

# ΓΙΩΡΓΟΣ Μ. Β2

## ΒΙΟΛΟΓΙΑ

### 3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

---

#### **3.1 Ενέργεια και οργανισμοί**

Οι οργανισμοί εξασφαλίζουν την απαραίτητα ενέργεια που τους χρειάζεται διασπώντας θρεπτικές ουσίες οι οποίες εμπεριέχονται στην τροφή του. Αυτό συμβαίνει σε όλους τους οργανισμούς με εξαίρεση αυτούς που είναι ικανοί να φωτοσυνθέτουν. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί δεσμεύουν ηλιακή ενέργεια και με απλές ανόργανες ενώσεις, τις οποίες βρίσκουν στο περιβάλλον τους, συνθέτουν τις θρεπτικές ουσίες που τους είναι αναγκαίες. Η ενέργεια και τα υλικά που εξασφαλίζει ο κάθε οργανισμός τις περισσότερες φορές δεν μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα. Για να αξιοποιηθούν απαραίτητη είναι η μετατροπή τους σε ενώσει, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια, ή ως πρώτη ύλη για τη σύνθεση μορίων που είναι αναγκαία ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά των οργανισμών ή για να οξειδωθούν και να παραχθεί ενέργεια. Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που γίνονται στα κύτταρα των οργανισμών και εξυπηρετούν αυτές τις διαδικασίες συνιστούν το μεταβολισμό. Κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού τα κύτταρα διατηρούν σταθερές τις συνθήκες λειτουργίας τους παρά τις μεταβολές που υπάρχει πιθανότητα να συμβαίνουν στο περιβάλλον.

Ο μεταβολισμός διακρίνεται στον καταβολισμό και στον αναβολισμό. Ο καταβολισμός είναι το σύνολο των αντιδράσεων διάσπασης πολύπλοκων ουσιών σε απλούστερες ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται και η παραγωγή ενέργειας. Ακόμη περιλαμβάνει αντιδράσεις που αποδίδουν στο περιβάλλον ενέργεια, δηλαδή είναι εξώθερμες. Αναβολισμός από την άλλη είναι το σύνολο των χημικών αντιδράσεων κατά τις οποίες πραγματοποιείται σύνθεση πολύπλοκων χημικών ουσιών από απλούστερες. Επίσης περιλαμβάνει αντιδράσεις που απορροφούν από το περιβάλλον ενέργεια, δηλαδή είναι ενδόθερμες.

Η ενέργεια η οποία παράγεται στα κύτταρα κατά τις αντιδράσεις αυτές αποθηκεύεται σε χημικούς δεσμούς βιομορίων, οι οποίοι όταν σπάσουν την αποδίδουν.

#### **Μεταφορά ενέργειας στα κύτταρα**

Στα κύτταρα η μεταφορά ενέργειας από το σημείο που αυτή παράγεται στο σημείο όπου καταναλώνεται επιτυγχάνεται με τη σύζευξη εξώθερμων με ενδόθερμες αντιδράσεις. Όταν γίνεται μια αντίδραση διάσπασης ένα μέρος της ενέργειας απελευθερώνεται στο περιβάλλον αφού έχει μετατραπεί σε θερμότητα ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για να

προχωρήσει μια αντίδραση σύνθεσης που απαιτεί ενέργεια. Η ενέργεια αυτή προσφέρεται στην τελευταία αυτή αντίδραση αποθηκεύεται τελικά στους χημικούς δεσμούς των προϊόντων της.

Η μεταφορά από τις εξώθερμες στις ενδόθερμες γίνεται με το μόριο της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Το ATP είναι ένα τριφωσφορικό νουκλεοτίδιο . Οι τρεις φωσφορικές ομάδες (P) χαρακτηρίζονται ως δεσμοί υψηλής ενέργειας επειδή βρίσκονται σε σειρά και οι χημικοί δεσμοί που ενώνουν τις δύο τελευταίες περικλείουν μεγάλο ποσό ενέργειας. Η τριφωσφορική αδενοσίνη παραλαμβάνει και μεταφέρει ενέργεια σε κάθε μέρος του κυττάρου και την δίνει γρήγορα με μία και μοναδική χημική αντίδραση. Σε αυτό παίζει καταλυτικό ρόλο και η ίδια η δομή του, η δυνατότητα σχηματισμού του από διφωσφορική αδενοσίνη (ADP), ένα φωσφορικό οξύ και ενέργεια και το γεγονός ότι η αντίδραση είναι αμφίδρομη. Το ATP χαρακτηρίζεται και σαν ενεργειακό νόμισμα γιατί μεσολαβεί μεταξύ των κυτταρικών διεργασιών οι οποίες αποδίδουν ενέργεια και αυτών που καταναλώνουν ενέργεια. Το ATP αναγεννάται συνεχώς σύμφωνα με τις προηγούμενες αντιδράσεις, είναι σαν επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Η φορτισμένη μορφή της είναι το ATP και η αφόρτιστη το ADP. Το ATP δεν αποθηκεύεται αλλά μόλις συντεθεί γρήγορα καταναλώνεται.

## **3.2 ENZYMA-BΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ**

### **Μηχανισμός δράσης ενζύμων**

Ενέργεια ενεργοποίησης ονομάζεται η ενέργεια που πρέπει αρχικά να προσφερθεί στα αντιδρώντα μόρια για την πραγματοποίηση αρκετών χημικών ενώσεων. Στο περιβάλλον η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να εξασφαλιστεί με προσφορά θερμότητας. Αν τις αντιδράσεις του μεταβολισμού τις κάνουμε στο εργαστήριο έξω από το κύτταρο παρατηρούμε ότι απαιτούν μεγάλα ποσά θερμότητας τα οποία θα κατέστρεφαν το κύτταρο. Επίσης ο χρόνος πραγματοποίησης τους είναι πολύ μεγάλος και το κύτταρο δε μπορεί να περιμένει διότι οι ανάγκες ενός κυττάρου είναι άμεσες. Τα κύτταρα για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα αυτά διαθέτουν μηχανισμό μείωσης της ενέργειας ενεργοποίησης που δεν είναι άλλος από τα ένζυμα τα οποία είναι πρωτεΐνες.

Τα ένζυμα λειτουργούν ως καταλύτες αντιδράσεων που θα μπορούσα να γίνουν χωρίς την παρουσία τους. Παρ' όλα αυτά με την παρουσία των ενζύμων η ταχύτητα των αντιδράσεων αυξάνεται έως και 100.000.000 φορές. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των αντιδρώντων μορίων τα οποία λέγονται και μόρια υποστρώματα. Το κάθε ένζυμο έχει μια ειδική περιοχή που ονομάζεται ενεργό κέντρο στο οποίο ενώνεται με το υπόστρωμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δεσμοί των αντιδρώντων μορίων να γίνονται ασταθείς. Ως αποτέλεσμα σπάνε πιο εύκολα κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για το σχηματισμό των προϊόντων. Το ενεργό κέντρο των ενζύμων αποκτά κάποιες φορές σχήμα συμπληρωματικό του σχήματος του υποστρώματος μόνο μετά την πρόσδεση του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο.

### **Ιδιότητες των ενζύμων**

- Η καταλυτική δράση των ενζύμων καθορίζεται από την τριτοταγή δομή της πρωτεΐνης και χάνεται αν αυτή αλλάξει.
- Δρουν πολύ γρήγορα.
- Δε συμμετέχουν στην αντίδραση που καταλύουν.

- Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, που οφείλεται στη θέση τους στο χώρο και στη δυνατότητα σύνδεσης του ενεργού τους κέντρου με το υπόλοιπο στρώμα. Αυτό σημαίνει δηλαδή ότι δρουν συνήθως σε ένα μόνο συγκεκριμένο υπόστρωμα. Δηλαδή ένα ένζυμο καταλύει συνήθως μια μόνο χημική αντίδραση ή μια σειρά από συγγενικές αντιδράσεις.
- Η δραστηριότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διαφόρους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH κ.ά.
- Τα ένζυμα ανάλογα με το αν δρουν μέσα στα κύτταρα του οργανισμού ή εκκρίνονται και δρουν έξω από αυτά, σε κοιλότητες, διακρίνονται σε ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά.
- Τα ενδοκυτταρικά από την μία πλευρά δρουν μέσα στο κύτταρο και είναι είτε ελεύθερα είτε δεσμευμένα σε πρωτεΐνες. Τα εξωκυτταρικά από την άλλη εκκρίνονται από τα κύτταρα και δρουν στο εξωτερικό των κυττάρων όπως πχ στο στομάχι και άλλες κοιλότητες

### Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων

Θερμοκρασία: στις ενζυμικές αντιδράσεις η ταχύτητά τους μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Για το κάθε ένζυμο υπάρχει μια ορισμένη θερμοκρασία στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης γίνεται μέγιστη. Η άριστη θερμοκρασία στα ένζυμα του ανθρώπου είναι 36-38 βαθμοί. Η δραστηριότητα των ενζύμων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όταν φτάσει τους 50 βαθμούς το ένζυμο χάνει μόνιμα ποια τη δραστηριότητά του. Αυτό το γεγονός συμβαίνει γιατί χάνει την τριτοταγή του δομή.

pH: τα ένζυμα επηρεάζονται από τις μεταβολές του pH. Για το κάθε ένζυμο υπάρχει μια ορισμένη τιμή του pH, στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης που καταλύει είναι η μέγιστη. Για τα περισσότερα ένζυμα αυτή η τιμή βρίσκεται μεταξύ των τιμών pH 5 και pH 9. Τα πιο πολλά ενδοκυτταρικά ένζυμα δρουν άριστα κοντά στο pH 7. Αντίθετα ένζυμα όπως τα πεπτικά που υπάρχουν σε κοιλότητες του οργανισμού, συμπεριφέρονται διαφορετικά. Για παράδειγμα η πεψίνη εμφανίζει άριστη δράση σε pH 2 ενώ η θρυψίνη σε pH 8,5.

**Συγκέντρωση υποστρώματος:** οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης, μέχρι όμως ενός σημείου. Από εκεί και πέρα η ταχύτητα δεν αλλάζει γιατί όλα τα μόρια ενζύμων είναι ενωμένα με υπόστρωμα και συνεπώς τα επιπλέον μόρια υποστρώματος δε βρίσκουν ελεύθερα μόρια ενζύμων για να ενωθούν.

**Συγκέντρωση ενζύμων:** αν η θερμοκρασία, το pH είναι σταθερά και η συγκέντρωση του υποστρώματος δεδομένη, αύξηση του ενζύμου οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης.

### **Αναστολείς της δράσης των ενζύμων**

Αναστολείς είναι αυτές οι ουσίες οι οποίες αναστέλλουν τη δράση των ενζύμων. Διακρίνονται σε μην αντιστρεπτούς και αντιστρεπτούς. Οι μη αντιστρεπτοί συνδέονται μόνιμα με το ένζυμο και δεν το αφήνουν πια να δράσει. Οι αντιστρεπτοί εμποδίζουν παροδικά τη δράση των ενζύμων και όταν πάψουν να υπάρχουν το ένζυμο επανέρχεται στην κανονική του λειτουργία.

### **Συμπαράγοντες ενζύμων**

Μερικά ένζυμα είναι δραστικά μόνο με την παρουσία ουσιών οι οποίες εν είναι πρωτεΐνες και ονομάζονται συμπαράγοντες. Οι συμπαράγοντες μπορεί να είναι ανόργανα ιόντα ή και οργανικές ενώσεις. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν και τα συνένζυμα. Πολλά από τα συνένζυμα είναι βιταμίνες ή περιέχουν στο μόριό τους βιταμίνες. Τέλος, 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.

### **3.3. ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ**

Η φωτοσύνθεση είναι σημαντική μεταβολική διαδικασία, κατά την οποία η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Η χλωροφύλλη ευθύνεται για τη δέσμευση της φωτεινής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης ο φωτοσυνθετικός οργανισμός συνθέτει υδατάνθρακες χρησιμοποιώντας ανόργανες ενώσεις που βρίσκει άφθονες στο περιβάλλον του. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί είναι αυτότροφοι και παραγωγοί επειδή παράγουν μόνοι τους τις οργανικές ουσίες που χρειάζονται χρησιμοποιώντας το προϊόν της φωτοσύνθεσης. Αντίθετα οι οργανισμοί που δεν μπορούν να συνθέσουν την τροφή τους και την προμηθεύονται έτοιμη από το περιβάλλον ονομάζονται ετερότροφοι και καταναλωτές

#### **Σημασία της φωτοσύνθεσης**

Η σημασία της φωτοσύνθεσης είναι τεράστια καθώς όλοι οι οργανισμοί εξαρτώνται από αυτήν. Οι σύνθετες οργανικές ουσίες που παράγονται από την φωτοσύνθεση αποτελούν τροφή για τους φυτοφάγους και τους σαρκοφάγους οργανισμούς μέσω της τροφικής αλυσίδας. Οι αποικοδομητές, όπως είναι τα βακτήρια και οι μύκητες, διασπούν νεκρούς οργανισμούς, απεκκρίματα ζωικών αλλά φυτικών που έχουν αποκοπεί. Τα προϊόντα μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν για σύνθεση οργανικής ύλης. Η ύλη δηλαδή ακολουθεί κυκλική πορεία μέσα στα οικοσυστήματα.

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

Η φωτοσύνθεση γίνεται στα φύλλα και στο βλαστό των φυτών. Η δομή του φύλλου εξυπηρετεί σ' αυτό το σκοπό. Αποτελείται από δυο επιδερμίδες που καλύπτονται από εφυμενίδα. Ανάμεσά τους βρίσκεται το μεσόφυλλο που περιέχει αγγεία. Η κάτω επιδερμίδα περιέχει τα στόματα, που περιβάλλονται από τα καταφρακτικά κύτταρα. Τα κύτταρα του μεσόφυλλου περιέχουν τους χλωροπλάστες.

Το διοξείδιο του άνθρακα εισέρχεται στα στόματα και με διάχυση φτάνει τελικά στους χλωροπλάστες. Το νερό εισέρχεται μαζί με ιόντα από τις ρίζες και φτάνει στα φύλλα.

Κατά τη φωτοσύνθεση παράγεται οξυγόνο που περνά στην ατμόσφαιρα μέσω των στομάτων των φύλλων. Η άντληση και η ροή του νερού διευκολύνεται και ρυθμίζεται από τη διαπνοή.

## **Ορατό φως - φωτοσυνθετικές χρωστικές**

Στο κύτταρο η φωτεινή ακτινοβολία δεσμεύεται από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές. Στα ανώτερα φυτά συναντάμε δυο είδη: τις χλωροφύλλες και τα καροτενοειδή. Οι χλωροφύλλες ανακλούν την πράσινη ακτινοβολία του ηλιακού φωτός και δίνουν το πράσινο χρώμα στα φυτά. Τα καροτενοειδή απορροφούν κυρίως την μπλε ακτινοβολία. Το φθινόπωρο οι χλωροφύλλες αποδομούνται και εμφανίζονται τα καροτενοειδή με αποτέλεσμα την ποικιλία χρωμάτων στα φύλλα. Η ποικιλία των χρωστικών επιτρέπει στο φυτό να αξιοποιεί περισσότερες ακτινοβολίες του ορατού φωτός για να εξασφαλίζει ενέργεια για τη φωτοσύνθεση.

## **Πορεία της φωτοσύνθεσης**

Στις αρχές του 20ού αιώνα οι βιολόγοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι 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).

Στα φυτά, μέρος της γλυκόζης, που σχηματίζεται κατά τη φωτοσύνθεση, αποθηκεύεται με τη μορφή αμύλου στους αμυλοπλάστες. Οι αμυλοπλάστες βρίσκονται στα φυτικά κύτταρα αλλά και σε ειδικά αποταμιευτικά μέρη των φυτών, όπως είναι οι κόνδυλοι της πατάτας.

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

Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών κατά τη διάρκεια του έτους δεν είναι ο ίδιος. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της φωτοσύνθεσης, που την υπολογίζουμε μετρώντας το οξυγόνο που παράγεται στη μονάδα του χρόνου, μεταβάλλεται. Πράγματι, η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, που δε μένουν σταθεροί στη διάρκεια του έτους. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

**Η Θερμοκρασία:** Η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και αυτό είναι λογικό, γιατί η τελευταία επηρεάζει τη δράση των ενζύμων και φυσικά την ταχύτητα των ενζυμικών αντιδράσεων.

**Το 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.

**Το διοξείδιο του άνθρακα:** Η απόδοση της φωτοσύνθεσης εξαρτάται και από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα.

**Το νερό:** Είναι δύσκολο να εκτιμήσουμε τις επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού στις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες ενός φυτού. Σε ότι αφορά τη φωτοσύνθεση, 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.

**Τα ανόργανα άλατα:** Τα φυτά δεν μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας μόνο διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Για να διατηρήσουν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους, χρειάζονται και άλλα στοιχεία ή χημικές ενώσεις, που δεν παράγονται με τη φωτοσύνθεση.



### **3.4. 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, που είναι απαραίτητες ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά του συγκεκριμένου κυττάρου, είτε οξειδώνονται, αποδίδοντας σταδιακά χημική ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται **κυτταρική αναπνοή**. 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.

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

#### **Γλυκόλυση**

Η **γλυκόλυση** αποτελεί το πρώτο στάδιο για τη διάσπαση της γλυκόζης. 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 (CO<sub>2</sub>) ή σε γαλακτικό οξύ.

#### **Αερόβια αναπνοή**

Στην αερόβια αναπνοή η πλήρης οξείδωση του πυροσταφυλικού οξέος, που έχει παραχθεί κατά τη γλυκόλυση, γίνεται σε δύο στάδια: τον **κύκλο του κιτρικού οξέος** ή **κύκλο του Krebs** και την **οξειδωτική φωσφορυλίωση**.

#### **Έλεγχος της αερόβιας κυτταρικής αναπνοής**

Υπάρχει ένας μηχανισμός που ελέγχει τη διεξαγωγή των αντιδράσεων της κυτταρικής αναπνοής, ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού. Για παράδειγμα, 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. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι αντιδράσεις του κύκλου του κιτρικού οξέος, παρά το ότι δε χρησιμοποιούν οξυγόνο, δε γίνονται σε αναερόβιες συνθήκες. Αυτό συμβαίνει, γιατί διαφορετικά τα προϊόντα τους θα συσσωρεύονταν στο κύτταρο, ενώ πρέπει να καταναλώνονται, και η κατανάλωσή τους γίνεται μόνο μέσω των αντιδράσεων της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης για τις οποίες είναι απαραίτητο το οξυγόνο.

### **Αναερόβια αναπνοή**

Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών κάνουν αναερόβια αναπνοή όπως και κύτταρα πολυκύτταρων οργανισμών, που περιστασιακά, όταν είναι αναγκασμένα να παράγουν ενέργεια και δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο στο περιβάλλον τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα μυϊκά κύτταρα.

Οι πιο γνωστές περιπτώσεις αναερόβιας αναπνοής είναι η **αλκοολική** και η **γαλακτική ζύμωση**. Και στις δύο περιπτώσεις ένα μόριο γλυκόζης, μέσω της γλυκόλυσης, 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, όπως στο εσωτερικό των κονδύλων της πατάτας, όπου δε φτάνει οξυγόνο ή αυτό βρίσκεται σε πολύ μικρή συγκέντρωση. Σε εφαρμογές της αλκοολικής ζύμωσης στηρίζεται η παραγωγή μπίρας, κρασιού και άρτου

### **Σχέση φωτοσύνθεσης και κυτταρικής αναπνοής**

Όπως είδαμε, σε ότι αφορά τους υδατάνθρακες, η κυτταρική αναπνοή ως μεταβολική πορεία είναι αντίστροφη της φωτοσύνθεσης. Η ισορροπία ανάμεσα σ' αυτές τις δύο διαδικασίες διατηρεί την ισορροπία ανάμεσα στο διοξείδιο του άνθρακα και στο οξυγόνο