



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

ПОЛИЦИКЛИЧНИ АРОМАТНИ ВЪГЛЕВОДОРОДИ (PAHs)

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transilvania University of Braşov

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



Erasmus+

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



УВОД

Полициклическите ароматни въглеводороди (ПАВ/ PAHs) представляват голям клас органични съединения, екологично устойчиви замърсители със специфични структури и разнообразна токсичност, съдържащи два или повече кондензирани ароматни пръстени. Стотици отделни ПАВ се отделят в околната среда както от антропогенни процеси (чрез непълно изгаряне или пиролиза на органична материя), така и от естествени процеси (горски пожари, вулканични изригвания и биологичен синтез и разграждане на биомасата). Тъй като ПАВ се откриват във въздуха, почвата, водата и изгарянето, пиролизата и биологичните процеси на органичната материя се срещат навсякъде, ПАВ се считат за повсеместни в околната среда. (Бакланов и др., 2007), (СЗО, 2003 г.)

ИСТОЧНИЦИ НА PAHs

ПАВ се формират от пирогенни, петрогенни и биологични процеси.

(А) Пирогенни ПАВ се образуват, когато органичните вещества се излагат на високи температури (3500 - 120 ° C) при ниски нива на кислород или липса на кислород. Примерни пирогенни процеси са: термичен крекинг на петролни остатъци в по-леки въглеводороди, дестилация на въглища, непълно изгаряне на горива в отоплителните системи, горива в автомобили и камиони, дървесина в горски пожари и камини и др. Пирогенни ПАВ обикновено се намират в по-големи концентрации в градските райони и в места, близки до големи източници на ПАВ (индустриални процеси, изгаряне на промишлени електроцентрали и т.н.) и източници на ПАВ (автомобилни емисии, дим от цигари, печки на дърва, утайки от отпадъчни води и др.). (Shafy and Mansour, 2013). Непълното

изгаряне, било естествено или антропогенно получено, е идентифицирано като най-големият принос на ПАВ за околната среда (Zhang and Tao, 2009).

Б) Петрогенните РАН са сурови масла, образувани в продължение на милиони години при ниски температури (100-1500C) и по време на дейностите по транспортиране, съхранение и използване на суров нефт / продукти от суров нефт, натрупването на малки количества бензин, моторни масла и вещества, свързани с транспорта, непълно изгаряне на органични вещества.

В) Природните източници на ПАВ са горски пожари, вулкани, синтез на бактерии и водорасли, петролни утайки и разграждане на биомаса. ((Shafy and Mansour, 2013), CCME, 2010 г.).

Стационарните източници генерират около 80% от общите годишни емисии на ПАВ; Останалите се произвеждат от мобилни източници (остатъци от бензинови и дизелови двигатели и т.н.). Емисиите на ПАВ, освободени от промишленото производство, не са важни в сравнение с ПАВ, получени при непълни горивни процеси, при които се използват затворени системи и процеси на рециклиране. Новите хетероциклени ароматни съединения (карбазол, акридин), както и производните на ПАВ, като нитро-ПАХ и оксидираните ПАВ, могат да бъдат генерирани чрез непълно изгаряне и химични реакции в атмосферния въздух. Тези съединения се срещат с ПАВ във въздуха, водата и храната и общата смес се означава като полициклични ароматни съединения PAC. (IARC, 2010).

Някои ПАВ се използват като суровини:

- Аценафтен: производство на пигменти, бои, пластмаси, пестициди, фармацевтични продукти.

- Антраценат: разредител за консерванти за дърво и производство на бои и пигменти.
- Флуорантен: производство на агрохимикали, бои и фармацевтични продукти.
- Флуорен: производство на фармацевтични продукти, пигменти, бои, пестициди и термореактивна пластмаса.
- фенантрен: производство на смоли и пестициди.
- Пирене: производство на пигменти.

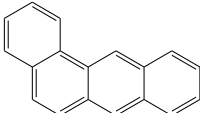
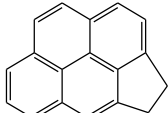
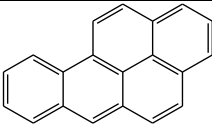
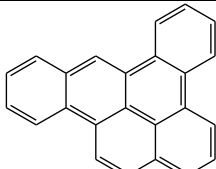
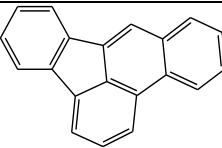
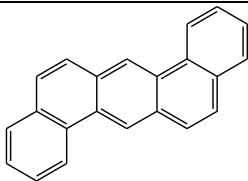
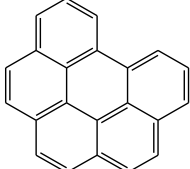
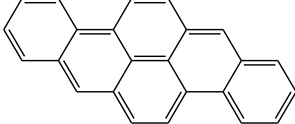
Намаляването на емисиите на ПАВ е настъпило от 50-те години на миналия век чрез въвеждане на първите политики за чист въздух. Понастоящем законодателството относно допустимите концентрации на ПАВ във въздуха, съчетано със законодателство, забраняващо неконтролираното изгаряне на промишлени и селскостопански отпадъци, продължава да намалява концентрациите на ПАВ в атмосферния въздух. В развиващите се страни (Китай, Индия, Бразилия, Судан и др.), Където биомасата и въглищата са доминиращите енергийни източници, концентрациите на ПАВ са все още твърде високи. (IARC, 2010, Kim et al., 2013).

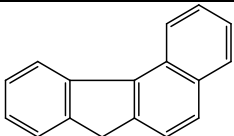
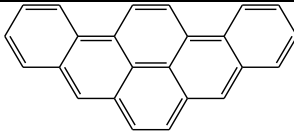
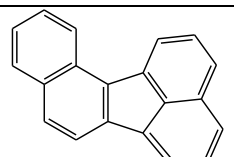
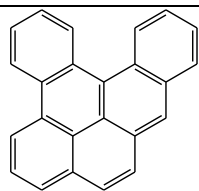
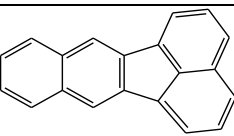
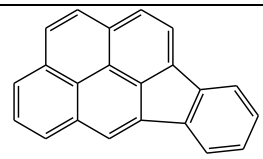
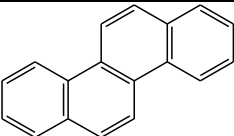
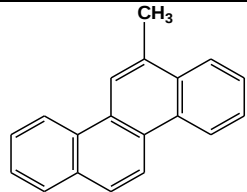
ХИМИЧЕСКА СТРУКТУРА НА ПАВs

Полицикличните ароматни въглеводороди (ПАВ) са голяма група органични съединения, състояща се от два или повече бензенови пръстена, свързани в линейни, клъстерни или ъгови структури. Най-важните въглеводороди ароматни поликарбонати са представени в Таблица 1. Емисиите на полициклични ароматни въглеводороди в атмосферата имат краткотрайни или белодробни транзити и могат да се натрупват в замърсени или сухи помещения.

В зависимост от броя на бензеновите пръстени, ПАВ се класифицират като: съединения с ниско молекулно тегло, състоящи се от по-малко от четири ароматни пръстена и съединения с високо молекулно тегло от четири или повече ароматни пръстена. ПАВ с два или три пръстена (нафтаден, аценафтен, антрацен, флуорен, фенантрен) присъстват във въздуха, предимно в газовата фаза. ПАВ с четири пръстена (флуорантен, пирен, хрисен) съществуват както в парната фаза, така и в частичковата фаза, а ПАВ с пет или повече пръстена бензо [g, h, i] перилен и т.н. се намират предимно във фазата на частици. По-малките молекули като бензен, толуен и бициклически ароматен въглеводороден нафтаден не се считат за истински ПАВ. Най-силните изследвани карциногени на ПАВ са 7,12-диметилбензоантрацен (DMBA) и бензо (a) пирен (BaP) (CCME, 2010; Shafy and Mansour, 2013).

Таблица 1. Примери на полициклически ароматни въглеводороди.

Име (acronim)	Структура	Име (acronim)	Структура
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[1,2,3-cd]piren (IcP)	
crisen (CHR)		5-metilcrisen (5-MC)	

От няколко стотин химически сродни съединения, екологично устойчиви, броят на 33 отделни ПАВ (представена в Таблица 2) са избрани от Научния комитет по храните, въз основа на тяхната поява и токсични ефекти, като представляват риск за здравето на човека (ПАВ в храните 2002 г.).

Таблица 2 PAHs представляващи риск за човешкото здраве

Име	CAS име	CAS регистрационен No.	Съкращение
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,l]pyrene	Benzo[rsf]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

Source: 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

ФИЗИКОХИМИЧНИ СВОЙСТВА НА ПАHS

Чистия ПАВ обикновено е оцветен, кристални твърди вещества при стайна температура (Масих и сътр., 2012) общите характеристики на ПАВ имат висока температура на топене и точки на кипене, ниско налягане на парите, и много ниска разтворимост Воден. Физичните и химичните свойства на избрания Някои ПАВ са представени в таблица 3.

Физикохимичните свойства на ПАВ със значителен Вари им молекулно тегло и структура. Налягането на парите на ПАВ намалява с увеличаване на молекулното тегло и разтворимост и намаляване водната разтворимост

с увеличаване на молекулното тегло. Устойчивостта на окисляване и редукция се повишават при по-голямо молекулно тегло. ПАВ е силно липофилен и следователно смесим в органични разтворители (СММЕ, 2010).

Таблица 3. Физически и химически свойства на ПАХs

Вещество	Точка на топене (°C)	Точка на кипене (°C)	Налягане на парите (Pa at 25 °C)	log ₁₀ K _{ow} : водни дялове (Log K _{ow})	Растворимост в вода при 25 °C (µg/litre)	Henry's law constant at 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

Източник: Joint WHO 2003

Разтворимостта във вода намалява за всеки допълнителен пръстен ПАВ добавя към структурата и ги прави силно мобилни в околната среда, и разпределението между тях във въздуха, почвата и водата. Определена част от ПАВ определя дълги разстояния на атмосферен транспорт (LRAT). След като е освободен в атмосферата, ПАВ се намира в две отделни фази, парна фаза и твърда фаза и ПАВ. ПАВ имат чувствителност към

светлина, устойчивост на топлина, устойчивост на корозия и физиологична активност (Масих и др., 2012 г.). ПАВ притежават много характерен UV спектър на абсорбция и флуоресценция (Kim и др., 2013 г.). Въпреки, че ефектите за здравето на отделните ПАВ се различават, някои ПАВ са били идентифицирани да показват силно неблагоприятни ефекти върху хората.

УСТОЙЧИВОСТ И ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПАВ В ОКОЛНАТА СРЕДА

ПАВ В АТМОСФЕРАТА

Поведението на ПАВ в атмосферата зависи от физико-химични сложни реакции, взаимодействия с други замърсители, фотохимични трансформации и сухо и мокро нанасяне (Zhong и Zhu, 2013). ПАВ в атмосферния въздух в парна фаза съществуват или адсорбират във въздушни частици в зависимост от атмосферните условия (температура, влажност, произход и свойства на аерозоли) и свойствата на ПАВ (Zhang и Тао, 2009). ПАВ с ниско тегло (с два, три, или четири пръстени) има предимно в газова фаза, с по-малко токсичност, но има възможност да реагира с други замърсители (озон, азотни оксиди и серен диоксид) за получаване на съединения с висока токсичност (диони, нитро и динитро-ПАВ, сярна киселина). ПАВ с четири или повече пръстени се изпаряване незначително в околната среда и е главно във фазата на частици в атмосферата. Концентрациите на ПАВ в газова фаза през лятото се увеличават в тропическите райони, а ПАВ във фаза частици са доминиращи през зимата в арктическите региони. Адсорбцията на ПАВ във фаза частици зависи от влажността и от вида на суспендирани частици (например, сажда, прах, пепел, метални оксиди, полени и т.н. (Лай и др, 2011;.. Ким и др, 2013 г.).

ПАHs В ПОЧВА И ВОДА

Атмосферен ПАВ непрекъснато се отлага на повърхността на земята чрез процеси на сухи или мокри отлагане. Мобилността на отлагането на ПАВ върху повърхността на земята и привързването им към земните частици е процес, който зависи от мобилността на ПАВ в частиците на почвата, размера на частиците и размера на порите на почвата. Изследвания са установили, че сорбцията на ПАВ към почвата се определя от коефициентът на разпределение октанол-вода. Тъй като разделянето на октанол-вода (коефициент (K_{ow})) е свързана с разтворимостта на органично съединение във вода, като при K_{ow} увеличение, разтворимост във вода намалява и тенденцията на ПАВ за сорбция към почвата се увеличава.

В повърхностните води, ПАВ може да се изпари, фотолизира, биодegradира или се свързват към суспендирани частици или седименти. Времето на престой в атмосферата и разстоянието на транспорт зависи от размера на частиците, към които ПАВ се адсорбира климатичните условия. За 90-95% от ПАВ е свързан с диаметър на частиците $<3.3 \mu m$. Частици с обхвата на диаметъра 0,1-3,0 микрометра, с които пренасяния по въздуха ПАВ е главно свързан, определя атмосферно пребиваване от няколко дена и може да претърпи ILRT (Shafy и Мансур, 2013; CCME, 2010). Водните организми които метаболизират малко или незначително ПАHs (водорасли, молюски) и по-примитивните безгръбначни (protozoars, porifers and cnidaria) могат да акумулират високи концентрации от ПАHs, както може да се очаква от техните $\log K_{ow}$ стойности. Организми, които метаболизират ПАВ до голяма степен (риба, по-високи безгръбначни) натрупават по-малко или никакви полициклически ароматни въглеводороди. Концентрацията на ПАВ в растителност обикновено е по-ниска от тази в почвата, при фактори на биоакумулиране, вариращи от 0.0001 до 0.33 за BaP и от 0.001 до 0.18 за 17 други тествани ПАВ. Биомултипликация на ПАВ не е била наблюдавана при водните системи, тъй като

микроорганизмите имат висок потенциал на биотрансформация за полициклични ароматни въглеводороди. Организмите при по-високите трофични нива в хранителната верига показват най-високия потенциал на биотрансформация (WHO 2003; IARC, 2010). Фотолизата е най-важният фактор в разпадането на сорбираните ПАВ частици в атмосфера, водата и почвата. Периоди на полуразпад във въздуха се очаква да бъде от порядъка на няколко минути до една седмица, определена на сезон (по-дълго през зимата), вещества и състав на прахови частици (СЗО, 2003). PAHs в почвата може да се волатилизира in soil can volatilize, като претърпи абиотична деградация (фотолиза и оксидация) биодеградация, акумулация в растения или подпочвени води, и да се транспортират в рамките на водоносния хоризонт. Въз основа на експериментални резултати е определен полуживот (в дни) на ПАВ в почвата (Таблица 4).

Таблица 4. The полуживот (в дни) на PAHs в почвата

Съединение	Определен полуживот (в дни)
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

ЧОВЕШКА ЕКСПОЗИЦИЯ КЪМ PAHs

Начините на излагане включват (а) приемане на храна съдържаща ПАВ), (б) вдишване на замърсен стаен въздух в помещенията, пушене или дишане на дим от открити камини, (в) дермален контакт както при професионално и не-професионално излагане. Тютюневият дим съдържа

различни ПАВ, като бензо(а) пирен, и повече от 40 известни или вероятни канцерогени за човека. Някои култури (пшеница, ръж, и леща), може да ги синтезират ПАВ или за абсорбират от вода, въздух, или почва. Също така водата може да съдържа следи от ПАВ замърсители като вода от промишлени отпадни води. Също почвата може да съдържа ПАВ. Поради високата липофилност на ПАВ, тяхното присъствие в тялото след поглъщане / инхалация се открива във вътрешните органи предимно в мастната тъкан. Тези органи могат да служат като складове, от които ПАВ постепенно може да се отделят. Въведените ПАВ в тялото определят многоетапно метаболитно активиране на специфични ензими от системата на оксидаза, което катализира първата реакция на епоксидиране. ПАВ могат да бъдат конюгирани епоксиди с глутатион и извършване на реакцията на детоксикация. (СЗО, 2003; IARC, 2010; Kim и др, 2013)..

ПОЯВА НА РАН В ХРАНИТЕ

Суровите храни обикновено не съдържат високо съдържание на ПАВ. В районите, отдалечени от градските или в промишлени дейности, нивата на ПАВ намерени в непреработени храни отразява замърсяването на фона. Такива БАХ обикновено произхождат от голямо разстояние при транспортиране на въздух със замърсени частици, както и вулкани и горски природни емисии от пожари. В съседство на индустриални зони или по магистрали, замърсяването на растителността може да надвишава десет пъти в селските райони. Обработка на храна от сушене и храни за готвене при високи температури (печене, печене, пържене) са големи източници на генериране на РАН нива от 130 г / кг, открити в скара месо и 200 г / кг на ПАВ в пушена риба и месо. Обикновено, средните стойности на фона е в диапазона от 0.01-1 г / кг в сурови храни. Възникването на ПАВ в храните се регулира от същите физикохимични фактори (относителна разтворимост на ПАВ във вода и органични разтворители), които определят тяхното усвояване и разпространение в живите

организми. Разтворимостта определя техният капацитет за транспорт и разпределение между различните отделения и тяхното поглъщане в околната среда и натрупване от живите организми. Транспортирането на ПАВ в атмосферата се влияе от тяхната нестабилност. Химическата реактивност на ПАВ влияе на разграждането или адсорбцията на органичен материал в околната среда. Всички тези фактори определят устойчивостта и капацитета на БАХ да се акумулират биологично в хранителната верига (ПАВ в храните, 2002 г. (СМЕ, 2010; Shafy и Мансур, 2016 г.)

ЕФЕКТИ ВЪРХУ ЧОВЕШКОТО ЗДРАВЕ

Токсичността на ПАВ за водни организми зависи от техните реакции на фото-окисление и метаболизъм. ПАВ като цяло е по-токсичен, в присъствието на UV радиация и имат умерено до високо остра токсичност за водните организми и птици. ПАВ се абсорбират от бозайници по различни начини (вдишване, контакт с кожата, поглъщане). Растенията могат да абсорбират ПАВ от почвата чрез техните корени и да транслокират към други части на растенията. Темповете на поглъщане са обикновено в зависимост от тяхната концентрация, разтворимост във вода, и физико-химично състояние и тип почва. Неблагоприятните ефекти върху организми включват тумори, размножаване, развитие и имунитет. Данните по отношение на ПАВ-индуцирано фитотоксично действие са ограничени.

Остри (краткосрочни) здравни ефекти

Острото въздействие на ПАВ върху човешкото здраве зависи от дължина / път на експозиция, концентрацията на ПАВ, относителната им токсичност и субективни фактори (здравен статус и възраст). Способността на ПАВ, за да се предизвикат остри здравословни проблеми при хората не е ясно. Професионалните експозиции към високи нива на ПАВ довежда до дразнене на очите, гадене, повръщане, диария и объркване. Антраценът, бензо(а) пирен и нафталинът са директни преки дразнители на кожата и

предизвикват алергична реакция в кожата на животните и човека (СЗО, 2003; IARC, 2010 г.).

Хронични (дълговременни) здравословни ефекти

Хроничното (дългосрочно) въздействие на ПАВ върху човешкото здраве намалява имунната система, уврежда бъбреците и черния дроб, причинява проблеми с дишането и астма. Повтарящ се контакт с кожата може да индуцира зачервяване и възпаление на кожата. Нафтален предизвиква разрушаване на червените кръвни клетки при вдишване или поглъщане в голям обем. Вредното въздействие на ПАВ в живите организми зависи от начина на излагане (IARC, 2010, Ким и др., 2013 г.).

Карциногеничност

Биологичния контрол на излагане на ПАВ е от първостепенен интерес, поради тяхната токсичност и широкото разпространение на тези съединения в околната среда. Основен проблем е способността на реактивни метаболити (епоксиди и дихидродиоли) на някои ПАВ, да се свързва с клетъчни протеини и ДНК, което води до мутации, малформации, тумори и рак. Дългосрочни проучвания посочват, че работниците, изложени на ПАВ са показали година повишен риск от кожни, белодробни и стомашно-чревни ракови заболявания. Бензо(а) пирен е първият химически и най-често канцерогенен ПАВ открит да причинят рак в животни. Въз основа на научни изследвания, редица ПАВ се класифицират като канцероген за животните и някои богати на ПАВ смеси се класифицират като канцероген за човека (IARC, 2010). ЕРА САЩ класифицира следните седем съединения ПАВ: бенз(а) антрацен, бензо(а) пирен, бензо(б) флуорантен, бензо(к) флуорантен, кризен, дибензо(ах) антрацен и инцено (1,2, 3-CD) пирен като вероятни човешки канцерогени. (Zhang и Tao, 2009)

REFERENCES



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

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
UNIVERSITA DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences



UNIVERZITA
KARLOVA



Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov



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