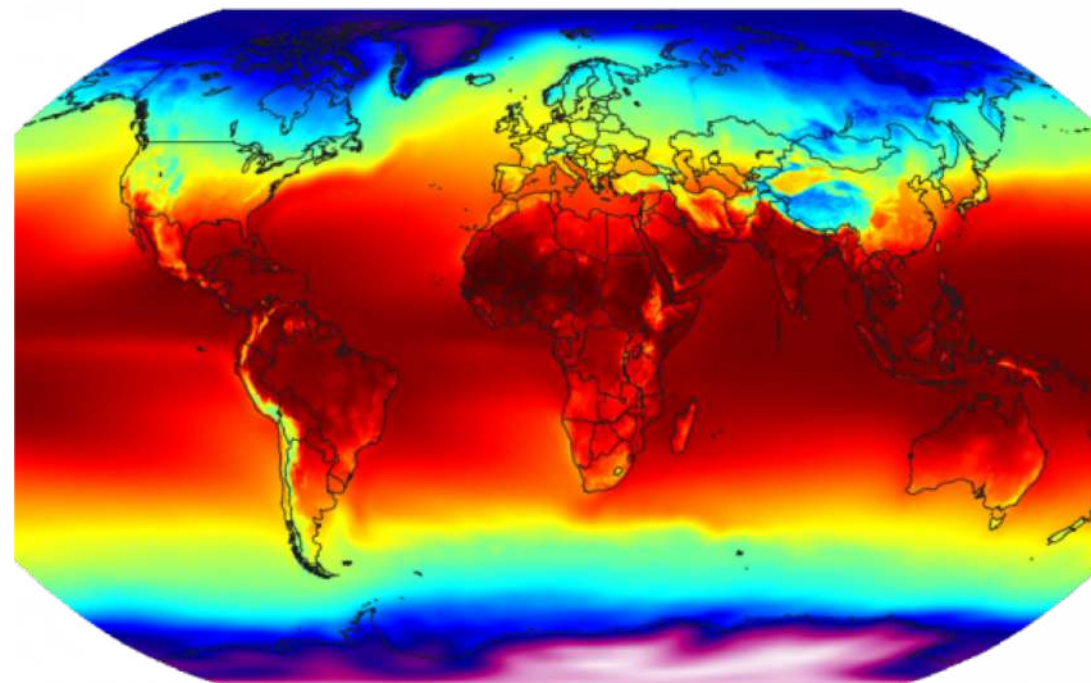
Η πορεία απαρτίζεται από την:

- (1) οξειδωτική φάση που παράγει NADPH
- (2) μια μη οξειδωτική φάση που αλληλομετατρέπει φωσφορυλιωμένα σάκχαρα



Άσκηση 1

Παγκόσμιο ζέσταμα. Τα φυτά C_3 είναι περισσότερο κοινά σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και γίνονται λιγότερο κοινά κοντά στον ισημερινό. Το αντίστροφο ισχύει για τα φυτά C_4 . Πώς μπορεί η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μας να επηρεάσει την κατανομή αυτή;



Άσκηση 2

Η γραφική παράσταση Α δείχνει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα δύο φυτικών ειδών —το ένα είναι φυτό C_4 και το άλλο είναι φυτό C_3 — ως συνάρτηση της θερμοκρασίας φύλλου.

- (α) Ποια δεδομένα πιθανότατα παρήχθησαν από τα φυτά C_4 και ποια από τα φυτά C_3 . Να το εξηγήσετε.
- (β) Να προτείνετε μερικές πιθανές εξηγήσεις για το γιατί η φωτοσυνθετική δραστηριότητα μειώνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

