



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transilvania University of Braşov

i.manciulea@unitbv.ro, lucia.d@unitbv.ro



INTRODUZIONE

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) costituiscono una vasta classe di composti organici, contaminanti persistenti per l'ambiente, con strutture specifiche e varia tossicità, contenenti due o più anelli aromatici fusi. Centinaia di singoli IPA sono rilasciati nell'ambiente da processi sia antropogenici (dalla combustione incompleta o pirolisi di materia organica) o da processi naturali (incendi boschivi, eruzioni vulcaniche e sintesi e degradazione biologica della biomassa). Poiché gli IPA sono rilevati nell'aria, nel suolo, nell'acqua e nella combustione, la pirolisi e i processi biologici della materia organica si verificano ovunque, gli IPA sono considerati onnipresenti nell'ambiente (Baklanov et al., 2007), (WHO, 2003).

FONTI DI IPA

Gli (IPA) sono formati da processi pirogeni, petrogenici e biologici.

- (a) Gli IPA pirogeni si formano quando la materia organica è esposta a temperature elevate (350°C -1200°C) in condizioni di ossigeno ridotto o senza ossigeno. Esempi di processi pirogeni sono: il *cracking* termico dei residui di petrolio in idrocarburi più leggeri, la distillazione del carbone, la combustione incompleta dei combustibili nei sistemi di riscaldamento, i carburanti nelle auto e camion e del legno negli incendi boschivi e nei caminetti, ecc. Gli IPA pirogenici sono generalmente trovati in maggiori concentrazioni nelle aree urbane e in luoghi vicini a grandi fonti di IPA (processi industriali, incenerimento per generazione di energia industriale, ecc.) e piccole fonti di IPA (emissioni automobilistiche, fumo di sigarette, stufe a legna, scarichi di aerei a reazione, fanghi di depurazione, ecc.) (Shafy e Mansour, 2013). La combustione incompleta, sia naturale che derivata da

fattori antropogenici, è stata identificata come il singolo maggior contributore di IPA all'ambiente (Zhang e Tao, 2009).

- (b) (b) Gli IPA petrogenici sono oli grezzi formati su milioni di anni a basse temperature (100-1500 °C) e durante le attività di trasporto, stoccaggio e uso di petrolio greggio / prodotti petroliferi grezzi, accumulo di piccole emissioni di benzina, olii per motori e sostanze associate al trasporto, la combustione incompleta di sostanze organiche.
- (c) Le fonti naturali di IPA sono incendi boschivi, vulcani, sintesi di batteri e alghe, infiltrazioni di petrolio e decomposizione della biomassa (Shafy and Mansour, 2013; CCME, 2010).

Fonti stazionarie hanno prodotto circa l'80% delle emissioni totali annue di IPA; il resto è prodotto da fonti mobili (residui di motori di veicoli a benzina e diesel, ecc.). Le emissioni di IPA rilasciate dalla produzione industriale non sono importanti se confrontate con gli IPA prodotti da processi di combustione incompleti, in cui vengono utilizzati sistemi chiusi e processi di riciclaggio. Nuovi composti aromatici eterociclici (carbazolo, acridina), così come i derivati di IPA, come i nitro-PAH e gli IPA ossigenati possono essere generati da una combustione incompleta e da reazioni chimiche nell'aria dell'ambiente. Questi composti si definiscono IPA in aria, acqua e cibo e la miscela totale è indicata come composti policiclici aromatici (PAC) (IARC, 2010).

Alcuni IPA sono usati come materie prime:

- Acenaphthene: produzione di pigmenti, coloranti, plastica, pesticidi, prodotti farmaceutici.
- Antracene: diluente per preservanti del legno e produzione di coloranti e pigmenti.
- Fluorantene: produzione di prodotti chimici per l'agricoltura, coloranti e prodotti farmaceutici. Fluoro: produzione di prodotti farmaceutici, pigmenti, coloranti, pesticidi e plastica termoindurente.
- Phenanthrene: produzione di resine e pesticidi.
- Pirene: produzione di pigmenti.
- Le riduzioni delle emissioni di IPA si sono verificate dagli anni '50, con l'introduzione delle prime politiche sull'aria pulita. Al momento, la legislazione

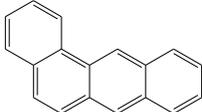
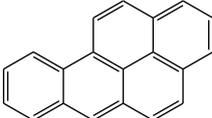
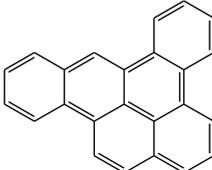
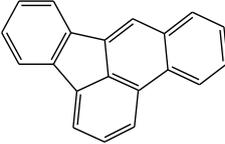
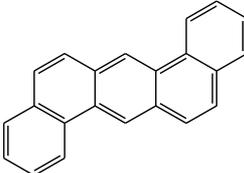
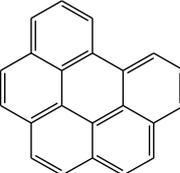
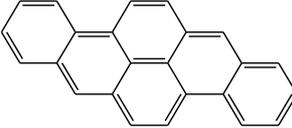
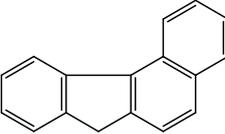
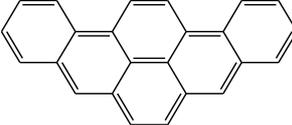
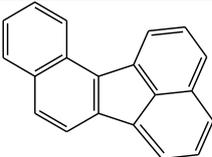
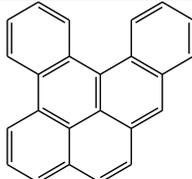
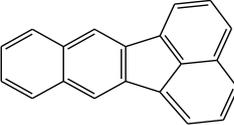
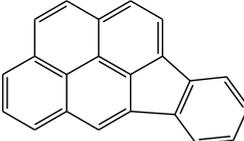
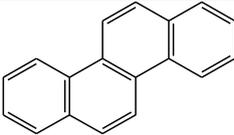
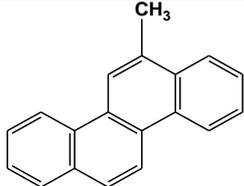
sulle concentrazioni di IPA ammissibili nell'aria, combinata con la legislazione che vieta la combustione incontrollata di rifiuti industriali e agricoli, ha continuato a ridurre le concentrazioni di IPA nell'aria ambiente. Tuttavia, nei paesi in via di sviluppo (Cina, India, Brasile, Sudan, ecc.) Dove la biomassa e il carbone sono le fonti energetiche dominanti, le concentrazioni di IPA sono ancora troppo elevate (IARC, 2010; Kim et al., 2013).

STRUTTURA CHIMICA DEGLI IPA

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono un ampio gruppo di composti organici composti da due o più anelli benzenici legati in strutture lineari, a grappolo o angolari. I più importanti idrocarburi policiclici aromatici policiclici (IPA) sono raccolti nella Tabella 1.

A seconda del numero di anelli di benzene gli IPA sono classificati come: composti a basso peso molecolare composti da meno di quattro anelli aromatici e composti ad alto peso molecolare di quattro o più anelli aromatici. Gli IPA con due o tre anelli (naftalene, acenaftene, antracene, fluorene, fenantrene) sono presenti nell'aria, prevalentemente nella fase vapore. Gli IPA con quattro anelli (fluorantene, pirene, crisene) esistono sia nella fase di vapore che in quella di particolato, e gli IPA che hanno cinque o più anelli benzo [g, h, i] perilene, ecc. Si trovano prevalentemente nella fase particellare. Le molecole più piccole, come benzene, toluene e idrocarburo aromatico bicarbonato naftalenico non sono considerate veri IPA. Gli IPA carcinogeni più potenti ampiamente studiati sono il 7,12-dimetilbenzoantracene (DMBA) e il benzo(a)pirene (BaP) (CCME, 2010; Shafy e Mansour, 2013).

Tabella 1. The most important polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

Nome (acronimo)	Formule	Nome (acronimo)	Formule
benzo[a]anthracene (BaA)		ciclopenta[c,d]pyrene (CPP)	
benzo[a]pyrene (BaP)		dibenzo[a,e]pyrene (DeP)	
benzo[b]fluoranthene (BbF)		dibenzo[a,h]anthracene (DhA)	
benzo[g,h,i]perylene (BgP)		dibenzo[a,h]pyrene (DhP)	
benzo[c]fluorene (BcL)		dibenzo[a,i]pyrene (DiP)	
benzo[j]fluoranthene (BjF)		dibenzo[a,l]pyrene (DiP)	
benzo[k]fluoranthene (BkF)		indeno[1,2,3-cd]pyrene (IcP)	
Chrysene (CHR)		5-metilcrysene (5-MC)	

Tra le centinaia di composti chimicamente correlati, persistenti dal punto di vista ambientale, un numero di 33 IPA individuali (presentato nella Tabella 2) è stato selezionato dal Comitato scientifico dell'alimentazione, in base alla loro distribuzione e agli effetti tossici, come i rischi per la salute umana (IPA negli alimenti 2002).

Tabella 2 IPA che presentano rischi per la salute umana

Nome	Nome CAS	No. Registro CAS	Acronimo
Acenaphthene	Acenaphthylene	83-32-9 AC	AC
Acenaphthylene	Acenaphthylene, 1,2-dihydro	208-96-8	ACL
Anthanthrene	Dibenzo[def,mno]chrysene	191-26-4	ATR
Anthracene	Anthracene	120-12-7	AN
Benz[a]anthracene	Benz[a]anthracene	56-55-3	BaA
Benzo[a]fluorene	11 H-Benzo[a]fluorene	238-84-6	BaFL
Benzo[b]fluorene	11 H-Benzo[b]fluorene	243-17-4	BbFL
Benzo[b]fluoranthene	Benz[e]acephenanthrylene	205-99-2	BbFA
Benzo[ghi]fluoranthene	Benzo[ghi]fluoranthene	203-12-3	BghiF
Benzo[j]fluoranthene	Benzo[j]fluoranthene	205-82-3	BjFA
Benzo[k]fluoranthene	Benzo[k]fluoranthene	207-08-9	BkFA
Benzo[ghi]perylene	Benzo[ghi]perylene	191-24-2	BghiP
Benzo[c]phenanthrene	Benzo[c]phenanthrene	195-19-7	BcPH
Benzo[a]pyrene	Benzo[a]pyrene	50-32-8	BaP
Benzo[e]pyrene	Benzo[e]pyrene	192-97-2	BeP
Chrysene	Chrysene	218-01-9	CHR
Coronene	Coronene	191-07-1	COR
Cyclopenta[cd]pyrene	Cyclopenta[cd]pyrene	27208-37-3	CPP
Dibenz[a,h]anthracene	Dibenz[a,h]anthracene	53-70-3	DBahA
Dibenzo[a,e]pyrene	Naphtho[1,2,3,4-def]chrysene	192-65-4	DBaeP
Dibenzo[a,h]pyrene	Dibenzo[b,def]chrysene	189-64-0	DBahP
Dibenzo[a,i]pyrene	Benzo[rs]pentaphene	189-55-9	DBaiP
Dibenzo[a,l]pyrene	Dibenzo[def,p]chrysene	191-30-0	DBalP
Fluoranthene	Fluoranthene	206-44-0	FA
Fluorene	9H-Fluorene	86-73-7	FL
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Indeno[1,2,3-cd]-pyrene	193-39-5	IP
5-Methylchrysene	Chrysene, 5-methyl-	3697-24-3	5-MCH
1-Methylphenanthrene	Phenanthrene, 1-methyl-	832-69-9	1-MPH
Naphthalene	Naphthalene	91-20-3	NA
Perylene	Perylene	198-55-0	PE
Phenanthrene	Phenanthrene	85-01-8	PHE
Pyrene	Pyrene	129-00-0 P	Y

Triphenylene	Triphenylene	217-59-4	TRI
--------------	--------------	----------	-----

Fonte: PAHs in food 2002 - Opinion of SCF on the risks to human health
http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html

PROPRIETÀ FISICOCHIMICHE DEGLI IPA

Gli IPA puri sono solitamente solidi cristallini colorati a temperatura ambiente (Masih et al., 2012). Le caratteristiche generali degli IPA sono: punti di fusione e di ebollizione elevati, bassa pressione di vapore e solubilità acquosa molto bassa. Le proprietà fisiche e chimiche di alcuni IPA selezionati sono presentate nella Tabella 3.

Tabella 3. Proprietà fisicochimiche degli IPA

Composto	Punto di fusione (°C)	Punto di ebollizione (°C)	Pressione di vapore (Pa at 25 °C)	Partizione nOttanolo: acqua (Log Kow)	Solubilità in acqua a 25 °C (µg/litro)	Costante di Henry a 25°C (kPa)
Acenaphthylene	92-93	279	8.9×10^{-1}	4.07	-	1.14×10^{-3}
Acenaphthene	95	295	2.9×10^{-1}	3.92	3.93×10^3	1.48×10^{-2}
Fluorene	115–116	340	8.0×10^{-2}	4.18	1.98×10^3	1.01×10^{-2}
Phenanthrene	100.5	342	1.6×10^{-2}	4.6	1.29×10^3	3.98×10^{-3}
Anthracene	216.4	375	8.0×10^{-4}	4.5	73	7.3×10^{-2}
Fluoranthene	108.8	393	1.2×10^{-3}	5.22	260	6.5×10^{-4}
Pyrene	150.4	400	6.0×10^{-4}	5.18	135	1.1×10^{-3}
Benz[a]anthracene	160.7	448	2.8×10^{-5}	5.61	14	-
Chrysene	253.8	481	8.4×10^{-5}	5.91	2.0	-
Benzo[b]fluoranthene	168.3	480	6.7×10^{-5}	6.12	1.2 (20°C)	5.1×10^{-5}
Benzo[j]fluoranthene	165.4	480	2.0×10^{-6}	6.12	2.5	-
Benzo[k]fluoranthene	215.7	496	1.3×10^{-8}	6.84	0.76	4.4×10^{-5} (20 °C)
Benzo[a]pyrene	178.1	536	7.3×10^{-7}	6.50	3.8	3.4×10^{-5}
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	163.6	524	1.3×10^{-8}	6.58	62	2.9×10^{-5} (20 °C)
Dibenz[a,h]anthracene	266.6	594	1.3×10^{-8}	6.50	0.5 (27°C)	7×10^{-6}
Dibenzo[a,i]pyrene	282	525	3.2×10^{-10}	7.30	0.17	4.31×10^{-6}
Coronene	439		2×10^{-10}	-	5.4	0.14

Fonte: Joint WHO 2003

Le proprietà fisico-chimiche degli IPA variano considerevolmente con il loro peso molecolare e la loro struttura. La pressione di vapore degli IPA diminuisce all'aumentare del peso molecolare e la solubilità in acqua diminuisce all'aumentare del

peso molecolare. La resistenza alle reazioni di ossidazione e riduzione aumenta anche con la massa molecolare. Gli IPA sono altamente lipofili e quindi miscibili nei solventi organici (CMME, 2010). La solubilità acquosa diminuisce per ogni anello aggiuntivo aggiunto agli IPA e li rende altamente mobili in tutto l'ambiente, deposizione e rivolarizzazione che li distribuiscono tra aria, suolo e acqua. Una percentuale specifica di IPA determina il loro trasporto atmosferico a lungo raggio (LRAT). Una volta rilasciati nell'atmosfera, gli IPA si trovano in due fasi separate, una fase di vapore e una fase solida in cui gli IPA sono sorbetto su particelle. Gli IPA presentano anche sensibilità alla luce, resistenza al calore, resistenza alla corrosione e attività fisiologica (Masih et al., 2012). Gli IPA possiedono spettri di assorbanza UV molto caratteristici e la maggior parte degli IPA sono anche fluorescenti (Kim et al., 2013). Sebbene gli effetti sulla salute dei singoli IPA differiscano, alcuni IPA sono stati identificati come fonte di grande preoccupazione a causa di effetti altamente negativi sull'uomo.

PERSISTENZA E TRASFORMAZIONE DI IPA NELL'AMBIENTE

IPA NELL'ATMOSFERA

Il comportamento degli IPA nell'atmosfera dipende da complesse reazioni fisico-chimiche, interazioni con altri inquinanti, trasformazioni fotochimiche e depositi secchi e umidi (Zhong e Zhu, 2013). Gli IPA nell'aria ambiente esistono nella fase vapore o si adsorbono nel particolato atmosferico in base alle condizioni atmosferiche (temperatura, umidità, origine e proprietà degli aerosol) e alle proprietà degli IPA (Zhang e Tao, 2009). Gli IPA a basso peso (con due, tre o quattro anelli) esistono principalmente nella fase gassosa, sono meno tossici, ma sono in grado di reagire con altri inquinanti (ozono, ossidi di azoto e biossido di zolfo) per formare composti ad elevata tossicità (diones, nitro- e dinitro-PAH, acido solforico). Gli IPA con quattro o più anelli hanno una vaporizzazione insignificante in condizioni ambientali e si verificano principalmente nella fase particellare nell'atmosfera. Le concentrazioni di IPA nella fase gassosa aumentano in estate/nelle regioni tropicali e gli IPA in fase particellare sono dominanti durante l'inverno nelle regioni artiche. L'adsorbimento di IPA sulle fasi particellari dipende dall'umidità e dai tipi di particolato sospeso (ad esempio fuliggine, polvere, ceneri volanti, ossidi metallici, pollini, ecc.) (Lai et al., 2011; Kim et al., 2013).

IPA NEL SUOLO E NELL'ACQUA

Gli IPA atmosferici vengono depositati continuamente sulla superficie terrestre mediante processi di deposizione asciutti o bagnati. Gli IPA depositati sulla superficie terrestre possono diventare mobili e legati alle particelle del suolo, processo

influenzato dalla mobilità delle particelle di PAH nel suolo, dalle dimensioni delle particelle e dalle dimensioni dei pori del terreno. Gli studi hanno rilevato che il coefficiente di ripartizione dell'ottanolo-acqua degli IPA è importante per determinare il loro assorbimento al suolo. Poiché il coefficiente di ripartizione ottanolo-acqua (K_{ow}) è correlato alla solubilità di un composto organico in acqua, all'aumentare della K_{ow} , la solubilità acquosa diminuisce e la tendenza degli IPA per assorbimento ad un particolare terreno aumenta. Gli IPA rilasciati nell'atmosfera sono trasportati a breve e a lungo raggio e rimossi mediante deposizione umida e secca su suolo, acqua e vegetazione. Nell'acqua di superficie, gli IPA possono volatilizzarsi, fotolizzarsi, biodegradare o legarsi a particelle o sedimenti sospesi. Il tempo di residenza atmosferica e la distanza di trasporto dipendono dalla dimensione delle particelle a cui vengono adsorbiti gli IPA e dalle condizioni climatiche. Circa il 90-95% degli IPA particolati sono associati a diametri di particelle $<3,3 \mu\text{m}$. Le particelle con un intervallo di diametro di $0,1-3,0 \mu\text{m}$, a cui sono associati principalmente i PAH aerodispersi, presentano i tempi di residenza atmosferica di alcuni giorni e possono subire ILRT (Shafy e Mansour, 2013; CCME, 2010). Gli organismi acquatici che metabolizzano gli IPA in misura limitata o nulla (alghe, molluschi) e gli invertebrati più primitivi (protozoi, poriferi e cnidari) accumulano alte concentrazioni di IPA, come ci si aspetterebbe dai loro valori di $\log K_{ow}$. Gli organismi che metabolizzano gli IPA in larga misura (pesci, invertebrati più alti), accumulano pochi o nessun IPA. La concentrazione di IPA nella vegetazione è generalmente inferiore a quella nel suolo, i fattori di bioaccumulo vanno da 0,0001 a 0,33 per BaP e da 0,001 a 0,18 per altri 17 IPA testati. La biomagnificazione degli IPA non è stata osservata nei sistemi acquatici perché la maggior parte dei microrganismi ha un potenziale di biotrasformazione elevato per gli IPA. Gli organismi a più alti livelli trofici nelle catene alimentari mostrano il più alto potenziale di biotrasformazione (WHO 2003, IARC, 2010). La fotolisi è il fattore più importante nel decadimento degli IPA a particelle nell'atmosfera, nell'acqua e nel suolo. Le emivite nell'aria sono stimate in un intervallo compreso tra pochi minuti e una settimana, come determinato dalla stagione (più lunga in inverno), dalle sostanze e dalla composizione delle particelle (WHO, 2003). Gli IPA nel suolo possono volatilizzarsi, subire degradazione abiotica (fotolisi e ossidazione), biodegradarsi, accumularsi nelle piante o entrare nelle falde acquifere e essere trasportati all'interno della falda acquifera. Sulla base dei risultati sperimentali, sono state stimate le emivite (giorni) degli IPA nel suolo (Tabella 4).

Tabella 4 Emivite (giorni) degli IPA nel suolo

Composto	Emivite stimate (giorni)
Naphthalene	2.1–2.2
Anthracene	10–134
Phenanthrene	16–35
Fluoranthene	268–377

Pyrene	199–260
Chrysene	371–387
Benzo[a]pyrene	229–309

Source: WHO, 2003

ESPOSIZIONE UMANA AGLI IPA

Le vie di esposizione includono (a) ingestione di alimenti contenenti IPA, (b) inalazione di aria ambiente e aria interna, fumo o inalazione di fumo da caminetti aperti, (c) contatto cutaneo in esposizione professionale e non professionale. Il fumo di tabacco contiene una varietà di IPA, come il benzo(a)pirene, e più di 40 cancerogeni umani noti o sospetti. Alcune colture (grano, segale e lenticchie) possono sintetizzare gli IPA o assorbirli via acqua, aria o suolo. L'acqua può anche contenere determinate quantità di IPA perché questi inquinanti possono filtrare dal terreno in acqua o possono entrare in acqua dagli effluenti industriali. Il suolo contiene anche IPA, da ricaduta aerea. A causa dell'alta lipofilia degli IPA, la loro presenza nell'organismo dopo ingestione/inalazione è rilevabile negli organi interni ricchi di tessuto adiposo. Questi organi possono fungere da depositi di stoccaggio dai quali è possibile rilasciare gradualmente gli IPA. Gli IPA sono entrati nell'organismo determinando un'attivazione metabolica multistep da parte di enzimi specifici del sistema ossidasi, che catalizzava la prima reazione di epossidazione. Gli epossidi di IPA possono quindi essere coniugati con glutatione ed eseguire una reazione di disintossicazione. Gli epossidi che non sono coniugati con il glutatione vengono convertiti in fenoli e dioli che devono essere coniugati con acidi glucuronici o solforici per consentire l'escrezione (WHO, 2003; IARC, 2010; Kim et al., 2013).

IPA NEGLI ALIMENTI

I cibi crudi non dovrebbero in genere contenere alti livelli di IPA. Nelle aree lontane dalle attività urbane o industriali, i livelli di IPA trovati negli alimenti non trasformati riflettono la contaminazione di fondo. Questi IPA di fondo di solito provengono da trasporti aerei a lunga distanza di particelle contaminate, nonché da emissioni naturali di vulcani e incendi boschivi. Nelle vicinanze di aree industriali o lungo le autostrade, la contaminazione della vegetazione può essere dieci volte superiore rispetto alle aree rurali. La lavorazione del cibo mediante essiccazione e affumicatura e la cottura di alimenti ad alte temperature (grigliare, arrostitire, friggere) sono le principali fonti che generano livelli di IPA e sono stati segnalati livelli di 130 g/kg nella carne alla griglia e 200 µg/kg di IPA nel pesce affumicato e nella carne. Generalmente, i valori medi di fondo sono compresi nell'intervallo 0,01-1 µg/kg nei cibi non cotti. L'insorgenza di IPA negli alimenti è regolata dagli stessi fattori fisici (solubilità relativa di IPA in acqua e solventi organici) che ne determinano l'assorbimento e distribuzione negli organismi viventi. La solubilità determina la loro capacità di trasporto e distribuzione tra i diversi

compartimenti ambientali e il loro assorbimento e accumulo da parte degli organismi viventi. Il trasporto di IPA nell'atmosfera è influenzato dalla loro volatilità. La reattività chimica degli IPA influenza l'assorbimento del materiale organico o la degradazione nell'ambiente. Tutti questi fattori determinano la persistenza e la capacità degli IPA di bioaccumulo nella catena alimentare (IPA negli alimenti, 2002, (CCME, 2010; Shafy e Mansour, 2016).

EFFETTIA SULLA SALUTE UMANA

La tossicità degli IPA per gli organismi acquatici dipende dal loro metabolismo e dalle reazioni di foto-ossidazione. Gli IPA sono generalmente più tossici in presenza di radiazioni UV e hanno una tossicità acuta da moderata ad elevata per la vita acquatica e gli uccelli. I mammiferi possono assorbire gli IPA attraverso varie vie (inalazione, contatto cutaneo, ingestione). Le piante possono assorbire gli IPA dai terreni attraverso le loro radici e trasferirli in altre parti della pianta. I tassi di assorbimento dipendono generalmente dalla loro concentrazione, idrosolubilità, stato fisico-chimico e tipo di suolo. Gli effetti nocivi sugli organismi viventi includono tumori, riproduzione, sviluppo e immunità. I dati relativi agli effetti fitotossici indotti da IPA sono limitati.

Carcinogenicità

Il monitoraggio biologico dell'esposizione agli IPA è di interesse primario, a causa della loro tossicità e della diffusa diffusione di questi composti nell'ambiente. Una delle principali preoccupazioni è la capacità dei metaboliti reattivi (epossidi e diidrodioli), di alcuni IPA, di legarsi alle proteine cellulari e al DNA, portando a mutazioni, malformazioni, tumori e cancro. Gli studi a lungo termine indicano che i lavoratori esposti agli IPA hanno mostrato un aumento del rischio di tumori della pelle, dei polmoni e del tratto gastrointestinale. Il benzo(a)pirene è il primo cancerogeno chimico scoperto e l'IPA più comune causa di cancro negli animali. Sulla base di studi scientifici, un numero di IPA sono classificati come cancerogeni per gli animali e alcune miscele di IPA sono classificate come cancerogene per l'uomo (IARC, 2010). L'agenzia statunitense EPA classificò i seguenti sette composti IPA: benz (a) antracene, benzo (a) pirene, benzo (b) fluorantene, benzo (k) fluorantene, crisene, dibenz (ah) antracene e indeno (1,2, 3-cd) pirene come probabile cancerogeno per l'uomo. (Zhang and Tao, 2009).

BIBLIOGRAFIA



1. Baklanov A, Hänninen O, Slørdal LH, Kukkonen J, Bjergene N, Fay B, et al. Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. *Atmos Chem Phys* 2007;7.
2. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: scientific criteria document. CCME: Winnipeg: 2010.
3. IARC (International Agency for Research on Cancer), Some non-heterocyclic PAHs and some related exposures, *Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 92 (2010)
4. Joint WHO, 2003. Risks of Persistent Organic Pollutants From Long-Range-Transboundary Air Pollutants. Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution.
5. Kim, Ki-Hyun, Jahan, Shamin Ara, Kabir Ehsanul, Brown, Richard J.C.
6. Lai IC, Lee CL, Zeng KY, Huang HC. Seasonal variation of atmospheric PAHs along the Kaohsiung coast, *Journal of Environmental Management*, 2011.
7. Masih J, Singhvi R, Kumar K, Jain VK, Taneja A. Seasonal variation and sources of PAHs indoor and outdoor air in a semi arid tract of Northern India. *Aerosol Air Qual Res* 2012 .
8. *PAHs in food 2002*. Opinion of the Scientific Committee of Food on the risks to human health of PAHs in food (2002). http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html.
9. Shafy Hussein, Mansour Mona S.M. *Egyptian Journal of Petroleum*. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation, 25, (2016).
10. WHO 2003. (World Health Organization). Polynuclear aromatic hydrocarbons in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality; 2003 [WHO/SDE/WSH/03.04/59].
11. Zhang Y, Tao S. Global atmospheric emission inventory of PAHs for 2004. *Atmospheric Environment*, 2009.

12. Zhong Y, Zhu L. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China. Sci Total Environ 2013.





**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

U. PORTO



**Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov**



**UNIVERZITA
KARLOVA**



ИКИТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665