

# ΠΕΡΙΛΗΠΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 3<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ (μεταβολισμός)

ΜΑΘΗΤΗΣ: Ν. ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΤΜΗΜΑ: Β2

Ο όρος «ενέργεια» πρωτοχρησιμοποιήθηκε πριν από δύο περίπου αιώνες, με τη βιομηχανική επανάσταση, και έγινε οικείος στον άνθρωπο, καθώς η τεχνολογία εξελισσόταν. Η σχέση βέβαια του ανθρώπου με την ενέργεια είχε να κάνει κυρίως με τους τρόπους παραγωγής και αξιοποίησής της για την παραγωγή έργου χρήσιμου για τις ανάγκες της καθημερινής ζωής.

## ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

Όλοι οι οργανισμοί για να επιτελέσουν τις λειτουργίες τους, πρέπει να ξοδέψουν ένα ποσό ενέργειας. Κάποιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν την τροφή ως πηγή ενέργειας, ενώ άλλοι όπως τα φυτά, την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Την ενέργεια και τα υλικά που οι οργανισμοί εξασφαλίζουν από το περιβάλλον τους συνήθως δεν μπορούν να τα αξιοποιήσουν άμεσα. Η αξιοποίησή τους προϋποθέτει τη μετατροπή τους σε ενώσεις. Αυτή η μετατροπή της ενέργειας σε αξιοποιήσιμη ονομάζεται **μεταβολισμός**.

Ο μεταβολισμός έχει δύο σκέλη, τον καταβολισμό και τον αναβολισμό. Ο καταβολισμός περιλαμβάνει τις αντιδράσεις διάσπασης πολύπλοκων ουσιών σε απλούστερες, με παράλληλη συνήθως απόδοση ενέργειας. Ο αναβολισμός περιλαμβάνει αντιδράσεις σύνθεσης πολύπλοκων χημικών ουσιών από πιο απλές. Οι καταβολικές αντιδράσεις αποδίδουν ενέργεια (εξώθερμες), ενώ οι αναβολικές απορροφούν ενέργεια (ενδόθερμες).

Σε όλα τα κύτταρα για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις εξώθερμες αντιδράσεις στις ενδόθερμες χρησιμοποιείται κυρίως το μόριο **τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)**. Το ATP είναι ένα τριφωσφορικό νουκλεοτίδιο. Οι τρεις φωσφορικές ομάδες (P) βρίσκονται σε σειρά και οι χημικοί δεσμοί που ενώνουν τις δύο τελευταίες περικλείουν μεγάλο ποσό ενέργειας γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως **δεσμοί υψηλής ενέργειας**. Οι δεσμοί υψηλής ενέργειας είναι ασταθείς και εύκολα διασπώνται με υδρόλυση. Το ATP παραλαμβάνει και μεταφέρει ενέργεια σε οποιοδήποτε μέρος του κυττάρου, και την αποδίδει γρήγορα με μία και μόνο χημική αντίδραση. Σ' αυτό βοηθά η δομή του, η δυνατότητα σχηματισμού του από ADP (διφωσφορική αδενοσίνη), ένα φωσφορικό οξύ και ενέργεια, και το γεγονός ότι η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη. Επειδή το ATP μεσολαβεί στις συναλλαγές μεταξύ των κυτταρικών διεργασιών που αποδίδουν και αυτών που καταναλώνουν ενέργεια, χαρακτηρίζεται ως ενεργειακό νόμισμα. Τα κύτταρα χρησιμοποιούν το ATP σαν ένα είδος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Στη φύση αυτό γίνεται με δύο τρόπους: είτε με δέσμευση φωτεινής ενέργειας και

μετατροπή της σε χημική κατά τη φωτοσύνθεση είτε με ενέργεια που προέρχεται από αντιδράσεις διάσπασης οργανικών ουσιών, όπως η οξείδωση της γλυκόζης.

## **ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ (ΕΝΖΥΜΑ)**

Για να πραγματοποιηθούν πολλές από τις χημικές αντιδράσεις, ακόμη και αυτές που τελικά αποδίδουν ενέργεια (εξώθερμες), πρέπει αρχικά να προσφερθεί ενέργεια στα αντιδρώντα μόρια. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ενέργεια ενεργοποίησης. Στο περιβάλλον η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να εξασφαλιστεί με προσφορά θερμότητας.

Τα ένζυμα χρησιμοποιούνται στην κατάλυση αντιδράσεων που θα μπορούσαν να γίνουν και χωρίς την παρουσία τους. Αλλά έχουν την ιδιότητα να επιταχύνουν τις αντιδράσεις, πράγμα το οποίο μας βοηθά να παίρνουμε το τελικό προϊόν πιο γρήγορα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των αντιδρώντων μορίων ή μορίων - υποστρωμάτων. Ο προσανατολισμός των μορίων - υποστρωμάτων γίνεται στο **ενεργό κέντρο του ενζύμου**, που αποτελεί μια μικρή περιοχή του. Η σύνδεση των υποστρωμάτων με το ένζυμο έχει ως αποτέλεσμα το σπάσιμο των αντιδρώντων μορίων. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ενεργό κέντρο των ενζύμων αποκτά σχήμα συμπληρωματικό του σχήματος του υποστρώματος μόνο μετά την πρόσδεση του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο.

### **ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΝΖΥΜΩΝ**

-Η καταλυτική δράση των ενζύμων καθορίζεται από την τριτοταγή δομή του πρωτεϊνικού μορίου τους και χάνεται, όταν η δομή πάψει να υπάρχει.

-Δρουν πολύ γρήγορα. Π.χ. διάσπαση 6 εκατ. μορίων υπεροξειδίου του οξυγόνου σε 1 λεπτό.

- Δεν παίρνουν μέρος στην αντίδραση, μένουν αναλλοίωτα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι να καταστραφούν.

-Η δραστηριότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σ' αυτούς ανήκουν η θερμοκρασία, το pH κ.ά.

-Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, που οφείλεται στη διάταξή τους στο χώρο και στη δυνατότητα σύνδεσης του ενεργού τους κέντρου με το υπόστρωμα.

Τα ένζυμα, ανάλογα με το αν δρουν μέσα στα κύτταρα του οργανισμού ή εκκρίνονται και δρουν έξω από αυτά, σε κοιλότητες όπως το στομάχι, διακρίνονται σε ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά. Συνήθως παίρνουν το όνομα τους με την κατάληξη -άση.

## ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΝΖΥΜΩΝ

**Θερμοκρασία:** μεταβολή θερμοκρασίας συνεπάγεται με μεταβολή ταχύτητας κατάλυσης. Για κάθε ένζυμο υπάρχει μια ορισμένη θερμοκρασία (άριστη), στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης γίνεται μέγιστη. Τα περισσότερα ένζυμα δρουν άριστα σε θερμοκρασίες μεταξύ 36°- 38°C. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται ενώ γύρω στους 50° C η μεταβολή στη δραστηριότητα των ενζύμων γίνεται "μόνιμη". Αυτό σημαίνει ότι δεν επανέρχεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας επειδή τα πρωτεϊνικά μόρια χάνουν την τριτοταγή δομή τους.

**pH:** Για κάθε ένζυμο υπάρχει μια ορισμένη τιμή του pH, στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης που καταλύει είναι η μέγιστη. Για τα περισσότερα ένζυμα η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ των τιμών pH 5 και pH 9. Τα περισσότερα ενδοκυτταρικά ένζυμα δρουν άριστα γύρω στο pH 7. Αντίθετα, ένζυμα όπως τα πεπτικά, που εκκρίνονται και δρουν σε κοιλότητες του οργανισμού, συμπεριφέρονται διαφορετικά.

**Συγκέντρωση υποστρώματος:** Η αύξηση της οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας κατάλυσης μέχρι ένα σημείο επειδή Τα επιπλέον μόρια υποστρώματος πρέπει να περιμένουν «τη σειρά τους», ώσπου τα μόρια του ενζύμου να ολοκληρώσουν τις αντιδράσεις που έχουν ήδη αναλάβει και να είναι ελεύθερα να δεσμεύσουν άλλα μόρια - υποστρώματα.

**Συγκέντρωση ενζύμου:** Για δεδομένη συγκέντρωση υποστρώματος και για συγκεκριμένη τιμή του pH και της θερμοκρασίας, η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του ενζύμου.

## Αναστολείς της δράσης των ενζύμων

Υπάρχουν ουσίες που μπορούν να αναστείλουν τη δράση των ενζύμων και γι' αυτό ονομάζονται **αναστολείς**. Διακρίνονται σε μη αντιστρεπτούς και αντιστρεπτούς. Οι μη αντιστρεπτοί συνδέονται μόνιμα με το ένζυμο και δεν το αφήνουν να δράσει πλέον. Οι αντιστρεπτοί αναστολείς εμποδίζουν, παροδικά μόνο, τη δράση των ενζύμων.

## Συμπαράγοντες ενζύμων

Ορισμένα ένζυμα είναι δραστικά μόνο με την παρουσία ουσιών, μη πρωτεϊνικής φύσης, που ονομάζονται συμπαράγοντες. Οι **συμπαράγοντες** μπορεί να είναι ανόργανα ιόντα ή και οργανικές ενώσεις. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν και τα **συνένζυμα**.

Στην περίπτωση που κάποιο ένζυμο, για να δράσει, χρειάζεται να συνδεθεί με ένα συνένζυμο, τότε μόνο του, όπως μόνο του και το συνένζυμο, θα είναι ανενεργό.

# ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

## **Αυτότροφοι και ετερότροφοι οργανισμοί**

Η ζωή στον πλανήτη μας, εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, στηρίζεται στην ενέργεια του Ήλιου. Από την ενέργεια αυτή, που εκπέμπεται υπό μορφή ακτινοβολίας, ένα πολύ μικρό μέρος παγιδεύεται από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Η φωτεινή ενέργεια που παγιδεύεται μετατρέπεται σε χημική και αποθηκεύεται σε οργανικά μόρια, τα οποία παράγουν οι οργανισμοί αυτοί μέσα από μια διαδικασία που την ονομάζουμε **φωτοσύνθεση**.

Η δέσμευση της φωτεινής ενέργειας κατά τη φωτοσύνθεση γίνεται από τη χλωροφύλλη και τις άλλες φωτοσυνθετικές χρωστικές. Με τη βοήθειά τους οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί συνθέτουν υδατάνθρακες (γλυκόζη), χρησιμοποιώντας απλές ανόργανες ενώσεις, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό, που βρίσκουν άφθονες στο περιβάλλον τους. Ικανότητα φωτοσύνθεσης έχουν όλοι οι οργανισμοί που διαθέτουν φωτοσυνθετικές χρωστικές.

## **Σημασία της φωτοσύνθεσης**

Οι σύνθετες οργανικές ουσίες που παράγονται από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς αποτελούν, μέσω των **τροφικών αλυσίδων**, πηγές θρεπτικών ουσιών για τους ετερότροφους οργανισμούς: άμεσα για τους καταναλωτές πρώτης τάξης (**φυτοφάγους**) και έμμεσα για τους καταναλωτές δεύτερης ή ανώτερης τάξης (**σαρκοφάγους**). Οι νεκροί οργανισμοί, τα απεκκρίματα των ζωικών και τα τμήματα των φυτικών που έχουν αποκοπεί (φύλλα, κλαδιά κ.ά.), διασπώνται από μια κατηγορία ετερότροφων οργανισμών, τους **αποικοδομητές**. Τα προϊόντα της αποικοδόμησης μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν από τα φυτά και από τους άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς για σύνθεση οργανικής ύλης. Η ύλη δηλαδή ακολουθεί κυκλική πορεία μέσα στα οικοσυστήματα.

## **Το φύλλο ως όργανο φωτοσύνθεσης των φυτών**

Η φωτοσύνθεση γίνεται στα πράσινα μέρη των φυτών, που είναι κυρίως τα φύλλα και συχνά ο βλαστός τους. Σε εγκάρσια τομή του παρατηρούμε τις δύο επιδερμίδες, την πάνω και την κάτω, που καλύπτονται συνήθως από εφυμένιδα. Ανάμεσα στις δύο επιδερμίδες βρίσκεται το **μεσόφυλλο**, που διασχίζεται από **αγγεία**. Η κάτω επιδερμίδα έχει μικρά ανοίγματα, που λέγονται **ιστόματα**. Το καθένα απ' αυτά περιβάλλεται από ένα ζευγάρι κυττάρων, τα **καταφρακτικά κύτταρα**. Τα κύτταρα του μεσόφυλλου, που είναι και ο θεμελιώδης ιστός του φύλλου, διαθέτουν πολλούς χλωροπλάστες. Η

είσοδος του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα γίνεται με διάχυση από τα στόματα προς τους μεσοκυττάριους χώρους των κυττάρων του μεσόφυλλου και τελικά φτάνει στους χλωροπλάστες. Το νερό εισέρχεται στις ρίζες από το έδαφος και μέσω των αγγείων φτάνει στα φύλλα. Μαζί με το νερό μεταφέρονται ιόντα που χρησιμεύουν στη σύνθεση πρωτεϊνών και άλλων ουσιών. Η άντληση του νερού από το έδαφος και η ροή του στα αγγεία διευκολύνεται με την εξάτμιση νερού από τα στόματα (**διαπνοή**). Το άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων επιτρέπει στο φυτό να ελέγχει το ρυθμό εξάτμισης του νερού.

## **Ορατό φως - φωτοσυνθετικές χρωστικές**

Στο κύτταρο η φωτεινή ακτινοβολία δεσμεύεται από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές. Στα ανώτερα φυτά, οι χρωστικές αυτές, βρίσκονται μέσα στα grana των χλωροπλαστών και ανήκουν σε δυο κατηγορίες, τις χλωροφύλλες και τα καροτενοειδή. Οι χλωροφύλλες είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, που φέρουν ένα κεντρικό άτομο μαγνησίου. Οι συνηθέστερες κατηγορίες χλωροφυλλών είναι οι χλωροφύλλες α και β. Η χλωροφύλλη α βρίσκεται σ' όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, με εξαίρεση τα φωτοσυνθετικά βακτήρια. Οι χλωροφύλλες απορροφούν κυρίως την μπλε και την ερυθρή ακτινοβολία και ανακλούν την πράσινη, δίνοντας στα φυτά το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα. Τα καροτενοειδή απορροφούν κυρίως την μπλε ακτινοβολία. Η μεγάλη ποικιλία φωτοσυνθετικών χρωστικών βοηθά τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς να αξιοποιούν όσο γίνεται περισσότερες ακτινοβολίες του ορατού φωτός για την εξασφάλιση ενέργειας για τη φωτοσύνθεση.

## **Πορεία της φωτοσύνθεσης**

Η φωτοσύνθεση περιλαμβάνει δύο ομάδες αντιδράσεων. Τις αντιδράσεις που εξαρτώνται από το φως (**φωτεινή φάση**) και τις αντιδράσεις που είναι ανεξάρτητες από την ύπαρξη φωτός (**σκοτεινή φάση**). Κατά τις αντιδράσεις της φωτεινής φάσης, που γίνονται στα grana των χλωροπλαστών, η φωτεινή ενέργεια χρησιμοποιείται για τη σύνθεση μορίων ATP και τη δημιουργία υδρογόνου. Κατά τις αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης, που γίνονται στο στρώμα των χλωροπλαστών, τα μόρια του ATP και του υδρογόνου που παρήχθησαν κατά τη φωτεινή φάση χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε υδατάνθρακες (γλυκόζη).

### **Φωτεινή φάση**

Μόρια χλωροφύλλης, δεσμεύουν φωτεινή ενέργεια και διεγείρονται και στη συνέχεια αποδιεγείρονται. Η ενέργεια που αποδίδεται κατά την αποδιέγερση των μορίων αυτών προκαλεί τον ιονισμό (απώλεια ηλεκτρονίων) άλλων μορίων χλωροφύλλης. Το οξυγόνο που παράγεται από τη φωτόλυση του νερού ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υδρογόνο δεσμεύεται από μόρια του συνενζύμου NADP, τα οποία μετατρέπονται σε NADPH. Το ATP και το NADPH που παράγονται κατά τη φωτεινή φάση της φωτοσύνθεσης, χρησιμοποιούνται

στις αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης για το σχηματισμό των τελικών προϊόντων.

### **Σκοτεινή φάση**

Το πρώτο βήμα των αντιδράσεων της σκοτεινής φάσης γίνεται με τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από μια πεντόζη. Με τη βοήθεια των μορίων ATP και του NADPH, παράγεται τελικά γλυκόζη και άλλες ουσίες. Στα προϊόντα αυτής της σειράς αντιδράσεων περιλαμβάνεται και νερό (H<sub>2</sub>O).

### **Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της φωτοσύνθεσης**

**Η Θερμοκρασία:** Η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης επηρεάζει τη δράση των ενζύμων και φυσικά την ταχύτητα των ενζυμικών αντιδράσεων. Σε υψηλή και σταθερή ένταση φωτός, με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η απόδοση της φωτοσύνθεσης. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 30°C, τα ένζυμα καταστρέφονται και η απόδοση της φωτοσύνθεσης μειώνεται.

**Φως:** Σε θερμοκρασία 20 °C και κανονική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (0,03% κατ' όγκο) στην ατμόσφαιρα η απόδοση της φωτοσύνθεσης αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός.

**διοξείδιο του άνθρακα:** διοξείδιο του άνθρακα συμμετέχει στις αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης. Σε υψηλή ένταση φωτός και σταθερή θερμοκρασία η απόδοση της φωτοσύνθεσης αυξάνεται. Αυτό γίνεται μέχρι ενός σημείου και στη συνέχεια παραμένει σταθερή.

**Το νερό:** η ελάττωση της απόδοσης που παρατηρείται σε συνθήκες ξηρασίας οφείλεται όχι μόνο στην έλλειψη του νερού που θα πάρει μέρος στις αντιδράσεις της φωτεινής φάσης αλλά και στο κλείσιμο των στομάτων. Το φυτό κλείνει τα στόματα, για να εμποδίσει την απώλεια νερού μέσω της διαπνοής. Ταυτόχρονα όμως κλείνει την είσοδο και για το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι απαραίτητο για τη σύνθεση των υδατανθράκων κατά τη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης.

**Τα ανόργανα άλατα:** Για τη σύνθεση του μορίου της χλωροφύλλης, για παράδειγμα, είναι απαραίτητο το άζωτο και το μαγνήσιο. Όταν λοιπόν στο έδαφος στο οποίο αναπτύσσεται το φυτό, τότε τα φύλλα του παραμένουν κίτρινα (χλώρωση), με συνέπεια η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης να παραμένει χαμηλή.

## ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΑΝΑΠΝΟΗ

Σε κάθε κύτταρο (φυτικό ή ζωικό) οι απλές ουσίες, που προέρχονται από τη διάσπαση των μεγαλομοριακών ενώσεων, αξιοποιούνται με δύο τρόπους. Είτε χρησιμοποιούνται πάλι για τη σύνθεση νέων μεγαλομοριακών ενώσεων είτε οξειδώνονται, αποδίδοντας σταδιακά χημική ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται **κυτταρική αναπνοή**. Ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται κατά τις αντιδράσεις οξειδωσης ελευθερώνεται ως θερμότητα και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες. Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας διατίθεται στα κύτταρα με τη μορφή ATP. Η κυτταρική αναπνοή μπορεί να γίνεται με τη βοήθεια οξυγόνου (οξειδωτικό), οπότε λέγεται **αερόβια αναπνοή**, ή χωρίς οξυγόνο και λέγεται **αναερόβια αναπνοή**. Το κύτταρο παράγει ενέργεια διασπώντας συνήθως υδατάνθρακες ή λίπη. Όταν όμως υπάρχει ανάγκη, μπορεί να παράγει ενέργεια και από τη διάσπαση πρωτεϊνών.

### Παραγωγή ενέργειας από τη

#### διάσπαση υδατανθράκων (γλυκόζη)

Η διάσπαση της γλυκόζης περιλαμβάνει τρεις διαδικασίες: τη γλυκόλυση, τον κύκλο του κιτρικού οξέος και την οξειδωτική φωσφορυλίωση.

#### Γλυκόλυση

Γίνεται στο κυτταρόπλασμα χωρίς τη χρησιμοποίηση οξυγόνου. Στο στάδιο αυτό ένα μόριο γλυκόζης (3C) διασπάται αρχικά σε δύο μόρια τριοζών (υδατάνθρακες με τρία άτομα άνθρακα). Στη συνέχεια αυτές μετατρέπονται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος (3C). Το κέρδος του κυττάρου σε ενέργεια από τη διαδικασία αυτή είναι δύο μόρια ATP. Αν η διαδικασία γίνεται παρουσία οξυγόνου, το πυροσταφυλικό οξύ εισέρχεται στο μιτοχόνδριο και εκεί οξειδώνεται πλήρως προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό (**αερόβια αναπνοή**). Αν δεν υπάρχει οξυγόνο (**αναερόβια αναπνοή**), το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται, ανάλογα με το είδος του κυττάρου, σε αιθυλική αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα.

#### Αερόβια αναπνοή

Στην αερόβια αναπνοή η πλήρης οξειδωση του πυροσταφυλικού οξέος γίνεται σε δύο στάδια: τον **κύκλο του κιτρικού οξέος** και την **οξειδωτική φωσφορυλίωση**.

**Κύκλος του κιτρικού οξέος:** Ο κύκλος του κιτρικού οξέος περιλαμβάνει μια σειρά αντιδράσεων που γίνονται στη μήτρα των μιτοχονδρίων, χωρίς να χρησιμοποιείται οξυγόνο. Το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται σε **ακετυλο-συνένζυμο A** και με τη μορφή αυτή εισέρχεται στον κύκλο του κιτρικού οξέος. Κατά τη μετατροπή αυτή παράγεται και CO<sub>2</sub>.

**Οξειδωτική φωσφορυλίωση:** Οι αντιδράσεις της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης γίνονται στις αναδιπλώσεις της εσωτερικής μεμβράνης του μιτοχονδρίου και για τη διεξαγωγή τους χρησιμοποιείται οξυγόνο. Κατά την πραγματοποίηση αυτών των αντιδράσεων γίνεται απελευθέρωση ενέργειας, μέρος της οποίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή 32 μορίων ATP. Τελικά, από την πλήρη οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό παράγονται συνολικά 36 μόρια ATP.

## **Έλεγχος της αερόβιας κυτταρικής αναπνοής**

όταν από την κυτταρική αναπνοή παραχθούν πολλά ATP, χωρίς να χρειάζεται όλη αυτή την ενέργεια το κύτταρο, τότε αναστέλλεται η δράση ενός από τα ένζυμα που εξυπηρετούν τη διαδικασία της γλυκόλυσης. Διακόπτεται έτσι η διάσπαση των σακχάρων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αμέσως, μόλις ελαττωθεί η συγκέντρωση μορίων ATP.

## **Αναερόβια αναπνοή**

Οι πιο γνωστές περιπτώσεις αναερόβιας αναπνοής είναι η **αλκοολική** και η **γαλακτική ζύμωση**. Και στις δύο περιπτώσεις ένα μόριο γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος, με απόδοση δύο μορίων ATP, όπως γίνεται και κατά την αερόβια αναπνοή. Στη συνέχεια, τα δύο μόρια του πυροσταφυλικού οξέος, μετατρέπονται είτε σε δύο μόρια αιθυλικής αλκοόλης και δύο μόρια διοξειδίου του άνθρακα (**αλκοολική ζύμωση**), είτε σε δύο μόρια γαλακτικού οξέος (**γαλακτική ζύμωση**).

Η **αλκοολική ζύμωση** γίνεται κυρίως στις ζύμες (μονοκύτταροι οργανισμοί που ανήκουν στους μύκητες). Γίνεται όμως και σε τμήματα φυτών όπου δε φτάνει οξυγόνο ή αυτό βρίσκεται σε πολύ μικρή συγκέντρωση. Για την παραγωγή μπίρας χρησιμοποιούνται τα σπέρματα σιτηρών (π.χ. βύνης), το άμυλο των οποίων υδρολύεται αρχικά προς ζυμώσιμα σάκχαρα, όπως η γλυκόζη. Για την παραγωγή του κρασιού χρησιμοποιούνται σάκχαρα που υπάρχουν στο χυμό των σταφυλιών. Στη συνέχεια ακολουθεί ζύμωση με τη δράση των ζυμών, αποτέλεσμα της οποίας είναι ο σχηματισμός αιθυλικής αλκοόλης. Όταν η συγκέντρωση της αιθυλικής αλκοόλης φτάσει το 12% περίπου, αυτή γίνεται τοξική για τα κύτταρα των ζυμών και τα θανατώνει. Η ζύμωση πλέον σταματά και το κρασί είναι έτοιμο.