

1..Ποια είναι τα συστατικά από τα οποία αποτελείται ένα οικοσύστημα; Για ποιο λόγο είναι απαραίτητο να τα μελετούμε στην αλληλεπίδρασή τους και όχι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο;

Απάντηση

Ένα οικοσύστημα είναι ένα σύστημα μελέτης που αποτελείται από τους βιοτικούς παράγοντες μιας περιοχής, δηλαδή το σύνολο των οργανισμών που ζουν σ' αυτήν, από τους αβιοτικούς παράγοντες, καθώς και από το σύνολο των αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Η μεμονωμένη μελέτη των συστατικών του οικοσυστήματος θα ήταν χωρίς νόημα, αφού η ύπαρξη καθενός από αυτούς τους παράγοντες επηρεάζεται και επηρεάζει την ύπαρξη των υπόλοιπων. Η εξαφάνιση ενός από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην κατάρρευση του οικοσυστήματος. Αν, για παράδειγμα, εκλείψει το νερό (αβιοτικός παράγοντας) από ένα οικοσύστημα, όλοι οι οργανισμοί θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα.

2. Η πόλη στην οποία ζείτε, όπως και κάθε άλλη πόλη, αποτελεί ένα ετερότροφο οικοσύστημα. Να προσδιορίσετε ποιες είναι οι εισροές και ποιες οι εκροές της, ώστε να εξασφαλίζεται η επιβίωση των οργανισμών που ζουν σ' αυτήν και η ισορροπία του οικοσυστήματος.

Απάντηση

Για να λειτουργήσει ένα οικοσύστημα χρειάζεται 1) Είσοδο και συνεχή χρησιμοποίηση ενέργειας (δηλ., διανομή ενέργειας στους βιοτικούς παράγοντες) και 2) Συνεχή ανακύκλωση ύλης (χημικών στοιχείων).

Η πόλη, αν θεωρηθεί οικοσύστημα, για να συντηρηθεί, πρέπει η τροφή (ενέργεια) για τους κατοίκους (βιοτικούς παράγοντες) να μεταφέρεται από άλλες περιοχές.

Η μεγάλη ποσότητα τροφής που συγκεντρώνεται στην πόλη παράγει και μεγάλο όγκο απορριμμάτων, η διάθεση των οποίων γίνεται σε οικοσυστήματα εκτός της πόλης τα οποία επηρεάζονται αρνητικά. Επίσης, σε μια πόλη παράγονται και λύματα, τα οποία έχουν μεγάλη συγκέντρωση οργανικού υλικού και τα οποία αποβάλλονται σε άλλα οικοσυστήματα (γειτονικές λίμνες, ποταμοί, θάλασσα), επηρεάζοντάς τα σημαντικά.

Δηλαδή, η ανακύκλωση των στοιχείων που αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία του οικοσυστήματος δεν γίνεται εντός της πόλης. Επομένως, η πόλη δεν μπορεί να θεωρηθεί οικοσύστημα.

Παράδειγμα ετερότροφου οικοσυστήματος είναι η αβυσσαϊκή ζώνη που είναι η αβυσσοπελαγική στοιβάδα ή η πελαγική ζώνη στην οποία ανήκουν τα νερά κοντά στον βυθό των ωκεανών. Είναι η περιοχή των ωκεανών όπου δεν φτάνει η ηλιακή ακτινοβολία και η βιοκοινότητα αποτελείται από πληθυσμούς ετερότροφων οργανισμών. Η είσοδος της ενέργειας γίνεται με τη μορφή νεκρής οργανικής ύλης που προέρχεται από τα ανώτερα στρώματα.

3. Ποιοι από τους οργανισμούς (παραγωγούς, καταναλωτές, αποικοδομητές) ενός οικοσυστήματος δεν είναι απολύτως απαραίτητοι για την ύπαρξή του; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Απάντηση

**Α.** Εάν το οικοσύστημα είναι αυτότροφο: Οι παραγωγοί είναι απολύτως απαραίτητοι για την ύπαρξη του αυτότροφου οικοσυστήματος, γιατί είναι αυτοί που εισάγουν ενέργεια στο οικοσύστημα, αφού με τη φωτοσύνθεση μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική, κάνοντάς τη διαθέσιμη και για τους υπόλοιπους οργανισμούς. Οι αποικοδομητές είναι απολύτως απαραίτητοι, γιατί μετατρέπουν την οργανική ύλη σε ανόργανη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου από τους φυτικούς οργανισμούς.

Χωρίς τους αποικοδομητές, μετά από ένα χρονικό διάστημα το οικοσύστημα θα κατέρρευε, αφού τα ανόργανα συστατικά που είναι απαραίτητα για τους παραγωγούς θα στέρευαν, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να υπάρξουν οι παραγωγοί και όλοι οι οργανισμοί που στηρίζονται ενεργειακά σε αυτούς.

Οι καταναλωτές είναι απαραίτητοι επειδή είναι οι οργανισμοί μέσω των οποίων κυκλοφορεί η ενέργεια στο οικοσύστημα και συμβάλλουν στη διανομή της. Δε συμβάλλουν ούτε στην παραγωγή ενέργειας στο οικοσύστημα, αλλά ούτε στην ανακύκλωση. Συμβάλλουν όμως στη διατήρηση των παραγωγών και των αποικοδομητών. Έχουν πολλούς και ποικίλους άλλους βιολογικούς ρόλους. Έτσι, για παράδειγμα, πολλές φορές εξυπηρετούν την εξάπλωση κάποιων φυτικών ειδών όταν, τρώγοντας έναν καρπό, αποβάλλουν με τα κόπρανά τους, πολύ μακριά από τον τόπο όπου υπήρχε αυτό το φυτό, τους σπόρους του. Σε άλλες περιπτώσεις εξυπηρετούν τη γονιμοποίηση, όπως γίνεται με τις μέλισσες, οι οποίες βοηθούν την επικοινωνία των φυτών. Συνεπώς ο ρόλος τους είναι σημαντικός.

**Β.** Εάν το οικοσύστημα είναι ετερότροφο: Οι παραγωγοί δεν είναι απαραίτητοι, γιατί η ενέργεια που απαιτείται εισάγεται από άλλα αυτότροφα οικοσυστήματα. Για παράδειγμα, στην πόλη, που είναι ένα ετερότροφο οικοσύστημα, η ενέργεια εισάγεται με τη μορφή των τροφίμων που θα καταναλώσουν οι κάτοικοι. Οι καταναλωτές, στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητοι για να πραγματοποιήσουν την τροφοδότηση του οικοσυστήματος με ενέργεια, αλλά και τη διανομή της (ροή ενέργειας) μέσω των τροφικών σχέσεων. Οι αποικοδομητές είναι απολύτως απαραίτητοι, γιατί μετατρέπουν την οργανική ύλη σε ανόργανη. Στην περίπτωση αυτή, όχι για να χρησιμοποιηθεί από τους παραγωγούς, αλλά κυρίως για την αποικοδόμηση των λυμάτων και των απορριμμάτων που αποβάλλουν οι καταναλωτές.

**4.** Οι γεωργικές καλλιέργειες αποτελούν συνήθως λιγότερο σταθερά οικοσυστήματα από τα φυσικά. Για ποιους κατά τη γνώμη σας λόγους συμβαίνει αυτό;

Απάντηση

Οι γεωργικές καλλιέργειες είναι τεχνητά οικοσυστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μικρότερη ποικιλότητα από τα φυσικά, αφού ο αριθμός των διαφορετικών ειδών που ζουν σε αυτά είναι μικρός. Η μικρή ποικιλότητα που χαρακτηρίζει αυτά τα οικοσυστήματα τα κάνει λιγότερο σταθερά, δηλαδή περισσότερο ευάλωτα σε οποιαδήποτε διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος. Αυτό γίνεται, γιατί εξαιτίας του μικρού αριθμού διαφορετικών ειδών, οι τροφικές σχέσεις που αναπτύσσονται στο οικοσύστημα είναι λιγότερες. Η εξαφάνιση ενός είδους θα απειλούσε και την εξαφάνιση των ειδών που βασίζονταν τροφικά σε αυτό. Γενικά, όσες περισσότερες εναλλακτικές οδοί υπάρχουν για τη ροή της ενέργειας, τόσο περισσότερο σταθερό είναι το οικοσύστημα.

1. Δύο κτηνοτρόφοι έχουν από ένα κοπάδι 100 προβάτων ο καθένας και τα πηγαίνουν για βοσκή σε διαφορετικούς βοσκοτόπους. Ο πρώτος χρησιμοποιεί για βοσκότοπο μια ερημοποιημένη περιοχή της οποίας η πρωτογενής παραγωγικότητα είναι  $500 \text{ g/m}^2$  στους έξι μήνες και ο δεύτερος χρησιμοποιεί για βοσκότοπο μια περιοχή κοντά στο δέλτα ενός ποταμού με πρωτογενή παραγωγικότητα  $2500 \text{ g/m}^2$ . Όλα τα πρόβατα στο διάστημα των έξι μηνών παρουσίασαν την ίδια ανάπτυξη.

α) Ποιο από τα δύο βοσκοτόπια έχει μεγαλύτερη έκταση και κατά πόσο;

β) Αν οι δύο κτηνοτρόφοι χρησιμοποιήσουν για τη βοσκή των προβάτων τους ίσες εκτάσεις των βοσκοτόπων τους, ποιος από τους δύο θα έχει μετά από έξι μήνες πρόβατα με μεγαλύτερο βάρος;

Απάντηση

α. Εφ' όσον τα πρόβατα (και τα 100 σε κάθε βοσκότοπο) παρουσίασαν την ίδια ανάπτυξη δηλ., την ίδια διαφορά σε ζωική βιομάζα στο διάστημα των έξι μηνών, σημαίνει ότι είχαν διαθέσιμη και την ίδια διαφορά σε συνολική φυτική βιομάζα ( $\Delta\Phi$ ) και στους δύο βοσκοτόπους.

$$\text{Έτσι: παραγωγικότητα 1 ου οικοσυσσ.} = \frac{\Delta\Phi_1}{E_1 \cdot \Delta t} = 500 \text{ g/m}^2 \cdot 6 \mu. \text{ και}$$

$$\text{παραγωγικότητα 2 ου οικοσυσσ.} = \frac{\Delta\Phi_2}{E_2 \cdot \Delta t} = 2500 \text{ g/m}^2 \cdot 6 \mu., \text{ όπου } E_1 \text{ και } E_2 \text{ οι εκτάσεις των οικοσυσσ.}$$

στημάτων 1 και 2 αντίστοιχα.

Επειδή  $\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2$ , έχουμε  $E_1 = 5 \cdot E_2$ . Άρα το πρώτο οικοσύστημα έχει πενταπλάσια έκταση από το δεύτερο.

β. Σύμφωνα με τα δεδομένα του προβλήματος, η παραγωγικότητα του 2<sup>ου</sup> οικοσυστήματος είναι πενταπλάσια από εκείνη του 1<sup>ου</sup>

$$\text{Έτσι έχουμε: } \frac{\Delta\Phi_2}{E_2 \cdot \Delta t} = 5 \cdot \frac{\Delta\Phi_1}{E_1 \cdot \Delta t} \quad \text{Επειδή όμως } E_1 = E_2 \quad \text{έχουμε } \Delta\Phi_2 = 5 \cdot \Delta\Phi_1.$$

Άρα το δεύτερο οικοσύστημα έχει πενταπλάσια διαθέσιμη διαφορά συνολικής φυτικής βιομάζας από εκείνη του πρώτου.

Επομένως τα πρόβατα που θα βοσκήσουν στο 2<sup>ο</sup> οικοσύστημα θα έχουν μεγαλύτερο βάρος.

2. Έστω ότι σε μια λίμνη ισχύει η τροφική αλυσίδα:

φυτοπλαγκτόν → ζωοπλαγκτόν → μικρά ψάρια → μεγάλα ψάρια → υδρόβια πτηνά.

Όλοι οι οργανισμοί κάθε τροφικού επιπέδου τρέφονται αποκλειστικά με οργανισμούς του προηγούμενου τροφικού επιπέδου. Εάν η βιομάζα των μικρών ψαριών είναι  $5 \cdot 10^4 \text{ kg}$  και η ενέργεια που εμπεριέχεται στο φυτοπλαγκτόν είναι  $40 \text{ kJoules/kg}$  φυτοπλαγκτού:

α. Να υπολογιστεί η βιομάζα των υπόλοιπων τροφικών επιπέδων και να σχεδιαστεί η αντίστοιχη τροφική πυραμίδα.

β. Να υπολογιστεί η ενέργεια που εμπεριέχεται σε κάθε τροφικό επίπεδο και να σχεδιαστεί η αντίστοιχη τροφική πυραμίδα.

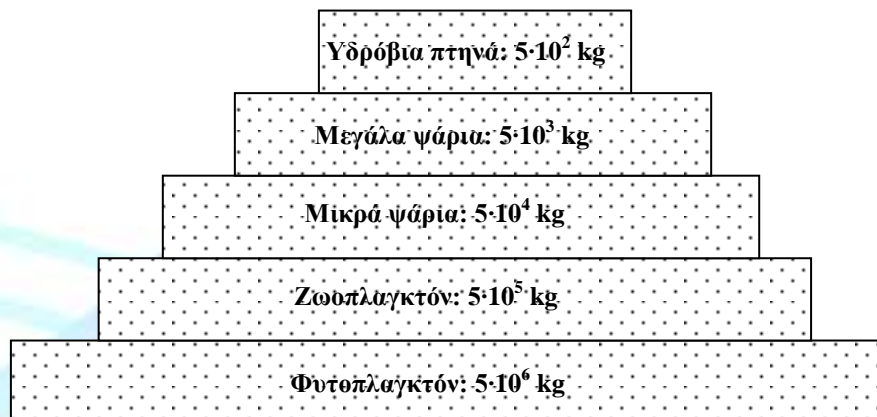
γ. Με δεδομένο ότι το μέσο βάρος ενός πτηνού είναι  $2,5 \text{ kg}$ , να υπολογιστεί ο αριθμός των υδρόβιων πτηνών που μπορούν να εξασφαλίσουν την τροφή τους μέσω αυτής της τροφικής αλυσίδας.



### Απάντηση

α. Εάν η βιομάζα των μικρών ψαριών είναι  $5 \cdot 10^4$  kg, τότε με δεδομένο ότι από το ένα τροφικό επίπεδο μεταφέρεται περίπου το 10% της ενέργειας θα ισχύει:

Φυτοπλαγκτόν:  $5 \cdot 10^6$  kg  
Ζωοπλαγκτόν:  $5 \cdot 10^5$  kg  
Μεγάλα ψάρια:  $5 \cdot 10^3$  kg  
Υδρόβια πτηνά:  $5 \cdot 10^2$  kg



β. Με δεδομένο ότι η ενέργεια που υπάρχει στο φυτοπλαγκτόν είναι 40 kJoules/kg και λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του σκέλους (α) του προβλήματος, μπορεί να υπολογιστεί η ενέργεια που υπάρχει σε κάθε τροφικό επίπεδο.

Η βιομάζα του φυτοπλαγκτού υπολογίστηκε σε  $5 \cdot 10^6$  kg, άρα η ενέργεια που εμπεριέχεται σε αυτό το τροφικό επίπεδο είναι:

$$40 \text{ kJoules/kg} \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ kg} = 20 \cdot 10^7 \text{ kJoules}$$

Με αυτό το δεδομένο και γνωρίζοντας ότι το 10% της ενέργειας μεταφέρεται από το ένα επίπεδο στο άλλο, η ενέργεια που θα υπάρχει στα υπόλοιπα επίπεδα θα είναι:

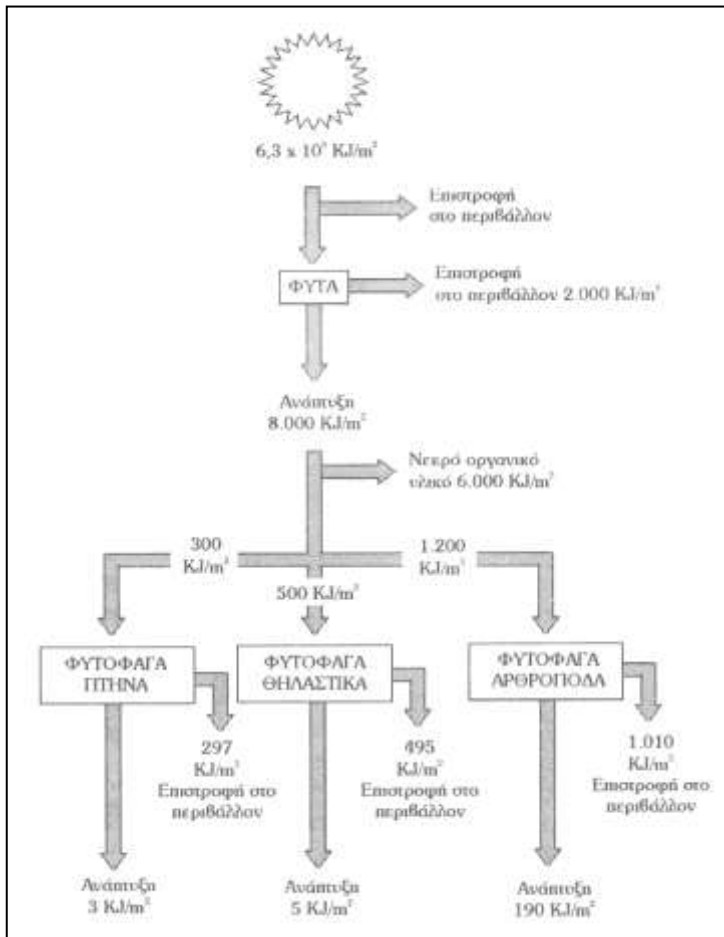


Ζωοπλαγκτόν:  $20 \cdot 10^6$  kJoules  
Μικρά ψάρια:  $20 \cdot 10^5$  kJoules  
Μεγάλα ψάρια:  $20 \cdot 10^4$  kJoules  
Υδρόβια πτηνά:  $20 \cdot 10^3$  kJoules

γ. Η βιομάζα των υδρόβιων πτηνών βρέθηκε ότι θα είναι  $5 \cdot 10^2$  kg. Με δεδομένο ότι το μέσο βάρος του πτηνού είναι 2,5 kg, τότε ο αριθμός των υδρόβιων πτηνών που μπορούν να εξασφαλίσουν την τροφή τους μέσω αυτής της τροφικής αλυσίδας θα είναι:

$$5 \cdot 10^2 \text{ kg} : 2,5 \text{ kg} = 200.$$

3. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες του διαγράμματος να απαντήσετε στις ερωτήσεις:



α. Τι ποσοστό της ενέργειας που παίρνουν τα φυτά από τον ήλιο το δεσμεύουν με τη φωτοσύνθεση;

β. Ποια είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά επιστρέφουν στο περιβάλλον τους 2.000 kJ/m<sup>2</sup>;

γ. Τι ποσοστό της ενέργειας που παίρνουν τα φυτοφάγα πτηνά από τα φυτά το επιστρέφουν στο περιβάλλον τους;

δ. Τι ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο ενσωματώνεται στους ιστούς των φυτοφάγων πτηνών;

ε. Τι ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο τα φυτοφάγα αρθρόποδα το επιστρέφουν στο περιβάλλον;

στ. Πώς μπορεί να εξηγηθεί η διαφορά του ποσοστού της επιστρεφόμενης ενέργειας ανάμεσα στα πτηνά και στα αρθρόποδα.

Απάντηση

α. Η ενέργεια που δεσμεύουν τα φυτά από τον ήλιο βρίσκεται αν προσθέσουμε την ενέργεια που απελευθερώνεται ως θερμότητα και την ενέργεια που χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη. Δηλαδή:

$$(2.000 + 8.000) \text{ kJ/m}^2 = 10.000 \text{ kJ/m}^2$$

Συνεπώς το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση είναι:

$$10.000 \text{ kJ/m}^2 : (6,3 \cdot 10^6) \text{ kJ/m}^2 = 0,0016 \quad \text{ή } 0,16\%$$

β. Η διαδικασία αυτή είναι η κυτταρική αναπνοή.

γ. Τα φυτοφάγα πτηνά παίρνουν από τα φυτά 300 kJ/m<sup>2</sup>. Από αυτά, τα 297 kJ/m<sup>2</sup> τα επιστρέφουν στο περιβάλλον τους. Άρα  $297 \text{ kJ/m}^2 / 300 \text{ kJ/m}^2 = 0,99$  ή 99% της ενέργειας την επιστρέφουν στο περιβάλλον.

δ. Ο ήλιος παρέχει  $6,3 \cdot 10^6 \text{ kJ/m}^2$  και από αυτά τα 3 kJ/m<sup>2</sup> ενσωματώνονται στους ιστούς των φυτοφάγων πτηνών, άρα:

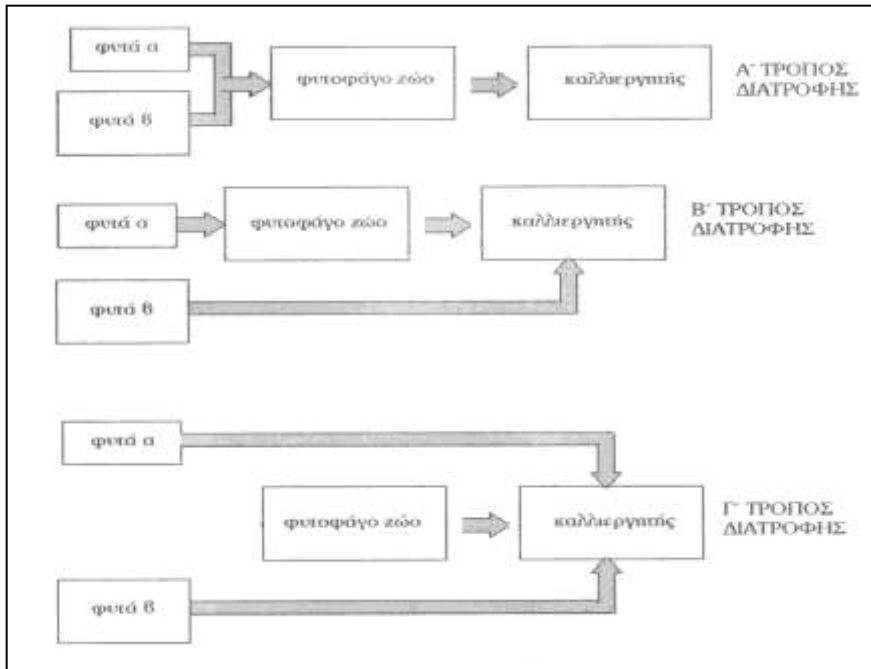
$$3 \text{ kJ/m}^2 : (6,3 \cdot 10^6 \text{ kJ/m}^2) = 0,47 \cdot 10^{-6} \quad \text{ή } 0,47 \cdot 10^{-4}\%$$

ε. Τα φυτοφάγα αρθρόποδα επιστρέφουν στο περιβάλλον 1.010 kJ/m<sup>2</sup>, οπότε το ποσοστό επιστροφής στο περιβάλλον σε σχέση με την ενέργεια που παρέχει ο ήλιος στο οικοσύστημα θα είναι:

$$1.010 \text{ kJ/m}^2 : (6,3 \cdot 10^6 \text{ kJ/m}^2) = 16 \cdot 10^{-5} \quad \text{ή } 16 \cdot 10^{-3}\%, \quad \text{δηλαδή } 0,016\%.$$

στ. Τα πτηνά έχουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας σε σχέση με τα αρθρόποδα, γιατί χρειάζονται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για τη μετακίνησή τους (πρέπει να υπερνικούν την αντίσταση του αέρα και τη βαρύτητα), αλλά και για τη διατήρηση της θερμοκρασίας τους σταθερής, καθώς είναι ομοιόθερμοι οργανισμοί.

4. Ο καλλιεργητής ενός αγροκτήματος ασχολείται με την καλλιέργεια δύο φυτικών ειδών και την εκτροφή ενός ζωικού είδους που είναι φυτοφάγο. Ποιος από τους εικονιζόμενους τρόπους διατροφής είναι ο λιγότερο και ποιος ο περισσότερο αποδοτικός από ενεργειακή άποψη και γιατί;



**Απάντηση**

**Α' τρόπος.** Γνωρίζοντας ότι, καθώς η ενέργεια ρέει από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο, έχουμε απώλειες ενέργειας της τάξης του 10%, αντιλαμβανόμαστε ότι όσο περισσότερα επίπεδα μεσολαβούν μέχρι να καταλήξει η τροφή σε έναν καταναλωτή, τόσο μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας θα έχουμε. Έτσι, ο λιγότερο αποδοτικός τρόπος είναι ο Α, διότι έχουμε μεγάλες απώλειες ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που δεσμεύουν και τα δύο φυτικά είδη. Ο περισσότερο αποδοτικός τρόπος είναι ο Γ, γιατί ο καλλιεργητής εκμεταλλεύεται στο μέγιστο την ενέργεια που έχουν δεσμεύσει

και τα δύο είδη φυτών, ενώ εκμεταλλεύεται στο έπακρο και την ενέργεια του φυτοφάγου ζώου, χωρίς να έχει σπαταλήσει ενέργεια από τα δύο φυτικά είδη που καλλιεργεί για να συντηρήσει αυτό το ζώο, το οποίο προφανώς βόσκει ελεύθερο και δεν τρέφεται από τα φυτά α και β.

**Β' τρόπος.** (περισσότερο αναλυτικός)

Έστω  $\alpha$  = η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στα φυτά α

Έστω  $\beta$  = η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στα φυτά β

**Α' τρόπος διατροφής:** Η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στο φυτοφάγο ζώο και είναι διαθέσιμη στον άνθρωπο είναι  $(\alpha + \beta) / 10$

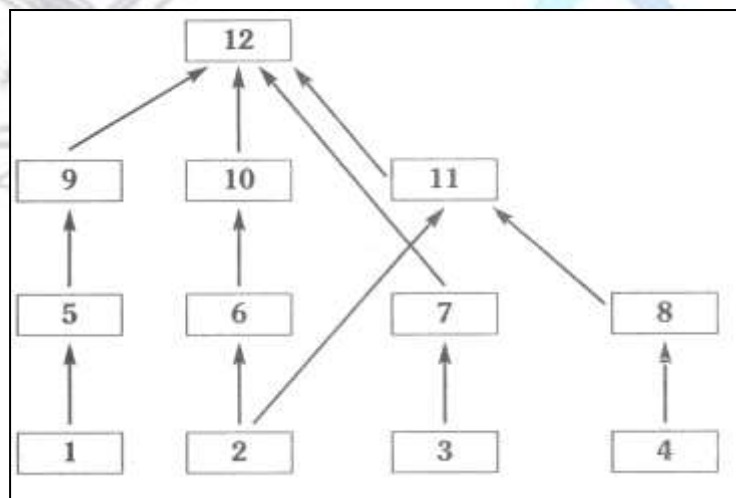
**Β' τρόπος διατροφής:** Η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στο φυτοφάγο ζώο είναι  $\alpha / 10$ . Επομένως η διαθέσιμη ενέργεια στον άνθρωπο είναι  $(\alpha / 10) + \beta$  ή  $(\alpha + 10\beta) / 10$

**Γ' τρόπος διατροφής:** Έστω  $\gamma$  = η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στο φυτοφάγο ζώο. Επομένως η διαθέσιμη ενέργεια στον άνθρωπο είναι  $\alpha + \beta + \gamma$ .

Επειδή,  $\alpha + \beta + \gamma > (\alpha + 10\beta) / 10 > (\alpha + \beta) / 10$ , ο λιγότερο αποδοτικός τρόπος είναι ο Α, και ο περισσότερο αποδοτικός τρόπος είναι ο Γ.

**5.** Στην εικόνα παρουσιάζονται οι τροφικές σχέσεις σε ένα οικοσύστημα. Αν οι οργανισμοί 1, 2, 3, 4 αντιπροσωπεύουν παραγωγούς και όλοι οι υπόλοιποι καταναλωτές, να απαντήσετε στις ερωτήσεις:

- α.** Τι ονομάζουμε τροφική αλυσίδα, τι τροφικό πλέγμα και τι τροφικό επίπεδο;
- β.** Πόσες διαφορετικές τροφικές αλυσίδες διαπιστώνετε ότι υπάρχουν στο οικοσύστημα;
- γ.** Ποιος είναι ο κορυφαίος καταναλω-





τής του οικοσυστήματος;

- δ.** Ποιος από τους οργανισμούς του οικοσυστήματος συμπεριφέρεται ταυτόχρονα και ως καταναλωτής 2ης και ως καταναλωτής 1ης τάξης; Ποιος οργανισμός είναι η τροφή του σε κάθε περίπτωση;
- ε.** Ποιοι από τους καταναλωτές του οικοσυστήματος αναμένετε να είναι οι μεγαλύτεροι σε βιομάζα και γιατί;
- στ.** Ποιος από τους οργανισμούς του οικοσυστήματος συμπεριφέρεται ταυτόχρονα και ως καταναλωτής 3ης και ως καταναλωτής 2ης τάξης; Ποιος οργανισμός είναι η τροφή του σε κάθε περίπτωση;
- ζ.** Με ποιους άλλους οργανισμούς ο οργανισμός της ερώτησης (στ) ανήκει στο ίδιο τροφικό επίπεδο όταν συμπεριφέρεται ως καταναλωτής 2ης τάξης;
- η.** Ποια από τις έννοιες, η τροφική αλυσίδα ή το τροφικό πλέγμα, είναι πλησιέστερη προς την πραγματικότητα που υπάρχει στα φυσικά οικοσυστήματα και γιατί;
- θ.** Αν εξαφανιστεί ο οργανισμός 2, ποιοι οργανισμοί θα επηρεαστούν τροφικά και γιατί;
- ι.** Ποιοι από τους οργανισμούς της ερώτησης (θ) θα επηρεαστούν περισσότερο και γιατί;

#### Απάντηση

**α.** Η απεικόνιση της τροφικής αλληλεξάρτησης μεταξύ των οργανισμών ενός οικοσυστήματος με τη μορφή μιας αλυσίδας της οποίας τα βέλη δείχνουν τη ροή ενέργειας ανάμεσα στους οργανισμούς που έχουν σχέση καταναλισκόμενου-καταναλωτή συνιστά μια τροφική αλυσίδα.

Το δίκτυο που απεικονίζει το σύνολο των τροφικών σχέσεων των οργανισμών ενός οικοσυστήματος συνιστά ένα τροφικό πλέγμα. Οι τροφικές αλυσίδες αποτελούν μέρος των πολύπλοκων τροφικών σχέσεων που παρουσιάζει ένα τροφικό πλέγμα.

Σε ένα αυτότροφο οικοσύστημα, όλοι οι οργανισμοί που τρέφονται απέχοντας «ίδιο αριθμό βημάτων» από τον ήλιο ανήκουν στο ίδιο τροφικό επίπεδο.

**β.** Στο οικοσύστημα που δίνεται υπάρχουν 5 διαφορετικές αλυσίδες:

(1, 5, 9, 12), (2, 6, 10, 12), (3, 7, 12), (2, 11, 12), (4, 8, 11, 12)

**γ.** Κορυφαίος καταναλωτής του οικοσυστήματος είναι ο 12.

**δ.** Ως καταναλωτής 1ης και 2ης τάξης συμπεριφέρεται ο 11. Όταν τρέφεται με τον 2 είναι καταναλωτής 1ης τάξης, ενώ, όταν τρέφεται με τον 8, είναι καταναλωτής 2ης τάξης.

**ε.** Ένας οργανισμός, όταν έχει μεγάλη μάζα, θα χρειάζεται και μεγάλη ποσότητα ενέργειας με τη μορφή τροφής για να συντηρήσει αυτή τη μάζα. Όσο πιο χαμηλά βρισκόμαστε σε μια τροφική αλυσίδα, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια, άρα οι οργανισμοί με τη μεγαλύτερη βιομάζα θα είναι οι καταναλωτές 1ης τάξης (φυτοφάγα ζώα), γιατί αυτοί μπορούν να βρουν ευκολότερα την ενέργεια που χρειάζονται (Να σημειωθεί ότι τα μεγαλύτερα ζώα της ξηράς και της θάλασσας, ο ελέφαντας και η φάλαινα αντίστοιχα, είναι φυτοφάγα.)

**στ.** Ο 12 συμπεριφέρεται ως καταναλωτής 2ης και 3ης τάξης, όταν τρέφεται αντίστοιχα με τους 9, 10 και 11 είναι καταναλωτής 3ης τάξης, ενώ, όταν τρέφεται με τον 7, είναι καταναλωτής 2ης τάξης.

**ζ.** Ο οργανισμός της ερώτησης (στ) ανήκει στο ίδιο τροφικό επίπεδο με τους καταναλωτές 9, 10 και 11 όταν συμπεριφέρεται ως καταναλωτής 2ης τάξης.

**η.** Η έννοια του τροφικού πλέγματος είναι πλησιέστερη προς την πραγματικότητα επειδή στα οικοσυστήματα οι τροφικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών είναι πιο πολύπλοκες από αυτές που απεικονίζονται στις τροφικές αλυσίδες.

**θ.** Ο οργανισμός 2 είναι παραγωγός, συνεπώς, αν εξαφανιστεί, θα εκλείψει η τροφή για τους 6 και 10, οι οποίοι τρέφονται αποκλειστικά από αυτόν, άμεσα ο 6 και έμμεσα (τρεφόμενος από τον 6) ο 10. Ο 12 θα στραφεί στις άλλες πηγές ενέργειας και ο 11, που και γι' αυτόν ο 2 αποτελούσε τροφή, θα στραφεί ενεργειακά προς τις άλλες πηγές ενέργειας.

**ι.** Από τους οργανισμούς της ερώτησης (θ), περισσότερο θα επηρεαστούν οι οργανισμοί που δεν έχουν άλλες τροφικές επιλογές, δηλαδή οι οργανισμοί 6 και 10.

1. Το άζωτο βρίσκεται σε τεράστια ποσότητα στην ατμόσφαιρα (78%). Καθώς η μεγάλη πλειονότητα των αυτότροφων οργανισμών είναι ανίκανη να το χρησιμοποιήσει σ' αυτή την αέρια μοριακή μορφή ( $N_2$ ), απαιτείται η μετατροπή του σε εύληπτη μορφή. Να περιγράψετε τη διαδικασία με την οποία γίνεται αυτή η μετατροπή.

Απάντηση

Η μετατροπή του μοριακού αζώτου της ατμόσφαιρας σε μορφή εύληπτη από τους παραγωγούς ονομάζεται αζωτοδέσμευση και διακρίνεται σε βιολογική, που συνιστά το 90% της αζωτοδέσμευσης, και ατμοσφαιρική. Στην πρώτη περίπτωση η μετατροπή γίνεται με τη βοήθεια ελεύθερων ή συμβιωτικών μικροοργανισμών. Σημαντικότεροι μεταξύ αυτών είναι τα βακτήρια που συμβιώνουν με τα ψυχανθή (τριφύλλι, μπιζελιά, κουκιά, φασολιά, φακή, σόγια) σχηματίζοντας στις ρίζες τους ειδικά εξογκώματα, που ονομάζονται φυμάτια. Τα βακτήρια αυτά μετατρέπουν το ατμοσφαιρικό μοριακό άζωτο σε νιτρικά ιόντα, που είναι εύληπτα από τα φυτά. Στην ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση δε συμμετέχει οργανισμός για τη μετατροπή του μοριακού αζώτου σε νιτρικά ιόντα, αλλά το άζωτο της ατμόσφαιρας αντιδρά είτε με τους υδρατμούς, σχηματίζοντας αμμωνία, είτε με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, σχηματίζοντας νιτρικά ιόντα. Για τη διαδικασία αυτή απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας τα οποία παρέχουν αστραπές και κεραυνοί. Τελικά η αμμωνία και τα νιτρικά ιόντα μεταφέρονται με τη βροχή στο έδαφος.

2. Περιγράψτε συνοπτικά τον κύκλο του νερού. Είναι πιο πολύπλοκος επάνω από τους ωκεανούς ή επάνω από την ξηρά και γιατί;

Απάντηση

Η κυκλοφορία του νερού στηρίζεται κυρίως στην εξάτμιση, στη διαπνοή των φυτών και στις κατακρημνίσεις. Εξάτμιση ονομάζεται η απομάκρυνση του νερού με τη μορφή υδρατμών από μια επιφάνεια. Όταν αυτή η επιφάνεια είναι τα φύλλα ενός φυτού, ονομάζεται επιδερμική εξάτμιση και διαφέρει από τη διαπνοή, όπου η απομάκρυνση του νερού γίνεται μέσω των στομάτων. Σε αυτήν την περίπτωση το νερό που απορροφούν τα φυτά με τις ρίζες τους περνά στο εσωτερικό τους και καταλήγει τελικά στα φύλλα, από τα οποία απομακρύνεται με τη διαπνοή από τα στόματά τους. Στις κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι, χαλάζι) το νερό απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα και γίνεται διαθέσιμο στα υδάτινα και στα χερσαία οικοσυστήματα, από τα οποία με την επιφανειακή απορροή καταλήγει πάλι στους υδάτινους αποδέκτες.

Ο κύκλος του νερού είναι πιο πολύπλοκος πάνω από την ξηρά, γιατί οι πιθανές πορείες του νερού είναι περισσότερες. Έτσι, το νερό που πέφτει στη ξηρά μπορεί να εξατμιστεί, να εισχωρήσει στο υπέδαφος και στο σύστημα των υπόγειων υδάτων, να προσληφθεί από τα φυτά και να απομακρυνθεί με τη διαπνοή, να απομακρυνθεί με την επιφανειακή απορροή από το χερσαίο περιβάλλον.

3. Η βόσκηση αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα της αναγεννητικής διαδικασίας που συμβαίνει στα μεσογειακά οικοσυστήματα μετά το κάψιμό τους. Για ποιο λόγο προτιμούνται για βόσκηση τα καμένα οικοσυστήματα;

Απάντηση

Μετά το κάψιμο ενός οικοσυστήματος στο έδαφος παραμένει η στάχτη, η οποία περιέχει θρεπτικά συστατικά σε ανοργανοποιημένη μορφή, ενώ με τον καπνό έχουν απομακρυνθεί άλλες ουσίες, όπως αυτές του αζώτου, επειδή είναι πτητικές. Τα επόμενα χρόνια, μετά την πυρκαγιά, τα φυτά που βλασταίνουν πρώτα είναι τα πώδη, όπως τα ψυχανθή. Τα ψυχανθή, με τη βοήθεια των συμβιωτικών μικροοργανισμών που ζουν στις ρίζες τους, εμπλουτίζουν το έδαφος με άζωτο, ώστε να καταστεί κατάλληλο για την ανάπτυξη και άλλων φυτών. Όμως τα ψυχανθή, επειδή εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο, είναι άριστη κτηνοτροφή.



Παράλληλα, τα μεσογειακά φυτά είτε παραβλασταίνουν (δημιουργούν νέους βλαστούς και φύλλα από υπόγειους βλαστούς), όπως το πουρνάρι, είτε επανακάμπτουν με βλάστηση των σπερμάτων τους που βρίσκονται στο έδαφος, όπως το πεύκο. Τα τρυφερά νέα φυτά αποτελούν και αυτά άριστη κτηνοτροφή. Συνεπώς τα καμένα οικοσυστήματα συνιστούν ιδανικό τόπο για βόσκηση είτε για τα ψυχανθή είτε για τα τρυφερά φυτά που παραβλασταίνουν ή επανακάμπτουν σε αυτά.



1. Από μετρήσεις που έγιναν σε λίμνη βρέθηκε μικρή συγκέντρωση εντομοκτόνου DDT στο φυτοπλαγκτό και πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση του ίδιου εντομοκτόνου στα ψαροπούλια της λίμνης. Με δεδομένο ότι η τροφική αλυσίδα του λιμναίου οικοσυστήματος περιλαμβάνει φυτοπλαγκτόν, ψάρια, ψαροπούλια και ζωοπλαγκτόν:

α. Να γράψετε την τροφική αλυσίδα της λίμνης.

β. Αν η ενέργεια στο τροφικό επίπεδο των ψαριών είναι  $3 \cdot 10^2$  kJ, να υπολογίσετε την ενέργεια των άλλων τροφικών επιπέδων.

γ. Ποια είναι η συγκέντρωση του DDT στα ψαροπούλια με δεδομένο ότι η βιομάζα στο φυτοπλαγκτόν είναι  $5 \cdot 10^6$  kg και η συγκέντρωση του εντομοκτόνου στο επίπεδο των ψαριών 20 mg/kg;

Απάντηση

α. Η τροφική αλυσίδα της λίμνης είναι φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, ψάρια, ψαροπούλια.

β. Γνωρίζουμε ότι, καθώς η ενέργεια ρέει από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο, έχουμε απώλειες της τάξης του 90%, δηλαδή μόνο το 10% της ενέργειας περνά από επίπεδο σε επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι, αν η ενέργεια που υπάρχει στο τροφικό επίπεδο των ψαριών είναι  $3 \cdot 10^2$  kJ, η ενέργεια που θα υπάρχει στο προηγούμενο τροφικό επίπεδο (ζωοπλαγκτόν) θα είναι  $3 \cdot 10^3$  kJ, ενώ η ενέργεια που θα υπάρχει στο αμέσως προηγούμενο επίπεδο θα είναι  $3 \cdot 10^4$  kJ. Στα ψαροπούλια θα υπάρχει υποδεκαπλάσια ενέργεια από αυτήν που υπάρχει στο τροφικό επίπεδο των ψαριών, δηλαδή 30 kJ.

γ. Καθώς περνάμε από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο, η βιομάζα ελαττώνεται, αφού και η διαθέσιμη ενέργεια λιγοστεύει συνεπώς, αφού η ενέργεια που θα είναι διαθέσιμη σε επόμενο τροφικό επίπεδο θα είναι το 10% της ενέργειας του προηγούμενου τροφικού επιπέδου, τον ίδιο ρυθμό θα ακολουθεί και η μεταβολή της βιομάζας.

Αφού η βιομάζα του φυτοπλαγκτού είναι  $5 \cdot 10^6$  kg,  
η βιομάζα του ζωοπλαγκτού θα είναι  $5 \cdot 10^5$  kg,  
η βιομάζα των ψαριών θα είναι  $5 \cdot 10^4$  kg και  
η βιομάζα των πτηνών θα είναι  $5 \cdot 10^3$  kg.

Το DDT είναι ένα εντομοκτόνο που έχει κατασκευάσει ο άνθρωπος και δεν αποικοδομείται, συνεπώς θα μεταφέρεται από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο αναλλοίωτο. Αν υπολογίσουμε την ποσότητα DDT που υπάρχει στα ψάρια, η ίδια ποσότητα θα υπάρχει και στα πουλιά, οπότε γνωρίζοντας τη βιομάζα τους μπορούμε να βρούμε και τη συγκέντρωσή του.

Αφού στα ψάρια έχουμε 20 mg DDT /kg, στα  $5 \cdot 10^4$  kg ψαριών θα έχουμε:

$$20 \text{ mg DDT /kg} \cdot (5 \cdot 10^4 \text{ kg}) = 10^6 \text{ mg DDT στη βιομάζα των ψαριών}$$

Η ίδια ποσότητα DDT θα υπάρχει και στα ψαροπούλια, άρα η συγκέντρωση της ουσίας αυτής θα είναι:  
 $10^6 \text{ mg DDT} : (5 \cdot 10^3 \text{ kg}) = 200 \text{ mg DDT /kg}$

2. Ποια είναι τα αίτια και ποιες οι πιθανές συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου; Τι θα μπορούσε να κάνει ο σύγχρονος άνθρωπος για να τις περιορίσει;

Απάντηση

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει ένα στρώμα υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύει ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο δεν απορροφήθηκε από τη Γη. Αυτό το φαινόμενο ευθύνεται για τη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης σε επίπεδα ευνοϊκά για τη ζωή (15 °C). Τα τελευταία όμως χρόνια εξαιτίας της υπέρμετρης χρήσης καυσίμων, ιδιαίτερα δε μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση, η συγκέντρωση του διοξει-

δίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξάνεται συνεχώς (με ρυθμό 0,3% το χρόνο), με αποτέλεσμα να εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού αυξάνεται το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που δεσμεύεται από το διοξείδιο του άνθρακα, και έτσι να αυξάνεται η μέση θερμοκρασία της Γης.

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης ακόμα και 5 °C όπως προβλέπεται, αν αυτοί οι ρυθμοί συνεχιστούν μέχρι το 2040, θα έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μία από αυτές είναι η τήξη των πάγων, η οποία θα οδηγήσει στην ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, με αποτέλεσμα πολλές χερσαίες εκτάσεις να καλυφθούν. Επίσης, θα γίνουν πολλές αλλαγές στα υπάρχοντα οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα να απειλούνται με εξαφάνιση κάποια είδη οργανισμών, ενώ υπάρχουν φόβοι εμφάνισης και εξάπλωσης πολλών ασθένειών που μέχρι τώρα εμφανίζονταν σε περιορισμένες περιοχές του πλανήτη. Αυτό μπορεί να συμβεί ιδιαίτερα αν οι ασθένειες αυτές μεταδίδονται με κάποιους οργανισμούς (π.χ. κουνούπια) οι οποίοι επιβιώνουν και πολλαπλασιάζονται σε θερμά κλίματα. Ακόμα, πολλές γόνιμες εκτάσεις μπορεί να γίνουν άγονες, δηλαδή εμφάνιση φαινομένου ερημοποίησης.

Για τον περιορισμό των αερίων που δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου πρέπει:

Να μειωθεί η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα με την χρησιμοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας (ηλιακή, αιολική κ.λ.π.) και όχι με καύση ορυκτών καυσίμων.

Να προστατευθούν τα δάση και να σταματήσει η αποψίλωση των τροπικών δασών, όπως π.χ. τα δάση του Αμαζονίου, που απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα.

**3. Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στη δημιουργία όξινης βροχής. Ποιες είναι οι συνέπειες αυτού του φαινομένου ρύπανσης και τι θα μπορούσε να κάνει ο σύγχρονος άνθρωπος για να τις περιορίσει;**

**Απάντηση**

**A. Εξαιτίας της όξινης βροχής:**

καταστρέφεται το φύλλωμα των δέντρων,

ελαττώνεται η γονιμότητα του εδάφους,

θανατώνονται οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Επίσης, προκαλούνται καταστροφές στα μαρμάρινα αρχιτεκτονικά μνημεία και έργα τέχνης, επειδή το νιτρικό και το θειώδες οξύ στην όξινη βροχή διαβρώνουν τις εξωτερικές επιφάνειές τους.

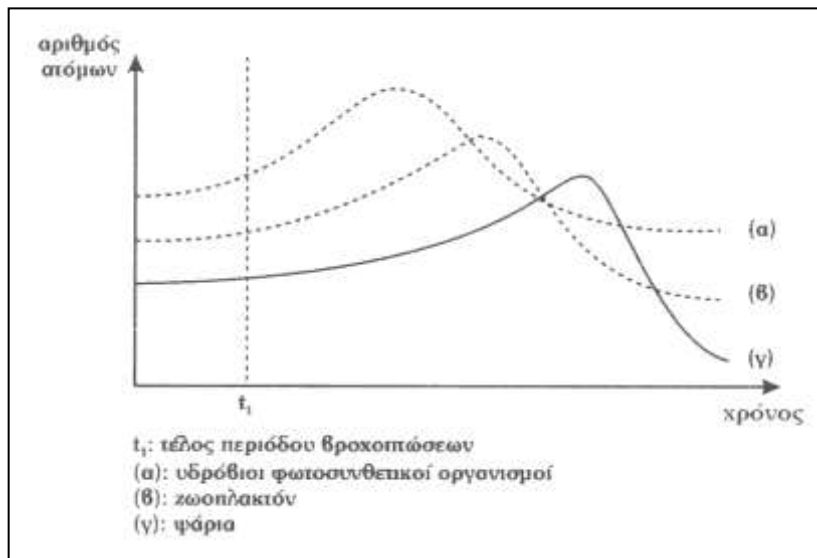
**B. Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, τα οποία συμβάλλουν στη δημιουργία όξινης βροχής, παράγονται κατά την καύση υγρών καυσίμων (αυτοκίνητα, εργοστάσια, βιομηχανίες). Συχνά μεταφέρονται με τον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις, με αποτέλεσμα η όξινη βροχή να μην πέφτει στην περιοχή παραγωγής των αερίων αυτών αλλά πάνω από δάση, λίμνες, ποτάμια ή θάλασσες.**

Για τον περιορισμό των αερίων που δημιουργούν την όξινη βροχή πρέπει:

Να μειωθούν οι μετακινήσεις με ιδιωτικά αυτοκίνητα. Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε αν ο καθένας από εμάς χρησιμοποιεί περισσότερο τα μέσα μαζικής μεταφοράς (λεωφορεία, τρένα, μετρό).

Να μειωθούν οι εκπομπές των ρύπων που δημιουργούν την όξινη βροχή. Αυτό, σε ατομικό επίπεδο, μπορεί να επιτευχθεί αν μειωθεί η υπερκατανάλωση αγαθών. Επίσης, σε επίπεδο πολιτείας, μπορεί να νομοθετηθεί η μείωση αυτών των ρύπων και να επιβληθεί στα εργοστάσια χρήση φίλτρων.





4. Σε μια λίμνη που περιβάλλεται από χωράφια τα οποία καλλιεργούνται συστηματικά με χρήση λιπασμάτων διοχετεύονται πολλά από τα νερά της βροχής που δέχεται η περιοχή αυτή. Να θεωρήσετε ότι στη λίμνη ζουν υδρόβιοι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, ζωοπλακτόν και ψάρια που αποτελούν τροφική αλυσίδα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή στον πληθυσμό των οργανισμών αυτών μετά το τέλος της περιόδου των βροχοπτώσεων.

α. Να ερμηνεύσετε τη μορφή των καμπυλών του διαγράμματος.

β. Να περιγράψετε το φαινόμενο το οποίο προκαλεί τις μεταβολές στις καμπύλες του διαγράμματος.

γ. Να εξηγήσετε πώς μεταβάλλεται ο πληθυσμός των αποικοδομητών σ' αυτή τη λίμνη.

#### Απάντηση

Αφού η λίμνη περιβάλλεται από χωράφια τα οποία καλλιεργούνται συστηματικά με τη χρήση λιπασμάτων, τα νερά της βροχής που καταλήγουν σε αυτή θα συμπαρασύρουν και μεγάλες ποσότητες αυτών των λιπασμάτων, οπότε θα έχουμε το φαινόμενο του ευτροφισμού. Δηλαδή θα πάψει να υπάρχει ο ανασταλτικός παράγοντας που υπήρχε για την ανάπτυξη των παραγωγών και ήταν η έλλειψη νιτρικών ιόντων.

Ο εμπλουτισμός της λίμνης με νιτρικά ιόντα από τα λιπάσματα, μετά τις βροχοπτώσεις, οδηγεί σε υπεραύξηση των παραγωγών (υδρόβιων φωτοσυνθετικών οργανισμών).

Η αύξηση των παραγωγών οδηγεί και σε αύξηση του ζωοπλακτού, αφού η διαθέσιμη τροφή είναι περισσότερη, και με τη σειρά του η αύξηση του ζωοπλακτού οδηγεί σε αύξηση των ψαριών της λίμνης.

Με την πάροδο του χρόνου όμως λειτουργούν οι ρυθμιστικοί μηχανισμοί του οικοσυστήματος και οι οργανισμοί που αναφέραμε επανέρχονται σταδιακά στα αρχικά τους επίπεδα. Αυτό γίνεται γιατί σταδιακά οι παραγωγοί επανέρχονται στα αρχικά τους επίπεδα, αφού η ποσότητα των νιτρικών ιόντων μειώνεται, με συνέπεια και το ζωοπλακτόν που τρέφεται από το φυτοπλακτόν να ελαττώνεται και τελικά να υφίσταται ελαφρά μείωση. Τα ψάρια της λίμνης όμως υφίστανται δραματική μείωση.

Οι αποικοδομητές της λίμνης θα αυξηθούν γιατί αυξάνεται το οργανικό υλικό που είναι διαθέσιμο σε αυτούς. Καθώς αυξάνονται οι παραγωγοί, όταν αυτοί πεθαίνουν, καταλήγουν στους αποικοδομητές, οι οποίοι υπεραυξάνονται αφού έχουν στη διάθεσή τους άφθονη ποσότητα οργανικής ύλης. Μετά την πάροδο του φαινομένου θα επανέλθουν στα αρχικά επίπεδα.