



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

HIDROCARBURI AROMATICE POLICICLICE (HAP)

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transilvania University of Braşov

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



INTRODUCERE

Hidrocarburile aromatice policiclice (HAP) constituie o clasă de compuși organici cu două sau mai multe nuclee aromatice condensate, cu structuri specifice, persistenți în mediu și cu toxicitate variată. Sute de HAP-uri au fost eliberate în mediu, din procese atât *antropogene* (combustia/piroliza incompletă a materiei organice), *procesele naturale* (arderea vegetației/lemnului, erupții vulcanice) și procese biologice de biosinteză/biogradare a materiei organice. Deoarece HAP au fost detectate în aer, sol, apă și procesele biologice se produc pretutindeni în natură, HAP sunt considerate omniprezente în mediu. (Baklanov et al., 2007; WHO, 2003).

SURSE DE HAP

Hidrocarburile aromatice policiclice (HAP) se formează prin procese pirogenice, petrogenice și biologice.

- *HAP pirogenice* se formează când materia organică este expusă la temperaturi înalte (350⁰C -1200⁰C), în lipsa oxigenului sau în prezența de cantități reduse de oxigen. *Exemple de procese pirogenice:* cracarea termică a reziduurilor petroliere cu formare de hidrocarburi ușoare, distilarea cărbunelui, combustia incompletă a combustibililor în sistemele de încălzire, în motoarele autovehiculelor, arderea incompletă a lemnului forestier, în sisteme de încălzire, etc.
- *HAP pirogenice în concentrații mari* există în emisiile rezultate în zonele urbane și în apropierea surselor importante de HAP (procesele industriale, inclusiv cele generatoare de energie, procese de incinerare, etc.).
- *HAP pirogenice în concentrații mici* provin din emisiile rezultate din activitățile de transport (autovehicule, avioane, etc), fumat, soabele încălzite cu lemne, nămolul activ de la stațiile de epurarea apelor, etc.

(Shafy și Mansour, 2013). Combustia incompletă, atât cea naturală cât și cea antropogenică, reprezintă cel mai mare contributor de HAP în mediu (Zhang and Tao, 2009).

- *HAP Petrogenice* sunt reprezentate de petrolul brut, format timp de milioane de ani, la temperaturi scăzute (100–150⁰C), dar și HAP formate în timpul activităților de transport, depozitare și utilizare a petrolului brut sau a produselor de petrol, acumularea unor cantități mici de petrol, benzină, uleiuri de motor și substanțe asociate cu activitățile de transport, etc.
- *Sursele naturale de HAP* sunt reprezentate de procesele de ardere a lemnului/vegetației forestiere, erupțiile vulcanice, sinteze de bacterii sau de alge, exploatările petroliere și descompunerea biomasei (Shafy și Mansour, 2013; CCME, 2010).
- *Sursele staționare* produc aprox. 80% din totalul emisiilor de HAP; restul emisiilor sunt produse de *sursele mobile* (reziduuri de la utilizarea combustibililor benzină diesel, etc). Emisiile de HAP eliberate în producția industrială sunt mai puțin importante, comparativ cu HAP rezultate din procesele de combustie incompletă unde sunt utilizate sisteme închise și procese de reciclare. Noi compuși heterociclici aromatici (carbazoli, acridine), ca și derivați de HAP (nitro-HAP și HAP oxigenate pot fi generați prin combustia incompletă și prin reacții chimice care decurg în aerul ambiental. Acești compuși apar împreună cu HAP în aer, apă și alimente, amestecul total fiind denumit compuși policiclici aromatici (HAP) (IARC 2010).

Unele HAP sunt utilizate ca materii prime la sinteza unor materiale:

- Acenaften: sinteză de pigmenți, coloranți, mase plastice, pesticide, produse farmaceutice
- Antracen: diluant pentru agenții de bioprotecția lemnului și sinteza de coloranți și pigmenți
- Fluoranten: sinteza de produse chimice utilizate în agricultură, coloranți, produse farmaceutice

- Fluoren: sinteză de produse farmaceutice, pigmenți, coloranți, pesticide și mase plastice rezistente la temperatură
- Fenantren : sinteză de rășini și de pesticide
- Piren: sinteză de pigmenți.

Preocuparea pentru reducerea emisiilor de HAP a apărut încă din perioada anilor 1950, prin introducerea primelor politici care vizau depoluarea aerului. În prezent, legislația referitoare la concentrațiile de HAP permise în aer, combinată cu legislația care interzice arderea necontrolată a deșeurilor industriale și agricole, continuă să contribuie la reducerea concentrațiilor de HAP în aer. Totuși, în țările în curs de dezvoltare (China, India, Brazilia, Sudan, etc.) unde biomasa și cărbunile sunt sursele dominante de energie, concentrațiile de HAP sunt încă prea mari (IARC, 2010, Kim et al., 2013).

STRUCTURA CHIMICĂ A HAP

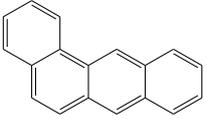
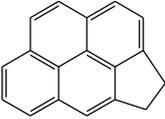
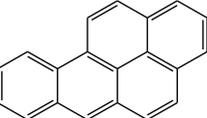
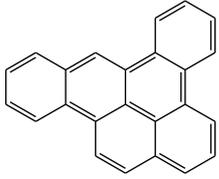
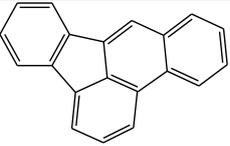
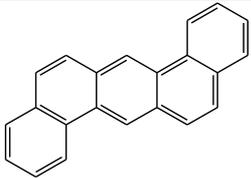
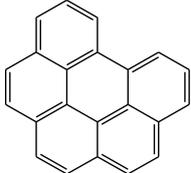
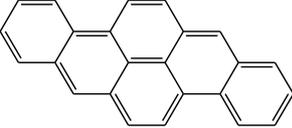
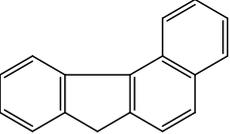
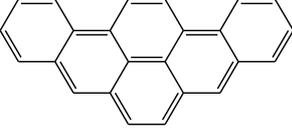
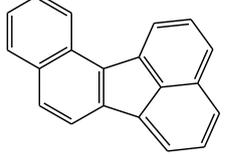
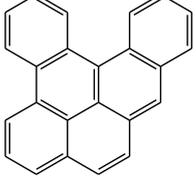
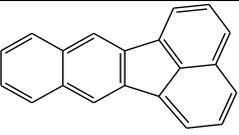
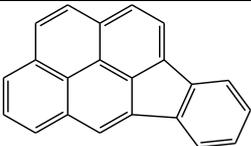
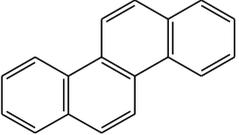
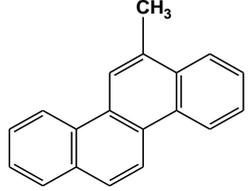
Hidrocarburile aromatice policiclice (HAP) constituie o clasă de compuși organici cu două sau mai multe nuclee benzenice condensate linear sau angular.

Cele mai importante hidrocarburi aromatice policiclice cancerigene sunt prezentate în Tabelul 1. Emisiile de hidrocarburi aromatice policiclice în atmosferă au un tranzit scurt sau lung și se pot acumula în depozite umede sau uscate.

În funcție de numărul nucleelor benzenice HAP sunt clasificate ca :

- *HAP cu masă moleculară mică* sunt cele care au în structură mai puțin de 4 nuclee aromatice
- *HAP cu masă moleculară mare* au în structură 4 sau mai multe nuclee aromatice
- HAP cu 2 sau 3 nuclee (naftalen, acenaften, antracen, fluoren, fenantren) sunt prezente în aer, predominant în fază de vapori
- HAP cu patru nuclee (fluoranten, piren, crisene) există atât în stare de vapori cât și în stare de particule

Tabelul 1. Exemple de hidrocarburi aromatice policiclice.

Denumire (acronim)	Formulă	Denumire (acronim)	Formulă
benzo[a]antracen (BaA)		ciclopenta[c,d]piren (CPP)	
benzo[a]piren (BaP)		dibenzo[a,e]piren (DeP)	
benzo[b]fluoranten (BbF)		dibenzo[a,h]antracen (DhA)	
benzo[g,h,i]perilen (BgP)		dibenzo[a,h]piren (DhP)	
benzo[c]fluoren (BcL)		dibenzo[a,i]piren (DiP)	
benzo[j]fluoranten (BjF)		dibenzo[a,l]piren (DiP)	
benzo[k]fluoranten (BkF)		indeno[c,d]piren (IcP)	
crisen (CHR)		5-metilcrisen (5-MC)	

- HAP cu 5 sau mai multe nuclee aromatice (benzo[*g,h,i*]perilen, etc.) sunt prezente predominant în stare de particule
- Moleculele mai mici (benzen, toluen, naftalină), nu sunt considerate drept HAP adevărate.
- Compușii din clasa HAP considerați cei mai puternici/potenți carcinogeni, studiați extensiv, sunt 7,12-dimetilbenzoantracen (DMBA) și benzo(a)piren (BaP) (CCME, 2010; Shafy and Mansour, 2013) Din cele câteva sute de compuși chimici persistenti, un număr de 33 de HAP (prezentați în Tabelul 2) au fost selectați de Comitetul Științific al Alimentației (pe baza răspândirii și a efectelor toxice) ca prezentând risc pentru sănătatea umană. (*PAHs in food 2002*).

Tabelul 2. HAP care prezinta risc pentru sanatatea umana

Denumire Comuna	Denumire CAS	Nr. Inregistrare CAS	Abreviere
Acenaften	Acenaftilen	83-32-9 AC	AC
Acenaftilen	1,2-dihidro acenaftilen,	208-96-8	ACL
Antantren	Dibenzo[<i>def,mno</i>]crisen	191-26-4	ATR
Antracen	Anthracen	120-12-7	AN
Benz[<i>a</i>]antracen	Benz[<i>a</i>]antracen	56-55-3	BaA
Benzo[<i>a</i>]fluoren	11 H-Benzo[<i>a</i>]fluoren	238-84-6	BaFL
Benzo[<i>b</i>]fluoren	11 H-Benzo[<i>b</i>]fluoren	243-17-4	BbFL
Benzo[<i>b</i>]fluoranten	Benz[<i>e</i>]acefenantrilen	205-99-2	BbFA
Benzo[<i>ghi</i>]fluoranten	Benzo[<i>ghi</i>]fluoranten	203-12-3	BghiF
Benzo[<i>j</i>]fluoranten	Benzo[<i>j</i>]fluoranten	205-82-3	BjFA
Benzo[<i>k</i>]fluoranten	Benzo[<i>k</i>]fluoranten	207-08-9	BkFA
Benzo[<i>ghi</i>]perilen	Benzo[<i>ghi</i>]perilen	191-24-2	BghiP
Benzo[<i>c</i>]fenantren	Benzo[<i>c</i>]fenantren	195-19-7	BcPH
Benzo[<i>a</i>]piren	Benzo[<i>a</i>]piren	50-32-8	BaP
Benzo[<i>e</i>]piren	Benzo[<i>e</i>]piren	192-97-2	BeP
Chrisen	Chrisen	218-01-9	CHR
Coronen	Coronen	191-07-1	COR
Ciclopenta[<i>cd</i>]piren	Ciclopenta[<i>cd</i>]pirene	27208-37-3	CPP
Dibenzo[<i>a,h</i>]antracen	Dibenzo[<i>a,h</i>]antracen	53-70-3	DBahA
Dibenzo[<i>a,e</i>]piren	Nafto[1,2,3,4- <i>def</i>]crisen	192-65-4	DBaeP
Dibenzo[<i>a,h</i>]pirene	Dibenzo[<i>b,def</i>]crisen	189-64-0	DBahP

Dibenzo[<i>a,l</i>]piren	Benzo[<i>rsf</i>]pentafen	189-55-9	DBaIP
Dibenzo[<i>a,l</i>]pirene	Dibenzo[<i>def,p</i>]chrisen	191-30-0	DBaIP
Fluorantrene	Fluorantrene	206-44-0	FA
Fluorene	9-H-Fluoren	86-73-7	FL
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]piren	Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]-piren	193-39-5	IP
5-Metilchrisen	5-Metilchrisen	3697-24-3	5-MCH
1-Metilfenantren	1-metilfenantren	832-69-9	1-MPH
Naftalen	Naftalen	91-20-3	NA
Perilen	Perilen	198-55-0	PE
Fenantren	Fenantren	85-01-8	PHE
Piren	Piren	129-00-0 P	Y
Trifenilen	Trifenilen	217-59-4	TRI

Sursă: 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

PROPRIETĂȚI FIZICO-CHIMICE ALE HAP

Compușii HAP, în stare pură, sunt în general substanțe colorate, solide, cristaline la temperatură ambientală (Masih et al., 2012). Principalele caracteristici ale HAP sunt punctele ridicate de topire și de fierbere, presiunea de vapori scăzută, și solubilitatea foarte scăzută în apă. Proprietățile fizico-chimice ale unor HAP selectate sunt prezentate în Tabelul 3.

Proprietățile fizico-chimice ale HAP variază considerabil cu masa lor moleculară și structura lor. Presiunea de vapori a HAP descrește cu creșterea masei moleculare și solubilitatea în apă descrește cu creșterea masei moleculare. Rezistența la reacțiile de oxidare și reducere crește de asemenea cu masa moleculară. HAP sunt foarte lipofile și ca urmare, miscibile cu solvenți organici (CMME, 2010). Solubilitatea în apă descrește cu fiecare nucleu aromatic din structura HAP și conferă HAP mobilitate ridicată în mediu, depozitare, revolatilizare și distribuția lor în aer, sol și apă. Un procent important de HAP este transportat prin atmosferă la distanțe mari (LRAT).

HAP eliberate în atmosferă se găsesc în două faze separate, o fază de vapori și una solidă în care HAP sunt adsorbite pe materia particulată. PAHs prezintă

de asemenea sensibilitate la lumină, rezistentă la încălzire, la coroziune și activitate fiziologică. (Masih et al., 2012).

Tabelul 3. Proprietățile fizico-chimice ale unor HAP selectate

Compus	Punct de topire (°C)	Punct de fierbere (°C)	Presiune de vapori (Pa la 25 °C)	Coef. Partiție octanol: apă (Log Kow)	Solubilitate în apă la 25°C (µg/L)	Constanta Henry la 25 °C (kPa)
Acenaftilena	92-93	279	8.9×10^{-1}	4.07	-	1.14×10^{-3}
Acenaftena	95	295	2.9×10^{-1}	3.92	3.93×10^3	1.48×10^{-2}
Fluoren	115–116	340	8.0×10^{-2}	4.18	1.98×10^3	1.01×10^{-2}
Fenantren	100.5	342	1.6×10^{-2}	4.6	1.29×10^3	3.98×10^{-3}
Antracen	216.4	375	8.0×10^{-4}	4.5	73	7.3×10^{-2}
Fluoranten	108.8	393	1.2×10^{-3}	5.22	260	6.5×10^{-4}
Piren	150.4	400	6.0×10^{-4}	5.18	135	1.1×10^{-3}
Benz[a]antracen	160.7	448	2.8×10^{-5}	5.61	14	-
Chrisen	253.8	481	8.4×10^{-5}	5.91	2.0	-
Benzo[b]fluoranten	168.3	480	6.7×10^{-5}	6.12	1.2 (20°C)	5.1×10^{-5}
Benzo[j]fluoranten	165.4	480	2.0×10^{-6}	6.12	2.5	-
Benzo[k]fluoranten	215.7	496	1.3×10^{-8}	6.84	0.76	4.4×10^{-5} (20 °C)
Benzo[a]piren	178.1	536	7.3×10^{-7}	6.50	3.8	3.4×10^{-5}
Indeno[1,2,3-c,d]piren	163.6	524	1.3×10^{-8}	6.58	62	2.9×10^{-5} (20 °C)
Dibenz[a,h]antracen	266.6	594	1.3×10^{-8}	6.50	0.5 (27°C)	7×10^{-6}
Dibenzo[a,i]piren	282	525	3.2×10^{-10}	7.30	0.17	4.31×10^{-6}
Coronen	439		2×10^{-10}	-	5.4	0.14

Source: Joint WHO 2003

HAP posedă absorbanța caracteristică în UV și cele mai multe sunt fluorescente (Kim et al., 2013). Cu toate că efectele HAP individuale asupra organismelor vii diferă, a fost stabilit că HAP prezintă efecte adverse majore asupra sănătății oamenilor.

PERSISTENȚA ȘI TRANSFORMAREA HAP ÎN MEDIU

HAP ÎN ATMOSFERĂ

Comportarea HAP în atmosferă depinde de reacții fizico-chimice complexe, interacțiunile cu alți poluanți, transformările fotochimice și modul lor de depunere (umedă sau uscată) (Zhong and Zhu, 2013). HAP există în aerul

ambiental în faza de vapori sau adsorbite pe materia particulată, depinzând de condițiile atmosferice (temperatură, umiditate, originea și proprietățile aerosolilor) și de proprietățile HAP (Zhang and Tao, 2009). HAP cu masă moleculară mică (cu două, trei sau patru nuclee aromatice existente mai ales în stare gazoasă) sunt mai puțin toxice, dar sunt capabile să reacționeze cu alți poluanți (ozon, oxizi de azot, și dioxid de sulf) formând compuși cu toxicitate ridicată (dioxine, nitro- și dinitro-HAP, acid sulfuric). PAHs cu 4 sau mai multe nuclee prezintă vaporizare insignifiantă în mediu și sunt prezente în atmosferă, mai ales în fază de particule. Concentrațiile HAP în fază gazoasă cresc în perioada de vară în regiunile tropicale, iar cele ale HAP în fază de particule sunt dominante în timpul iernii în zona Artica. Adsorbția HAP pe particule depinde de umiditate și de tipurile de particule suspendate (de. ex. praf, cenusă zburătoare, oxizi metalici, polen, etc) (Lai et al., 2011; Kim et al., 2013).

HAP ÎN SOL ȘI APĂ

HAP atmosferice sunt depozitate pe suprafața solului prin procese de depozitare uscată sau umedă. HAP depozitate pe suprafața solului pot deveni mobile și se pot lega de particulele din sol, proces influențat de mobilitatea HAP din sol, mărimea particulelor și mărimea porilor din sol. Studiile au stabilit importanța coeficientului de partiție octanol-apă al HAP pentru determinarea sorpției lor în sol. Deoarece acest coeficient (K_{ow}) este corelat cu solubilitatea unui compus organic în apă, cu cât K_{ow} crește, solubilitatea în apă scade și tendința HAP pentru sorpția pe un anumit sol crește. HAP eliberate în atmosferă sunt transportate la distanțe scurte și lungi (SRT/LRT și sunt îndepărtate, prin depozitare umedă și uscată pe sol, în apă și vegetație. Din apa de suprafață, HAP se pot volatiliza, fotoliza, biodegrada sau lega de particulele în suspensie sau sedimente. Timpul de rezidență în atmosferă și distanța de transport depind de mărime particulelor pe care s-au adsorbit HAP și de condițiile climatice. Aproximativ 90–95% dintre HAP particulate sunt asociate cu particule cu diametrul $< 3.3 \mu\text{m}$. Particulele cu un diametru de 0,1–

3,0 μm , cu care HAP sunt în principal asociate, prezintă timpi de rezidență atmosferică de câteva zile și pot prezenta ILRT (Shafy and Mansour, 2013; CCME, 2010). Organismele acvatice care metabolizează HAP în mică măsură sau deloc (alge, moluște) și nevertebratele primitive (protozoare, porifere și cnidaria) acumulează concentrații mari de HAP, așa cum este de așteptat având în vedere valorile log Kow ale acestor organisme. Organismele care metabolizează HAP într-o mai mare măsură (pești, nevertebrate superioare), acumulează mai puțin sau deloc HAP. Concentrația de HAP în vegetație este în general mai scăzută decât în sol, factorii de bioacumulare având valori de la 0,0001 la 0,33 pentru BaP și de la 0,001 la 0,18 pentru alte 17 HAP testate. Biomagnificarea HAP nu a fost observată în sistemele acvatice deoarece majoritatea microorganismelor au un potențial ridicat de biotransformare pentru HAP. Organisme situate la nivele trofice ridicate în lanțul trofic prezintă cel mai ridicat potențial de biotransformare. (WHO 2003; IARC, 2010). Fotoliza este cel mai important factor în descompunerea HAP adsorbite pe particule în atmosferă, apă și sol. Timpii de înjumătățire în aer au valori de la câteva minute la o săptămână, în funcție de sezon (mai lungi iarna), tipul de substanțe și compoziția materiei particulare. (WHO, 2003). HAP în sol se pot volatiliza, pot fi degradate abiotice (prin fotoliză și oxidare), biodegradate, acumulate în plante sau pot pătrunde în apa de adâncime. În Tabelul 4 sunt prezentați timpii de înjumătățire ale unor HAP în sol (zile) determinați pe baza unor rezultate experimentale.

Tabelul 4. Timpul de înjumătățire a HAP în sol

Compus	Timpul de înjumătățire estimat (zile)
Naftalina	2.1–2.2
Antracen	10–134
Fenantren	16–35
Fluoranten	268–377
Piren	199–260
Crisen	371–387

Benzo[a]piren	229–309
---------------	---------

Sursa: WHO, 2003

EXPUNEREA UMANĂ LA HAP

Expunerea ocupațională și nonocupațională a populației la HAP decurge prin: (a) *ingerare* de hrană care conține HAP), (b) *inhalare* de aer poluat cu fum de țigară sau provenit de la procese de ardere incompletă, din ambient sau din interior), (c) *contact dermic*. Fumul de țigară conține o varietate de HAP (benzopiren) și mai mult de 40 de compuși cunoscuți sau potențial carcinogeni. Unele vegetale (grâu, secară, linte) pot sintetiza HAP, sau le pot absorbi din aer, sol sau apă poluată. Apa poate de asemenea să conțină HAP deoarece acești poluanți pot trece din sol în apă, sau pot ajunge în apa din efluenții industriali. Solul poate conține de asemenea HAP provenite din depozitarea particulelor de HAP din aerul poluat.

Datorită caracterului lipofil ridicat al HAP, prezența lor în organism după ingerare/inhalare este detectabilă în organele interne bogate în țesut adipos. Aceste organe pot servi ca depozite, din care HAP pot fi eliberate gradual. HAP intrate în organism determină o activare metabolică a enzimelor din clasa oxidazelor, care biocatalizează reacțiile de epoxidare. Epoxizii HAP se pot conjuga cu glutatation, producând reacții de detoxifiere. Epoxizii care nu au fost conjugați cu glutatation sunt transformați în fenoli și dioli și excretați, după conjugare cu acid glucuronic sau cu acid sulfuric (WHO 2003; IARC, 2010; Kim et al., 2013).

EXPUNEREA LA HAP DIN ALIMENTE

Oamenii și fauna pot fi expuși la HAP prin consumare de vegetale crescute în sol contaminat cu HAP, (100 μg/kg BaP în solurile urbane din India) și prin consumarea alimentelor procesate termic (IARC, 2010; Kim et al., 2013).

Alimentele crude nu ar trebui să conțină concentrații mari de HAP. În zonele urbane, situate la depărtare de activități de transport sau industriale, concentrațiile de HAP identificate în alimentele neprocesate, reflectă procese

de contaminare din trecut. Astfel de contaminări provin de la transportul atmosferic al particulelor de poluanți de la distanțe mari, ca și din emisiile naturale, provenite din incendii de vegetație sau erupții vulcanice. În vecinătatea zonelor industriale sau de-a lungul autostrăzilor, contaminarea vegetației poate fi de zece ori mai mare decât în zonele rurale. Procesarea alimentelor prin uscare, afumare și la temperaturi ridicate (grill, prăjire, coacere) reprezintă surse de producere a HAP (130 lg/kg identificate în carnea gătită la grătar și 200 lg/kg of HAP în carnea/peștele afumat, comparativ cu valori între 0,01–1 lg/kg în alimentele negătite. Apariția HAP în alimente se datorează proprietăților fizico-chimice (solubilitatea relativă a HAP în apă și solvenți organici, care determină absorpția și distribuția lor în organismele vii. Solubilitatea determină capacitatea lor de a fi transportate și distribuite între diferitele compartimente din mediu și acumularea lor în organismele vii. Prezența HAP în atmosferă este influențată de volatilitatea lor. Reactivitatea chimică a HAP influențează adsorpția lor pe materia organică și degradarea în mediu. Toți acești factori determină persistența și capacitatea HAP de a se bioacumula în lanțul trofic (PAHs in food, 2002; CCME, 2010; Shafy and Mansour, 2016).

EFECTE ALE HAP ASUPRA SĂNĂTĂȚII

Toxicitatea HAP asupra organismelor acvatice depinde de metabolismul lor și de reacțiile de fotooxidare. HAP sunt în general mai toxice în prezența radiației UV și au toxicitate moderată spre toxicitate acută înaltă față de organismele acvatice și păsări. Mamiferele pot absorbi HAP pe diferite căi: inhalare, ingerare, contact dermal. Plantele pot absorbi HAP din soluri prin rădăcini și le pot transfera și altor părți din plante, procesul depinzând de concentrația HAP, solubilitatea în apă și proprietățile fizice și chimice ale solului. Datele referitoare la efectele fitotoxice induse de HAP sunt limitate. PAHs sunt moderat persistente în mediu și se pot bioacumula. Concentrațiile de HAP găsite în pești și moluște sunt mai mari decât cele din mediul de unde au fost recoltate. Bioacumularea a fost identificată și în organismele nevertebrate, dar

metabolizarea HAP previne biomagnificarea (Kim et al., 2013; Shafy and Mansour, 2016)

EFACTE ALE HAP ASUPRA SĂNĂTĂȚII

Efectul acut al HAP asupra sănătății depinde de durata/calea de expunere/concentrația de HAP, toxicitatea relativă și factori subiectivi (starea sănătății și vârsta). Abilitatea HAP de a induce efecte acute asupra sănătății umane nu este elucidată complet. Expunerea ocupațională la concentrații mari de HAP produce iritarea ochilor, stări de greață, vomă, diaree și confuzie. Antracenu, benzo(a)pirenului și naftalenul produc iritații ale pielii și reacții alergice asupra animalelor și oamenilor (IARC, 2010).

Efectele cronice ale HAP asupra sănătății umane conduc la scăderea imunității, afectează rinichii, ficatul, plămâni și produc afecțiuni respiratorii, astm. Contactul repetat cu pielea poate induce iritații și inflamații. Naftalenul poate produce scăderea globulelor roșii dacă este inhalat sau ingerat în cantități mari. Efectele dăunătoare ale HAP în organism depind de calea de expunere (IARC, 2010; Kim et al., 2013).

Carcinogenitate. Monitorizarea biologică a expunerii la HAP este de interes deosebit datorită răspândirii lor în mediu și toxicității, datorate atât HAP cât și reactivității metaboliților lor (epoxizi și dihidrodioli). Aceștia pot reacționa cu proteinele celulare și ADN, dezvoltând mutații genetice, malformații, tumori și cancer. Studii de lungă durată au indicat că muncitorii expuși la HAP au dezvoltat cancer de piele, plămâni și gastrointestinal. Benzo(a)pirenului a fost prima substanță identificată că induce cancer în organismul animal. Pe baza unor studii științifice, un număr de șapte HAP: benz(a)antracenu, benzo(a)piren, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, crisen, dibenz(ah)antracenu, au fost clasificate ca fiind carcinogene pentru animale și oameni și indeno(1,2,3-cd) ca fiind probabil carcinogen pentru animale și oameni (Zhang and Tao, 2009; IARC, 2010).

REFERENCES

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



This work is licensed under a Creative
commons attribution – non commercial 4.0
international license