

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Εφαρμοσμένη Οικολογία & Διαχείριση Περιβάλλοντος

Μάθημα:

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Μαρία Αντωνοπούλου
Αναπλ. Καθηγήτρια
Τμήμα Αειφορικής Γεωργίας
Παν. Πατρών



Τύχη και μεταφορά οργανικών ρύπων/ξενοβιοτικών στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Οργανικοί ρύποι

Μεγάλος αριθμός **συνθετικών οργανικών χημικών ενώσεων** οι οποίες εισάγονται στο περιβάλλον λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Είναι τοξικές ή μετατρέπονται σε τοξικά παράγωγα στο περιβάλλον

Αποδεδειγμένη ή πιθανή καρκινογόνο δράση

Αποτελούν ενδοκρινικούς διαταράκτες

Έμμονοι οργανικοί ρύποι (persistent organic pollutants, POPs)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα: παρασιτοκτόνα, οι πολυχλωριωμένοι υδρογονάνθρακες (PCBs), οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), φαινολικές ενώσεις, διοξίνες κλπ.

Η μεταφορά, κατανομή, παραμονή των οργανικών ρύπων στα διάφορα τμήματα του περιβάλλοντος (αέρας, νερό, έδαφος, ιζήματα, οργανισμοί) εξαρτώνται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ενώσεων

Συμπεριφορά και τύχη των οργανικών ρύπων στο υδάτινο περιβάλλον

Οι κυριότερες ιδιότητες του οργανικού ρύπου που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά και τύχη οργανικών ρύπων στο υδάτινο περιβάλλον είναι:

- ❖ η διαλυτότητά του στο νερό
- ❖ η πτητικότητα του (σταθερά Henry)
- ❖ ο συντελεστής κατανομής οκτανόλης/νερού (K_{ow})
- ❖ ο συντελεστής προσρόφησης στον οργανικό άνθρακα του εδάφους (Soil Absorption Coefficient, K_{oc})
- ❖ παραμονή/ανθεκτικότητα (persistence) μιας χημικής ένωσης σε ένα μέσο διασποράς

Διαλυτότητα (S)

Η διαλυτότητα (S) μιας χημικής ένωσης: μέγιστη ποσότητα που διαλύεται σε καθαρό νερό σε μία ορισμένη θερμοκρασία (συνήθως 20 °C)

Εκφράζεται, τις περισσότερες φορές, σε mg L^{-1} (ppm) ή σε $\mu\text{g L}^{-1}$ (ppb).

Υψηλές τιμές αντιστοιχούν σε μεγάλη υδατοδιαλυτότητα.

Χημικές ενώσεις με υψηλή διαλυτότητα στο νερό έχουν χαμηλούς συντελεστές προσρόφησης και συντελεστές βιοσυσώρευσης και αποδομούνται πιο εύκολα από τους μικροοργανισμούς.

Η μεγάλη διαλυτότητα ενός ρύπου στο νερό ευνοεί τη μεταφορά του μέσω του νερού αυξάνοντας τον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων και επιφανειακών υδάτων.

Διαλυτότητα (S)

Κατάταξη των ενώσεων με βάση τη διαλυτότητα στο νερό

<i>Χαρακτηρισμός</i>	<i>Διαλυτότητα (ppm)</i>
Πολύ διαλυτή	$S > 10.000$
Διαλυτή	$1.000 < S < 10.000$
Μέτρια διαλυτή	$100 < S < 1.000$
Λίγο διαλυτή	$0.1 < S < 100$
Αδιάλυτη	$S < 0.1$

Πτητικότητα

Η πτητικότητα μιας ένωσης αναφέρεται στη δυνατότητά της να μεταφέρεται στην αέρια φάση και μπορεί να εκφραστεί μέσω της σταθεράς του Νόμου του Henry

Η τιμή της σταθεράς H εκφράζεται συνήθως σε Pa (ή atm) $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$.

Κατάταξη των ενώσεων με βάση τη σταθερά H

<i>Χαρακτηρισμός</i>	<i>Πτητικότητα (H σε $\text{atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$)</i>
Πολύ πτητικές	$H > 10^{-1}$
Πτητικές	$10^{-1} > H > 10^{-3}$
Μέτρια πτητικές	$10^{-3} > H > 10^{-5}$
Ασθενώς πτητικές	$10^{-5} > H > 10^{-7}$
Μη πτητικές	$10^{-7} > H$

Συντελεστής κατανομής οκτανόλης/νερού (Kow)

Εκφράζει την κατανομή μιας ουσίας μεταξύ δύο διαλυτών, του νερού (πολικός διαλύτης) και της οκτανόλης, μη πολικός (λιπόφιλος) διαλύτης, σε συγκεκριμένες τιμές pH και θερμοκρασίας (συνήθως 7 και 20 °C αντίστοιχα).

Ο λιπόφιλος ή όχι χαρακτήρας μίας ένωσης παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την περιβαλλοντική της συμπεριφορά (πιθανότητα ενσωμάτωσης ή πρόσληψης από οργανισμούς, προσρόφησης σε στερεά που περιέχουν οργανική ύλη, κα.).

Υψηλές τιμές του συντελεστή Kow αντιστοιχούν σε μικρή υδατοδιαλυτότητα, υψηλή λιποδιαλυτότητα, μεγάλη τάση προσρόφησης στα κολλοειδή και στα σωματίδια του εδάφους και του ιζήματος και υψηλή ικανότητα συγκέντρωσης στους λιπώδεις ιστούς.

Συντελεστής προσρόφησης στον οργανικό άνθρακα του εδάφους (K_{oc})

Μέτρο της έκτασης της προσρόφησης και της κινητικότητας των οργανικών ρύπων στο έδαφος

$$K_{oc} = \frac{K_d}{\%OC} \times 100$$

όπου: K_d η σταθερά κατανομής μιας χημικής ουσίας μεταξύ της στερεής και της υδατικής φάσης &
 $\%OC$ η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα

Υψηλές τιμές αντιστοιχούν σε μικρή κινητικότητα και υψηλή δυνατότητα προσρόφησης στα κολλοειδή του εδάφους.

Γενικά η έκταση προσρόφησης μιας ένωσης σε περιβαλλοντικές συνθήκες στο έδαφος ή ίζημα καθορίζεται σημαντικά από διάφορες φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους ή του ιζήματος.

Συντελεστής κατανομής οκτανόλης/νερού (K_{ow})

Χαρακτηρίζει την κατανομή ενός οργανικού ρύπου μεταξύ υδατικής φάσης και υδρόφοβων φάσεων όπως το οργανικό κλάσμα της αιωρούμενης ύλης σε υδάτινους αποδέκτες

- Χρησιμεύει ως δείκτης για την πιθανότητα βιοσυσσώρευσης ενός οργανικού ρύπου

Κατάταξη των ενώσεων με βάση την πιθανότητα βιοσυσσώρευσης

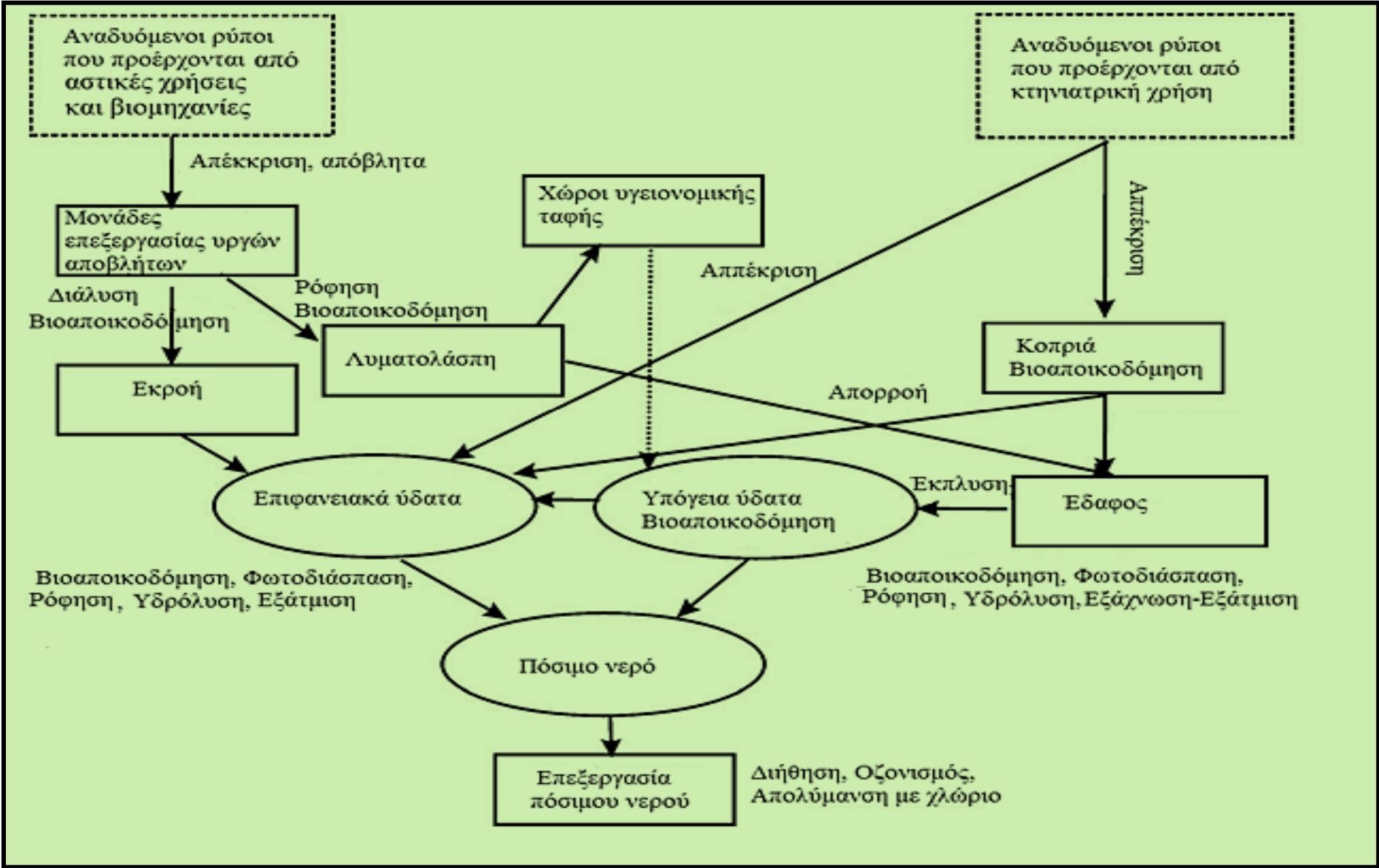
<i>Πιθανότητα βιοσυσσώρευσης</i>	<i>Τιμή $\log K_{ow}$</i>
Μεγάλη πιθανότητα	$8.0 > \log K_{ow} > 4.3$
Μέτρια πιθανότητα	$4.3 > \log K_{ow} > 3.5$
Μικρή πιθανότητα	$3.5 > \log K_{ow}$

Παραμονή ή ανθεκτικότητα (persistence)

Η παραμονή ή ανθεκτικότητα (persistence) μιας χημικής ένωσης σε ένα μέσο διασποράς μπορεί να θεωρηθεί ως η τάση της ουσίας να διατηρεί την ακεραιότητα του μορίου της και να μη διασπάται σε απλούστερες μορφές.

Η παραμονή/ανθεκτικότητα εκφράζεται συνήθως ως χρόνος ημιπεριόδου ζωής, ο οποίος ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για τη μείωση της συγκέντρωσης της ουσίας στο μισό της αρχικής.

Μετά την είσοδο τους στο υδάτινο περιβάλλον, οι οργανικοί ρύποι υπόκεινται σε μία σειρά διεργασιών μετασχηματισμού-αποδόμησης



Σχήμα: Διεργασίες μεταφοράς και διάσπασης των οργανικών ρύπων στο περιβάλλον (Τροποποιημένο από Farré et al., 2008).

Διεργασίες μετασχηματισμού-διάσπασης

Η χημική διάσπαση/μετασχηματισμός ενός μορίου αναφέρεται σε χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα με ενώσεις και χημικά είδη/αντιδραστήρια που υπάρχουν στο κάθε περιβαλλοντικό υπόστρωμα χωρίς τη συμμετοχή των μικροοργανισμών του περιβαλλοντικού συστήματος.

Στις αντιδράσεις αυτές περιλαμβάνονται η υδρόλυση, οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και η φωτόλυση/φωτοδιάσπαση.

Υδρόλυση

Αποτελεί τη σημαντικότερη ίσως χημική αντίδραση των οργανικών μορίων στο περιβάλλον

Πιο συγκεκριμένα, ως υδρόλυση ενός οργανικού μορίου RX ορίζεται η χημική μετατροπή του μορίου όταν αντιδρά με μόρια νερού, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό ενός νέου ομοιοπολικού δεσμού με την υδροξυ-ομάδα ($-OH$) και στη διάσπαση του ομοιοπολικού δεσμού με την ομάδα $-X$ (αποχωρούσα ομάδα). Αποτέλεσμα η αντικατάσταση της ομάδας $-X$ από την ομάδα HO^- :



Η κινητική των αντιδράσεων υδρόλυσης εξαρτάται σημαντικά από διάφορες παραμέτρους όπως: θερμοκρασία, το pH ,

Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις

Οι ρύποι στα εδαφικά και υδατικά συστήματα μπορούν να δρουν είτε ως οξειδωτικά είτε ως αναγωγικά υποστρώματα προσλαμβάνοντας ή αποβάλλοντας ηλεκτρόνια αντίστοιχα.

Παραδείγματα οξειδωτικών ειδών : οι αλκόξυ ρίζες ($\text{RO}^\bullet$), οι υπερόξυ ρίζες ($\text{RO}_2^\bullet$), οι ρίζες υδροξυλίου ($\text{HO}^\bullet$), το οξυγόνο απλής κατάστασης ($^1\text{O}_2$), το όζον (O_3) και το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2).

Ως φυσικοί δότες ηλεκτρονίων μπορούν να δρουν ως θειούχες ενώσεις, τα αναγωγικά μέταλλα

Φωτοδιάσπαση ή φωτόλυση

Η άμεση φωτόλυση συνίσταται στην απευθείας απορρόφηση φωτονίων από τα μόρια των οργανικών ρύπων που ακολουθείται από χημικές αντιδράσεις διάσπασης, ανάλογα με τη μορφή των μορίων.

Η άμεση φωτόλυση των περισσότερων οργανικών ρύπων υπό την επίδραση του ηλιακού φωτός αναμένεται να είναι ιδιαιτέρως μικρή.

Η έμμεση φωτόλυση όπου τα φωτόνια απορροφώνται από ανόργανα ή οργανικά συστατικά του περιβαλλοντικού υποστρώματος, που καλούνται φωτοευαίσθητοποιητές (πχ. χουμικά οξέα, χρωστικές κ.α.

Τα συστατικά αυτά μεταφέρουν την ενέργεια στο διάλυμα και τελικά στα μόρια των ενώσεων ή σχηματίζουν κάποια δραστικά ενδιάμεσα (π.χ. ελεύθερες ρίζες οξυγόνου) που οξειδώνουν και τελικά διασπούν τα μόρια των οργανικών ενώσεων.

Προσρόφηση

- ❖ Συσσώρευση μίας ουσίας σε διεπιφάνεια (εδαφικών συστημάτων-υπόγειο νερού)
- ❖ Αποτέλεσμα της προσρόφησης είναι η **επιβράδυνση των ρύπων** μέσα στο υπέδαφος, δηλαδή η μείωση της ταχύτητας μεταφοράς τους σε σχέση με την ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού.
- ❖ Αντίθετο φαινόμενο η εκρόφηση

Εξάτμιση

- Μετάβαση χημικών ουσιών από τη στερεή ή την υγρή στην αέρια φάση
- Πολύπλοκη διαδικασία (εξάρτηση από περιβαλλοντικούς παράγοντες και χημικές ιδιότητες)
- Για την κατανόηση της εξάτμισης πρέπει να είναι γνωστή η κατανομή των ρύπων στα εδάφη
- Οι ρύποι στα εδάφη κατανέμονται μεταξύ **εδαφικού αέρα, εδαφικού νερού και εδαφικών στερεών** (π.χ. οργανικό υλικό)

Βιοαποικοδόμηση

Βιοαποικοδόμηση (Βιοδιάσπαση/ μικροβιακή διάσπαση) των οργανικών ρύπων είναι αποτέλεσμα της δράσης μικροοργανισμών όπως τα βακτήρια, οι μύκητες κ.α.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι δυνατόν η βιοαποικοδόμηση να οδηγήσει σε ανόργανα τελικά προϊόντα δηλαδή διοξείδιο του άνθρακα, νερό και αμμωνία, νιτρικά, θειικά ιόντα, κ.α. ανάλογα με τη σύσταση της οργανικής ένωσης.

Περιβαλλοντικές συνθήκες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο.

Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)

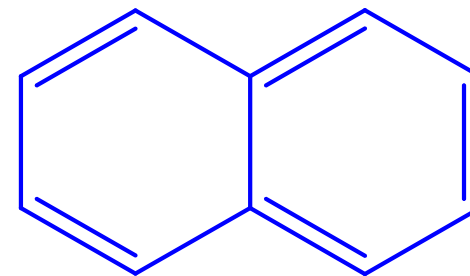
Αποτελούν μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες ρύπων του περιβάλλοντος

Είναι ενώσεις που έχουν στο μόριο τους συμπυκνωμένους βενζολικούς δακτυλίους

Διακρίνονται σε ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους που περιέχουν 2-3 αρωματικούς δακτυλίους και υψηλού μοριακού βάρους με 4-7 αρωματικούς δακτυλίους

Ο αριθμός και η θέση των δακτυλίων καθώς και ο αριθμός η θέση και η φύση των υποκαταστατών που υπάρχουν στο κυκλικό σύστημα, επηρεάζουν :

- τις φυσικοχημικές ιδιότητες των PAHs,
- την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά
- τις αλληλεπιδράσεις τους με τα βιολογικά συστήματα



ναφθαλένιο

Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες

Πηγές ρύπανσης των φυσικών νερών με PAHs:

- Διαρροές αργού πετρελαίου ή προϊόντων διύλισης από πετρελαιοπηγές, διυλιστήρια & δεξαμενόπλοια
- Υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών (πχ. Βιομηχανίες διαλυτικών, χρωμάτων, αντισκωρικών κλπ.)
- Ατμοσφαιρική ρύπανση

Έχουν μεγάλο μοριακό βάρος, μικρή πολικότητα και μικρή διαλυτότητα στο νερό.

Μεγάλο ποσοστό PAHs που καταλήγει στα νερά, προσροφάται στα αιωρούμενα σωματίδια και αποτίθεται στα ιζήματα του πυθμένα.

Χαμηλού μοριακού βάρους PAHs: εξάτμιση, μικροβιακή οξείδωση

Υψηλού μοριακού βάρους PAHs: φωτοοξείδωση, σχηματισμός καρκινογόνων κινονών

Χλωριωμένοι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες

Οργανικές ενώσεις μη κυκλικής δομής, με ορισμένο αριθμό απλών, διπλών ή τριπλών δεσμών στο μόριό τους και ορισμένο αριθμό ατόμων χλωρίου

Τυπικοί κλάδοι εφαρμογής τους:

- ☐ Ουσίες χημικού καθαρισμού (τετραχλωρο αιθυλένιο, τριχλωροαιθυλένιο, τετραχλωράνθρακας)
- ☐ Διαλυτικά (διχλωροαιθάνιο, διχλωροπροπανιο, χλωροφορμιο)
- ☐ Πρώτες ύλες για συνθετικές ουσίες (βινυλοχλωρίδιο)

Μικρές ποσότητες τους παράγονται κατά τη χλωρίωση υγρών αποβλήτων ορισμένων βιομηχανιών ενώ συχνά ανιχνεύονται και στα αστικά λύματα

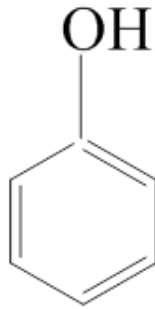
Χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό & υψηλή τάση ατμών, με αποτέλεσμα να εξατμίζονται γρήγορα στην ατμόσφαιρα

Η τοξικότητα τους ποικίλλει από μέτρια έως ελαφρά ισχυρή

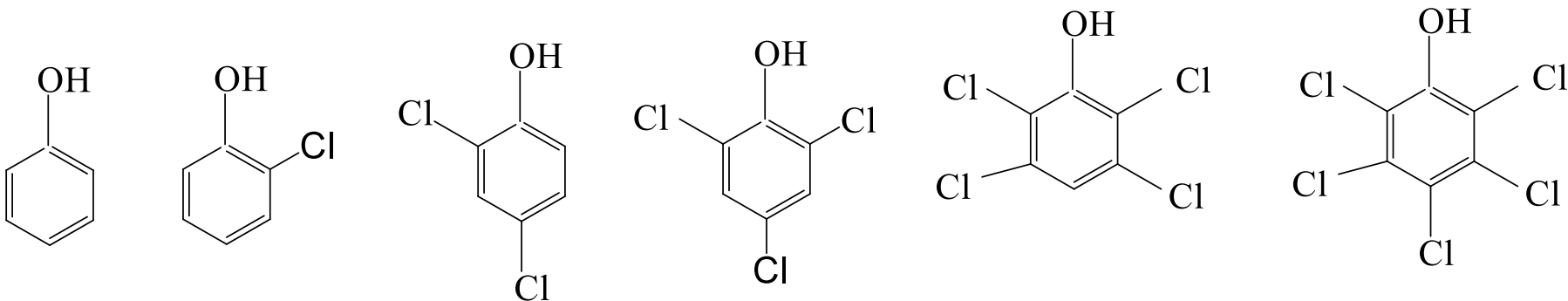
Φαινόλες

Οι **φαινόλες** είναι υδροξυ παράγωγα των αρωματικών υδρογονανθράκων

Απλούστερο μέλος: φαινόλη που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία ως πρώτη ύλη για την παρασκευή πολυμερών υλικών, χρωμάτων, παρασιτοκτόνων, εκρηκτικών, πρόσθετων βενζίνης κ.α.



Οι χλωροφαινόλες αποτελούν χλωριωμένα παράγωγα της φαινόλης και συνιστούν μια ομάδα από διαφορετικά ισομερή



Διοξίνες-Βενζοφουράνια

Πολυχλωριωμένες- Διβενζο-π-διοξίνες και διβενζο-π-φουράνια:

Εισέρχονται στο περιβάλλον κυρίως σαν παραπροϊόντα από διάφορες διεργασίες

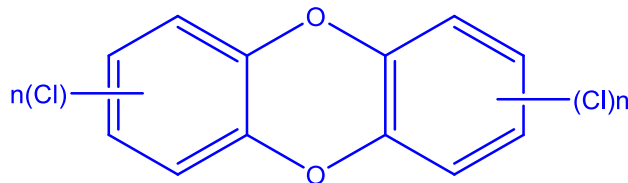
Δεν παράγονται για εμπορικούς σκοπούς & ανιχνεύονται στο περιβάλλον συνήθως με τις χλωροφαινόλες

Μια από τις κυριότερες πηγές διοξινών είναι η ατελής καύση οικιακών απορριμμάτων.

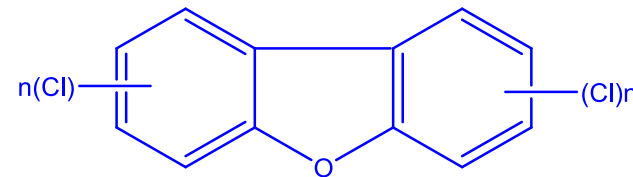
Μεγάλη τοξικότητα

Διαλύονται ελάχιστα στο νερό, ενώ προσροφούνται ισχυρά στο έδαφος

Βρίσκονται και στο έδαφος και στα ιζήματα



Πολυχλωριωμένες- Διβενζο-π-διοξίνες



Πολυχλωριωμένα Διβενζο-π-φουράνια

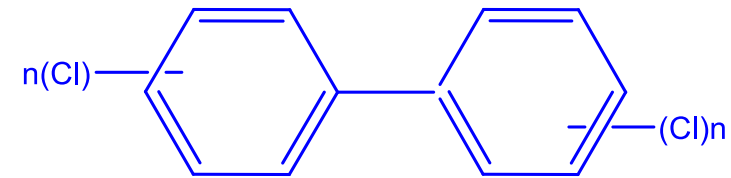
Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια

Κυριότερες πηγές ρύπανσης:

- ❑ Απόβλητα ορισμένων χημικών βιομηχανιών
- ❑ Πυκνωτές & μετασχηματιστές ηλεκτρικών σταθμών

Ενώσεις ελάχιστα διαλυτές στο νερό, ενώ προσροφούνται ισχυρά στα αιωρούμενα σωματίδια και τα ιζήματα

Η τοξικότητα του για τους διάφορους οργανισμούς εξαρτάται από το είδος & το ισομερές

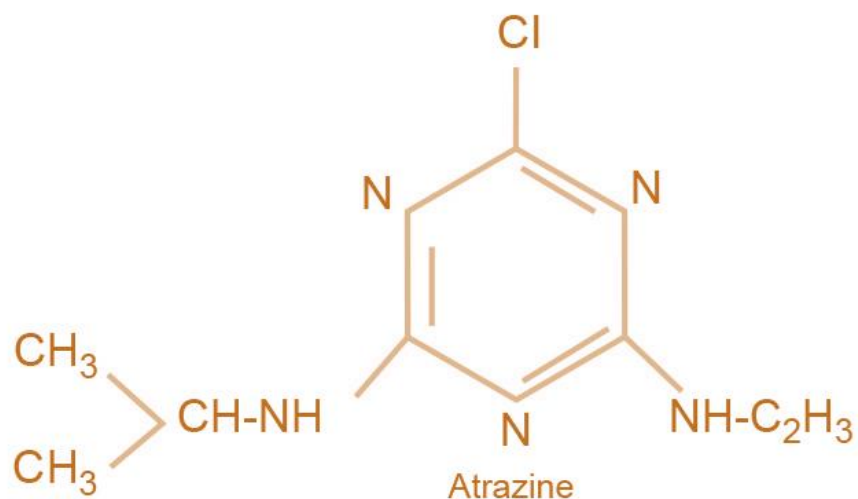
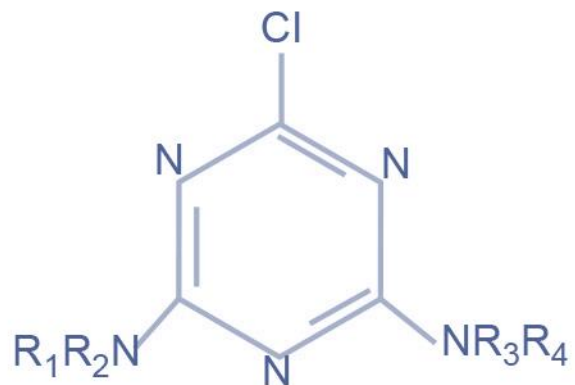


Παρασιτοκτόνα

- ❑ Παρασιτοκτόνα: χαρακτηρίζονται οι χημικές ουσίες ή μίγματα ουσιών που έχουν την ιδιότητα να επιδρούν σε συγκεκριμένα βιολογικά υποστρώματα (φυτικά ή ζωικά) μεταβάλλοντας τη βιολογική τους συμπεριφορά.
- ❑ Αποτέλεσμα της δράσης τους μπορεί να είναι ο θάνατος ή η αναστολή της ανάπτυξης ή η παρεμπόδιση της αναπαραγωγής του οργανισμού στόχου.
- ❑ Ανάλογα με τον οργανισμό τον οποίο καταπολεμούν τα παρασιτοκτόνα χαρακτηρίζονται ως ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, νηματοκτόνα, ακαρεοκτόνα, βακτηριοκτόνα.....

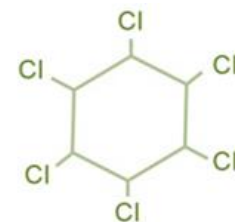
Διεργασίες στο Περιβάλλον

- Προσρόφηση
- Μεταφορά (Εξάτμιση, Επιφανειακή & κατακόρυφη έκπλυση
Απορρόφηση, Πρόσληψη από το φυτό)
- Διάσπαση (χημική, μικροβιακή, φωτοδιάσπαση)

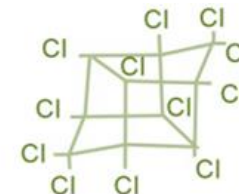


R1, R2, R3, R4: υδρογόνο ή αλκυλο ομάδες

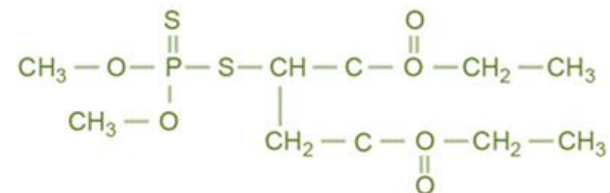
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ ΤΡΙΑΖΙΝΗΣ



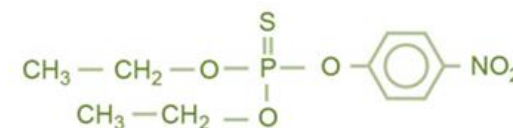
Lindane



Mirex



Malathion



Parathion

Σχήμα. Χημική δομή & εμπορική ονομασία παρασιτοκτόνων που ανήκουν σε διαφορετικές χημικές ομάδες (Αλμπάνης, 2009)

Ενδοκρινικοί διαταράκτες

Περιλαμβάνουν μια σειρά χημικών ουσιών που προέρχονται από τις βιομηχανίες, γεωργικές και οικιακές δραστηριότητες

Περιλαμβάνουν φθαλικούς εστέρες, άλκυλο φαινόλες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, διοξίνες, οργανοχλωριωμένα φυτοφάρμακα κα.

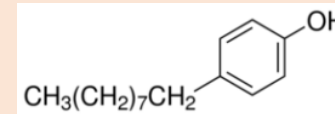
Μερικές κοινές ιδιότητες των ενδοκρινικών ενώσεων

- ☐ Επίμονες
- ☐ Υδρόφοβες & λιπόφιλες
- ☐ Βιολογικά ενεργές σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις κα.

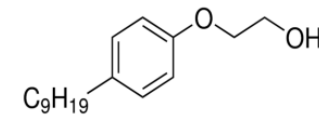
Ενδοκρινικοί διαταράκτες
Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs)
Παραδείγματα

Δομή

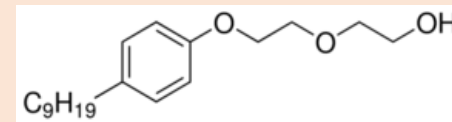
4-Nonylphenol



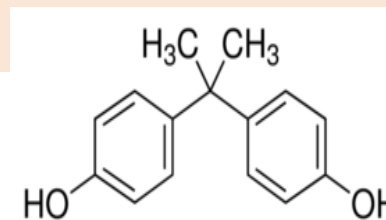
Nonylphenol-mono-ethoxylate (NP₁EO)



Nonylphenol-di-ethoxylate (NP₂EO)



Bisphenol-A





Assessing the human risk and the environmental fate of pharmaceutical Tramadol

Maria Antonopoulou^{a,*}, Angeliki Thoma^a, Foteini Konstantinou^a, Dimitris Vlastos^a, Dimitra Hela^b

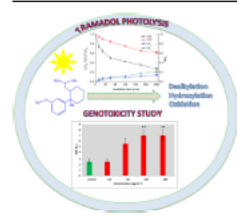
^a Department of Environmental Engineering, University of Patras, Agrinio, 30100, Greece

^b Department of Chemistry, University of Ioannina, Ioannina, GR-45110, Greece

HIGHLIGHTS

- Investigation of the genotoxic and cytotoxic effects of Tramadol using CBMN assay.
- Self-sensitized pathways took place apart from direct photolysis of Tramadol.
- Hydroxylation, demethylation and N-oxidation of Tramadol were the main degradation pathways.
- HO[•] and ¹O₂ were the major species involved in the photolytic process.
- A noticeable increase of the inhibition for *Vibrio fischeri* was observed at the first stages.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:
Received 19 September 2019
Received in revised form 3 November 2019
Accepted 4 November 2019
Available online 10 December 2019

Editor: Damià Barceló

Keywords:
Tramadol
Genotoxicity
CBMN assay
Photolysis
Transformation products
Ecotoxicity

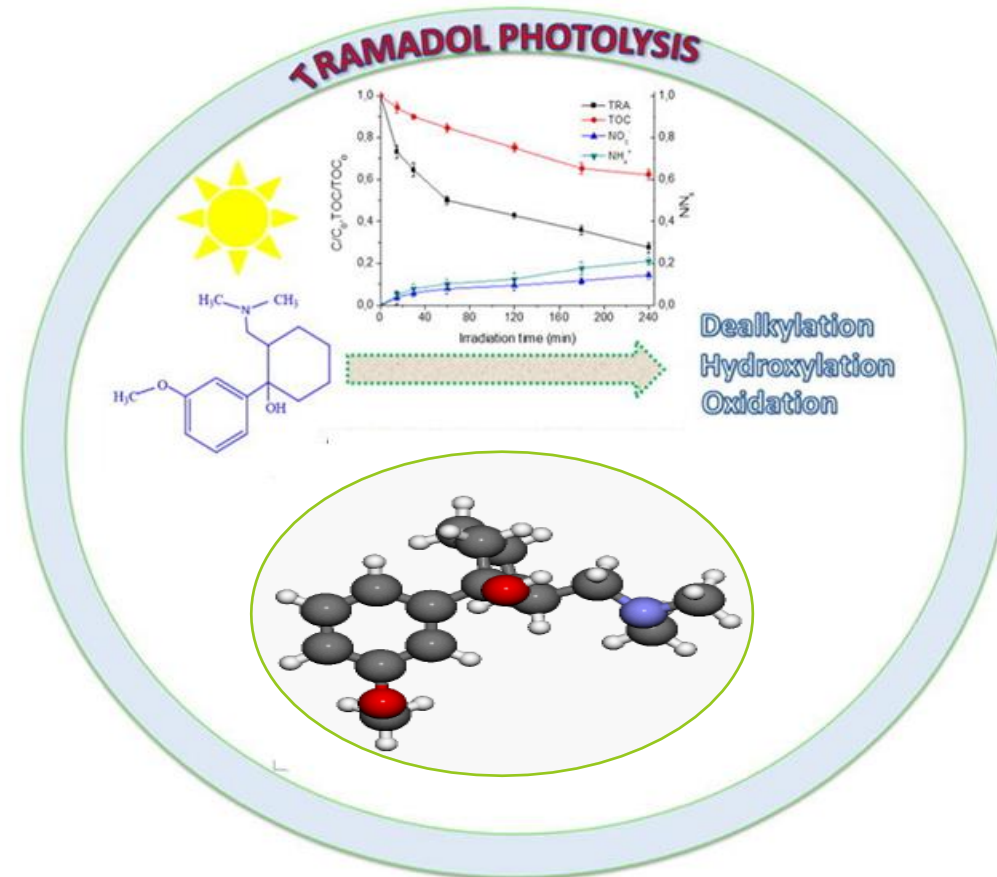
ABSTRACT

Tramadol (TRA) is a widely used human pharmaceutical and a well-established emerging pollutant and its potential genotoxic and cytotoxic effects on humans as well as its fate in aqueous systems demand full investigation. The present study is a multidisciplinary approach and provides important insights on the potential risks of Tramadol on humans accompanied by its photolytic transformation under simulated solar irradiation. The present study revealed that Tramadol can induce genotoxic and cytotoxic effects under the specific experimental conditions, significantly depended on the tested concentration. In addition, the photolytic transformation of Tramadol was investigated in detail under simulated solar irradiation in two different water matrices: ultrapure water (UW) and treated wastewater (WW). Differences in the degradation rates were observed between UW and WW, being slower in WW. The results showed that more than 70% of Tramadol was removed after 240 min in UW ([TRA] = 10 mg L⁻¹, I = 500 W m⁻²). After this period, TOC removal was found to be about 40%. Transformation of N atoms into NO₃⁻ and NH₄⁺ followed a similar trend reaching up to 38% release. Tramadol degraded mainly by HO[•] radicals and ¹O₂ through a self-sensitizing process while direct photolysis was also significant. Hydroxylation, demethylation and N-oxidation of the parent compound were found to be the main degradation pathways confirming the important role of HO[•] and ¹O₂ in the photolytic process. Toxicity measurements showed a noticeable increase of the inhibition for *Vibrio fischeri* at the first stages which coincide with the formation of the major TPs.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

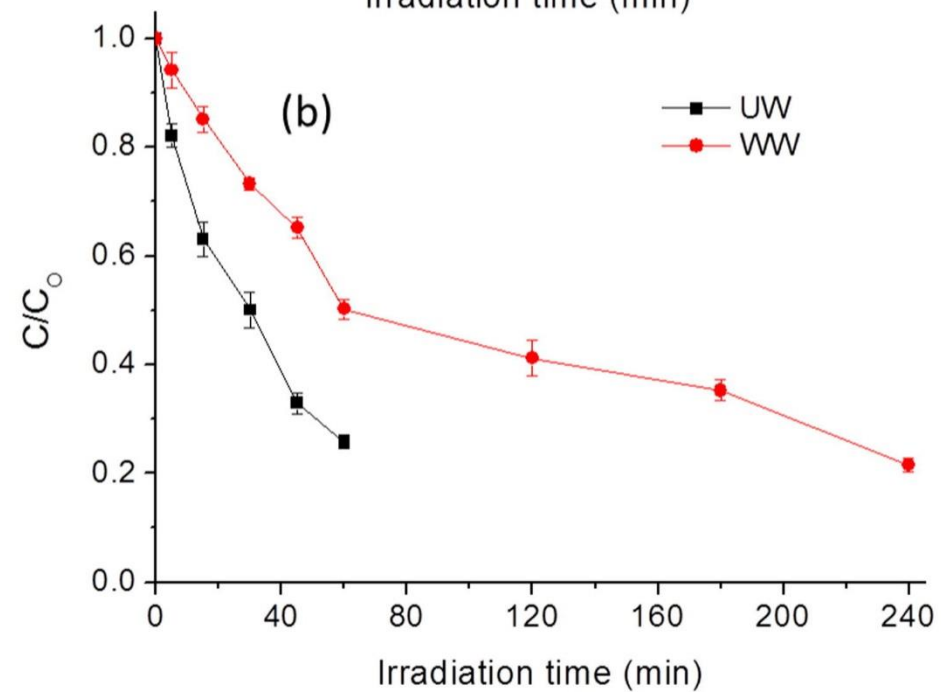
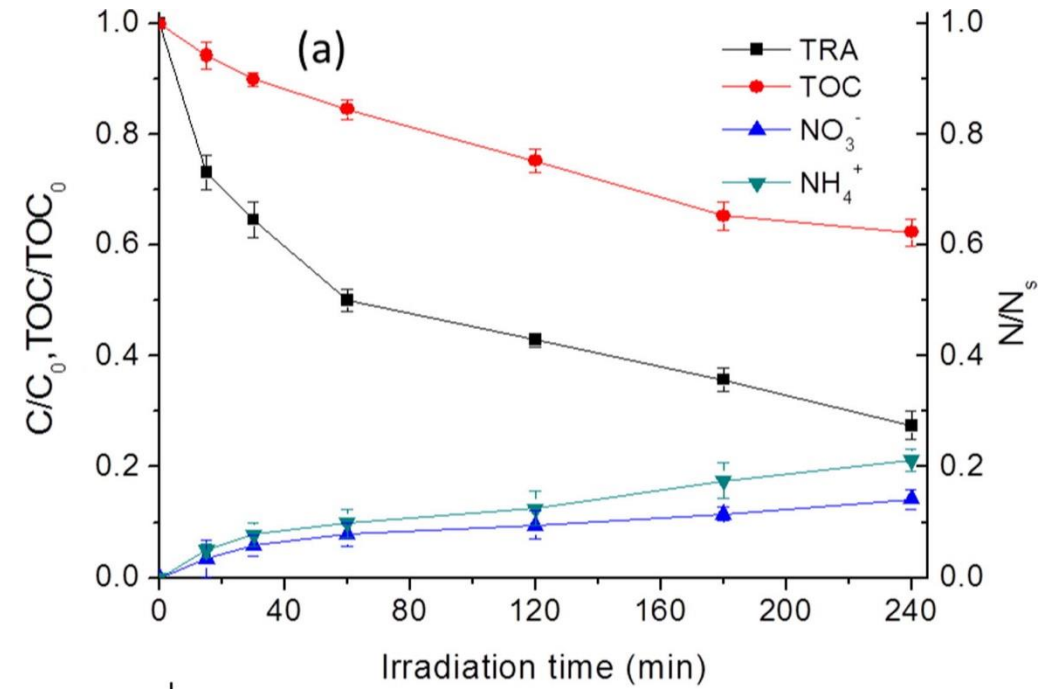
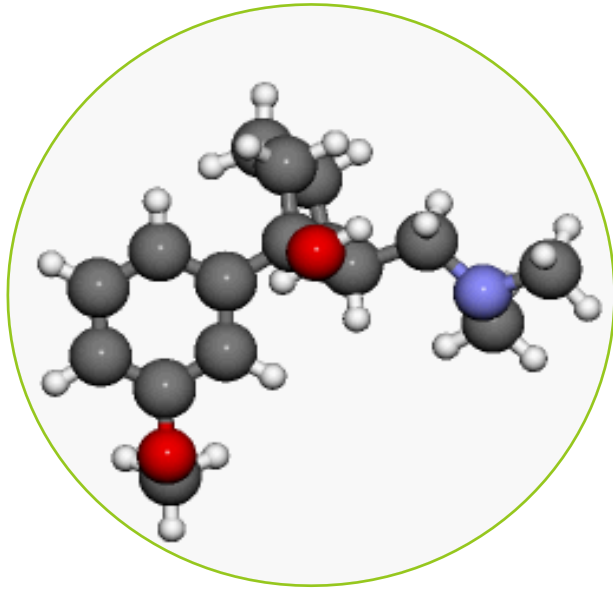
* Corresponding author at: Department of Environmental Engineering, University of Patras, Agrinio, 30100, Greece.
E-mail address: mantonop@upatras.gr (Maria Antonopoulou).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135396>
0048-9697/© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

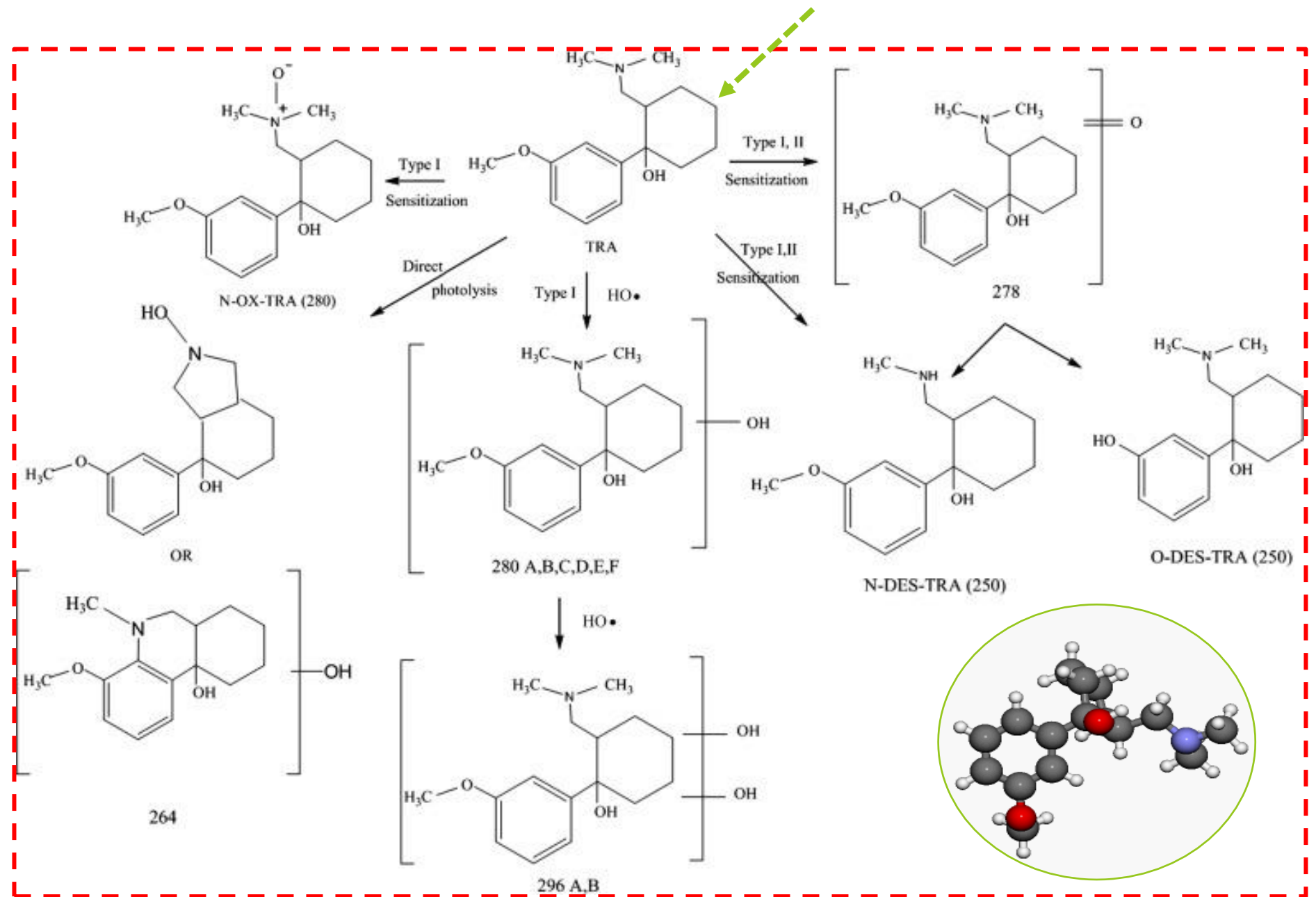


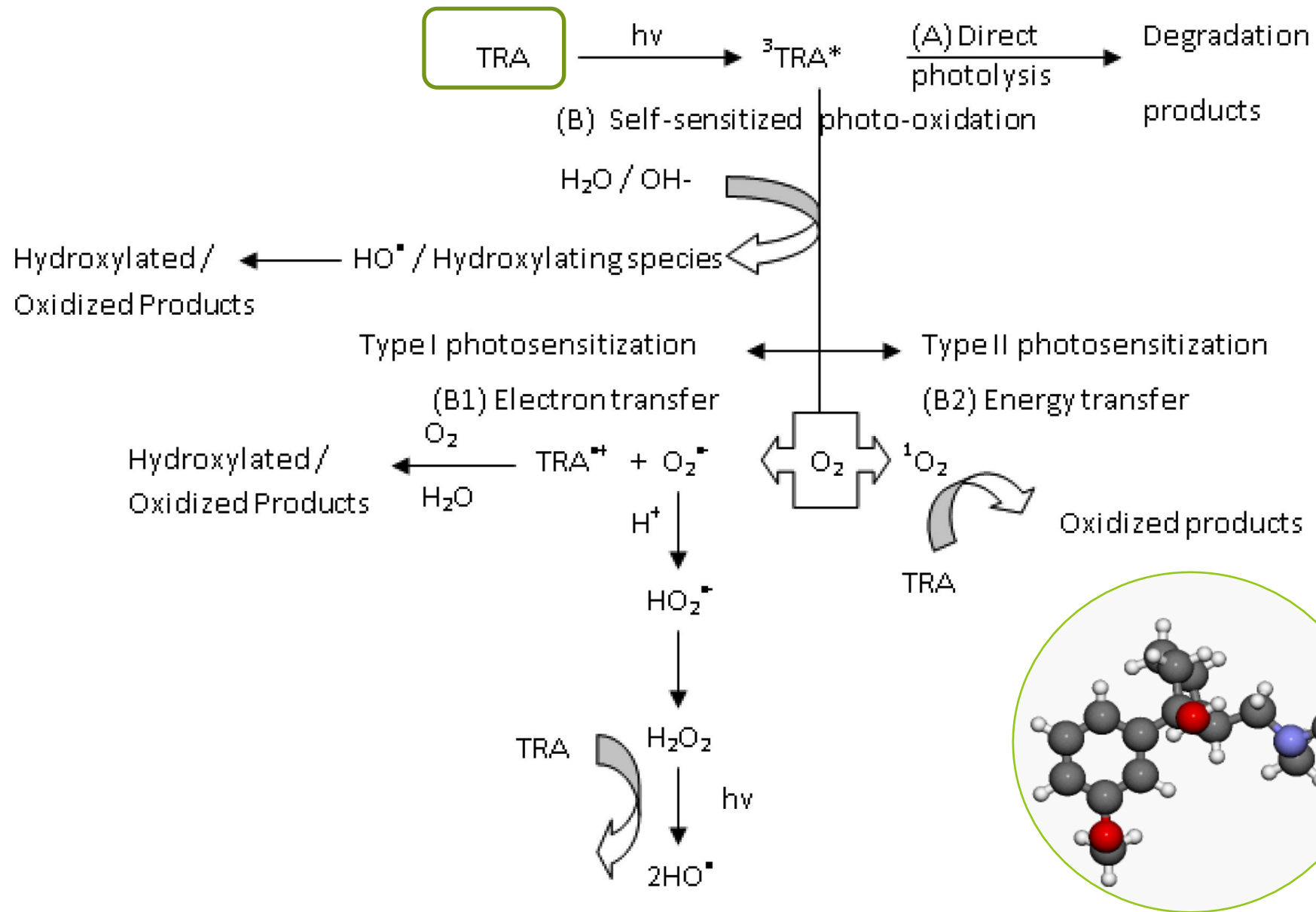
M. Antonopoulou, A. Thoma, F. Konstantinou, D. Vlastos, D. Hela, Assessing the human risk and the environmental fate of pharmaceutical Tramadol, Science of The Total Environment, 710, 2020

Κινητική της φωτολυτικής αποικοδόμησης του Tramadol

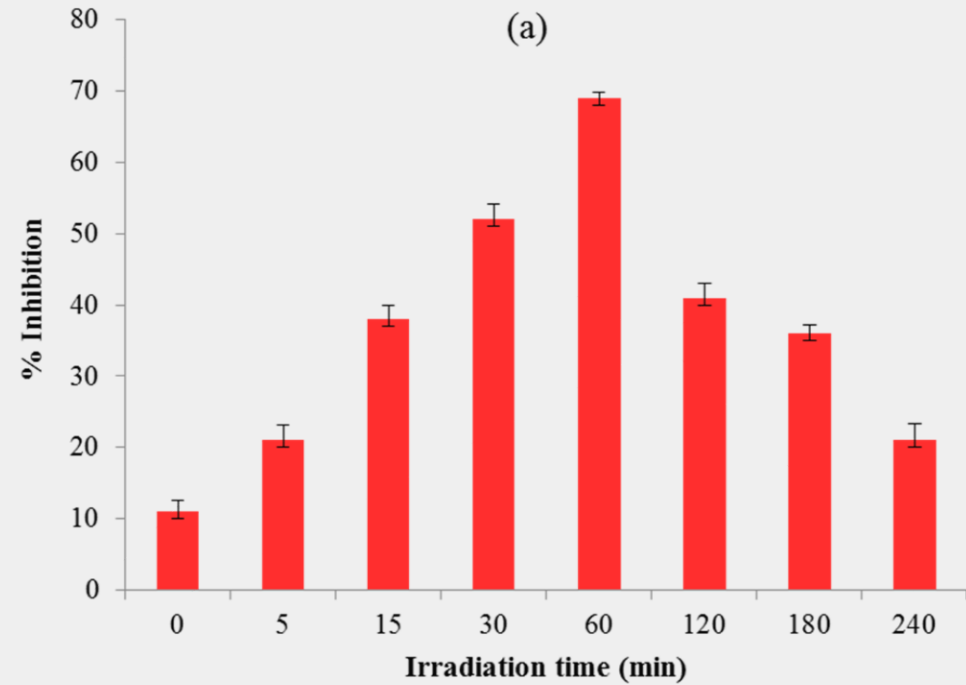
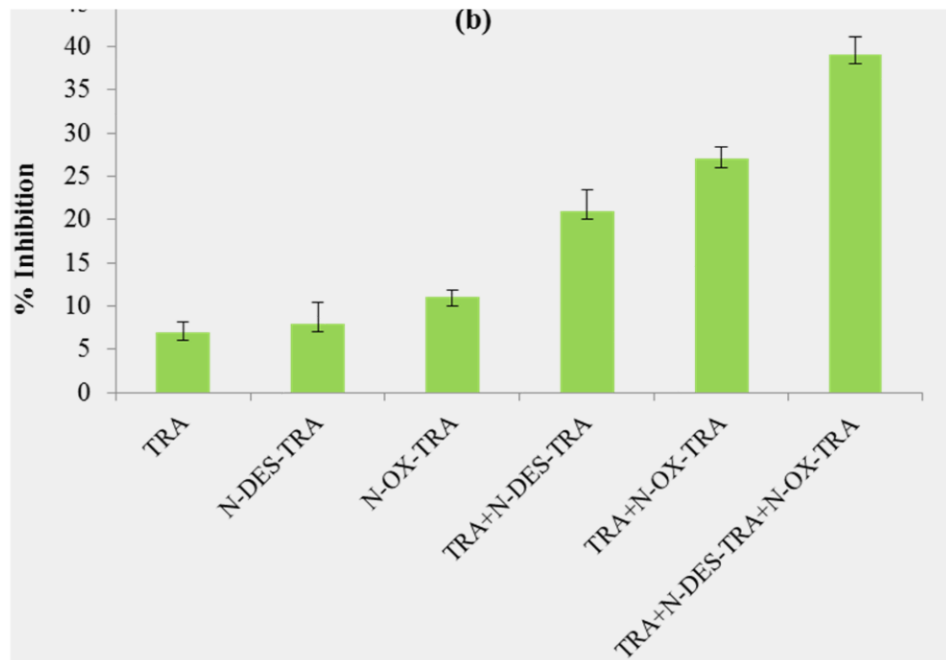


ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΦΩΤΟΔΙΑΣΠΑΣΗΣ & ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ

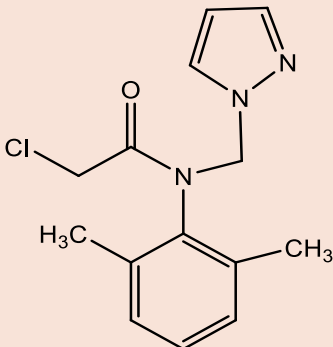
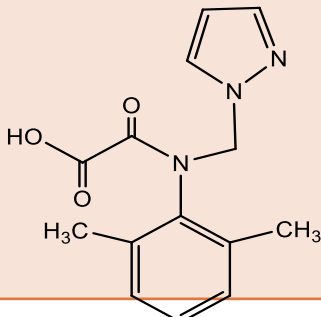


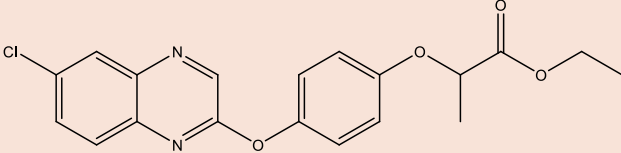
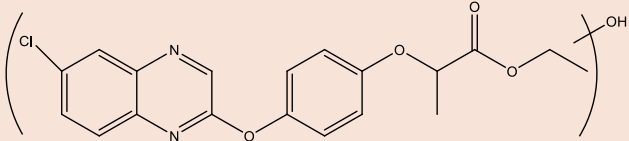
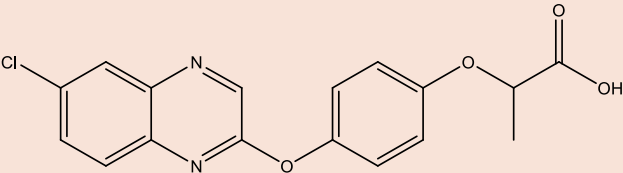
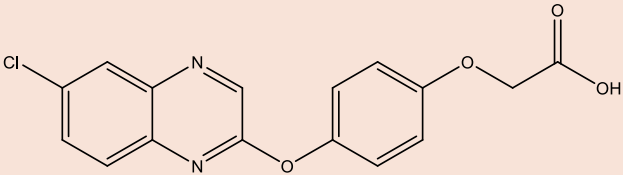


Μεταβολή της % αναστολής της βιοφωταύγειας
Aliivibrio fischeri
σε συνάρτηση με το χρόνο ακτινοβόλησης.



Μεταβολή της % αναστολής της βιοφωταύγειας *Aliivibrio fischeri* μεμονομένων ενώσεων και μιγμάτων.

Ion elemental composition	Structure
$\text{C}_{14}\text{H}_{17}\text{ClN}_3\text{O}^+$	Metazachlor 
$\text{C}_{14}\text{H}_{16}\text{N}_3\text{O}_3^+$	Metazachlor oxalic acid N-(2,6-dimethylphenyl)-N-(1H-pyrazol-1-ylmethyl)oxalamide 

Elemental composition	Structure
$C_{19}H_{18}ClN_2O_4^+$	Quizalofop-p-ethyl 
$C_{19}H_{18}ClN_2O_5^+$	Hydroxy-quizalofop-p-ethyl 
$C_{17}H_{14}ClN_2O_4^+$	Quizalofop-p-acid 
$C_{16}H_{12}ClN_2O_4^+$	Demethylated-Quizalofop-p-acid 

Mantzou N., Hela D., Karakitsou A., **Antonopoulou M.**, Konstantinou I.K., Dissipation and runoff transport of metazachlor herbicide in rapeseed cultivated and uncultivated plots in field conditions, Environmental Science Pollution Research.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Antonopoulou, M., A. Thoma, F. Konstantinou, D. Vlastos, D. Hela, Assessing the human risk and the environmental fate of pharmaceutical Tramadol, Science of The Total Environment, 710, 2020
- Farré M. la, Sandra Pérez, Lina Kantiani, Damiá Barceló, Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment, Trends in Analytical Chemistry, 27(11) (2008) 991-1007.
- Mantzou N., Hela D., Karakitsou A., Antonopoulou M., Konstantinou I.K., Dissipation and runoff transport of metazachlor herbicide in rapeseed cultivated and uncultivated plots in field conditions, Environmental Science Pollution Research.
- Sijm D.T.H.M., Rikken M.G.J., Rorije E., Traas T.P., McLachlan M.S., Peijnenburg W.J.G.M., Transport, Accumulation and Transformation Processes, Risk Assessment of Chemicals, pp 73-158, 2007, Editors: C.J. van Leeuwen, T.G. Vermeire
- ΑΛΜΠΙΑΝΗΣ Τ., ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ,
- ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΑΚΗΣ Ι., ΧΕΛΑ Δ., ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Ι., ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2010
- ΦΥΤΙΑΝΟΣ Κ., ΣΑΜΑΡΑ- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Κ., ΧΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ , UNIVERSITY STUDIO PRESS, 2009.



Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!!!