

Radioattività della cannabis

Vincenzo Zagà, Daniel L. Amram, Marco Mura, Gian Piero Bandelli, Maria Sofia Cattaruzza

Riassunto

La cannabis (*Cannabis sativa* L.) è la droga d'abuso illecita più diffusa al mondo, nota anche come marijuana. La combustione della marijuana produce centinaia di sostanze chimiche, tra cui oltre 100 diversi cannabinoidi. Il più importante è il delta-9-tetraidrocannabinolo (Δ^9 -THC), responsabile degli effetti psicoattivi, euforia e rilassamento, ma anche dei potenziali effetti psicotici, che sono collegati ai recettori dei cannabinoidi nel cervello (CB1).

I composti della cannabis e del fumo di tabacco sono simili, le differenze riguardano la presenza dei cannabinoidi nella cannabis e della nicotina nel tabacco. I costituenti comuni sono principalmente monossido di carbonio, acido cianidrico, isoprene, acetaldeide, formaldeide, acroleina, fenoli, idrocarburi policiclici aromatici (benzopirene) e metalli pesanti (cadmio, mercurio e piombo) che possono determinare patologie a carico dell'apparato respiratorio e non solo.

Di recente è stata individuata, in tutti i prodotti della cannabis (cannabis fumata, hashish), come già nel tabacco, la presenza, in varie e differenti concentrazioni, del polonio-210 (Po-210), sostanza radioattiva alfa. La consapevolezza della presenza di questo metallo pesante altamente radioattivo e fortemente cancerogeno può rappresentare una spinta motivazionale in più, sia per non iniziare a sperimentare sia per smettere di utilizzare prodotti della cannabis tra gli assuntori correnti.

Parole chiave: cannabis sativa, hashish, infuso di cannabis, polonio-210.

Cannabis radioactivity

Vincenzo Zagà, Daniel L. Amram, Marco Mura, Gian Piero Bandelli, Maria Sofia Cattaruzza

Abstract

Cannabis (*Cannabis sativa* L.) is the most widely used illicit drug of abuse in the world. Burning marijuana produces hundreds of chemicals, including over a hundred different cannabinoids. The most important is delta-9-tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC), which is responsible for psychoactive effects such as euphoria and relaxation, but also for potential psychotic effects, which are linked to cannabinoid receptors in the brain (mainly CB1).

The compounds in cannabis smoke and tobacco smoke are similar, differences being the presence of cannabinoids and nicotine, respectively. The common constituents of tobacco smoke are mainly carbon monoxide, ammonia, hydrogen cyanide, isoprene, acetaldehyde, formaldehyde, acrolein, phenols, polycyclic aromatic hydrocarbons (benzopyrene) and heavy metals (cadmium, mercury, and lead) which can cause diseases affecting the respiratory system and other organs in the body.

Recently, the presence of Polonium-210 (Po-210), an alpha radioactive substance in all cannabis products (smoked cannabis, hashish,) in various and different concentrations, has been identified in cannabis, as well as in tobacco, smoke as well. Awareness of the presence of this highly radioactive and carcinogenic heavy metal may be an extra motivational boost, both for not starting to experiment cannabis and for current smokers to cease cannabis use.

Keywords: cannabis sativa, hashish, cannabis infusion, polonium 210.

Introduzione

La quantità di radiazioni ricevuta dagli esseri umani proviene dai radionuclidi della serie dell'uranio presenti in natura. Questa quota radioattiva naturale è stata arricchita, negli ultimi 80 anni, anche da radionuclidi causati da test nucleari e incidenti ai reattori per la produzione di energia nucleare. Caratteristiche dei radioisotopi della fissione nucleare, come il cesio-137 e lo stronzio-90, che sono penetrati nell'ambiente, inquinando gli ecosistemi, possono diventare più concentrati man mano che entrano nella catena alimentare, il che potrebbe causare gravi rischi per la salute umana [1-3].

In particolare, il polonio (Po-210) e il suo precursore, il piombo (Pb-210), radionuclidi a emissione alfa, con una emivita fisica di 138,4 giorni e di 22,4 anni, rispettivamente, penetrano e si accumulano nell'organismo, attraverso vari ingressi [1-4]. Il polonio è prontamente assorbito dagli organismi [5, 6] e si stima che le radiazioni naturali di Po-210 all'interno dell'organismo umano assorbite con l'ingestione di alimenti, attraverso la catena alimentare, contribuiscano per circa il 7% della dose totale efficace di danno per l'essere umano [7].



La fonte dominante di Po-210 e Pb-210 nell'atmosfera è data dal decadimento del Radon (Rn-222) che proviene dalla crosta terrestre [8, 9]. I radionuclidi cadono con le precipitazioni atmosferiche (pioggia, neve e pulviscolo) e possono depositarsi sul terreno, comprese le piante coltivate e le superfici d'acqua.

La deposizione atmosferica di Po-210 e Pb-210 si ritrova in un ampio intervallo da 0,05 a 0,5 kBq·m²·y⁻¹ [10, 11]. L'assorbimento del polonio da parte delle piante avviene indirettamente attraverso il sistema radicale e direttamente dalla ricaduta atmosferica sulle piante [12] e dai fertilizzanti polifosfati [13-15].

Le piante della cannabis (*Cannabis sativa* L.), come le piante del tabacco, ricevono la deposizione diretta di Po-210 e Pb-210 sulla superficie

Le piante della cannabis (*Cannabis sativa* L.), come le piante del tabacco, ricevono la deposizione diretta di Po-210 e Pb-210 sulla superficie

Introduction

The amount of radiation received by humans comes from naturally occurring uranium series unearthed in Nature. Over the last 80 years, this natural radioactive amount has been enriched by radionuclides caused by nuclear tests and accidents at nuclear reactors for the production of nuclear energy. Characteristics of nuclear fission radioisotopes, such as cesium-137 and strontium-90, which have seeped into the environment, polluting ecosystems, can become more concentrated as they enter the food chain, which could cause serious threats to human health [1-3].

In particular, Polonium (Po-210) and its precursor, Lead (Pb-210), alpha-emitting radionuclides, with a physical half-life of 138.4 days and 22.4 years, respectively, penetrate and accumulate in the body,

through various entrances [1-4]. Polonium is readily absorbed by organisms [5, 6] and it is estimated that the internal radiation of natural Po-210 obtained by food ingestion, through the food chain, contributes about 7% of the total human harm dose [7].

The dominant source of Po-210 and Pb-210 in the atmosphere is the decay of Radon (Rn-222) from the Earth's crust [8, 9]. Radionuclides fall with atmospheric precipitation (rain, snow and dust) and can be deposited on soil, including on crop plants and water surfaces.

The atmospheric deposition of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb is measurable in a wide range of 0.05 to 0.5 kBq·m²·y⁻¹ [10, 11]. Polonium uptake by plants occurs indirectly through the root system and directly from atmospheric fallout on plants [12] and polyphosphate fertilizers [13-15].

Cannabis plants (*Cannabis sativa* L.),

like tobacco plants, receive direct deposition of Po-210 and Pb-210 on the surface of their leaves, which have the particularity of being rich in trichomes, a sort of glandular pores capable of storing heavy metals [16, 17]. A certain proportion of these radioactive isotopes may come from phosphate fertilizers [18-23].

A characteristic of *Cannabis sativa* L. is that it belongs to the *Rosales* family [24, 25], a family known for absorbing wet and dry deposition on leaves and other parts of the plant [20]. These properties are likely related to the leaf structure, which is characterized by a dense network of trichomes capable of retaining heavy metals.

Not surprisingly, due to its properties such as short vegetation time and rapid growth rate, this plant is often used as a medium in the Phyto-extraction of toxic metals from the soil [26]. Under industrial culti-

delle foglie, che hanno la particolarità di essere ricche di tricomi, una sorta di pori ghiandolari capaci di stoccare metalli pesanti [16, 17]. Una certa quota di questi isotopi radioattivi può provenire da fertilizzanti fosfatici [18-23].

Una caratteristica della *Cannabis sativa* L. è che appartiene alla famiglia delle Rosales [24, 25], una famiglia nota per l'assorbimento della deposizione umida e secca sulle foglie e su altre parti della pianta [20]. Queste proprietà sono verosimilmente correlate alla struttura fogliare caratterizzata da una fitta rete di tricomi capaci di trattenere metalli pesanti. Non a caso, questa pianta è anche spesso utilizzata come mezzo nella fito-estrazione di metalli tossici dal suolo grazie alle sue proprietà come il breve tempo di vegetazione e il rapido tasso di crescita [26]. In condizioni di coltivazione industriale, *Cannabis sativa* L. viene coltivata in grandi appezzamenti di terreno e questo influisce sulla struttura della pianta stessa. La pianta della cannabis diventa alta fino a 3 m (a seconda della specie e delle condizioni meteorologiche) e

nella parte inferiore presenta una ridotta vegetazione con foglie che spesso appassiscono. Queste caratteristiche possono influenzare il quantitativo di nuclidi. Infatti, da una parte le foglie inferiori durante la crescita hanno meno accesso alla polvere aerodispersa (principale fonte di polonio nella pianta), dall'altra però hanno una più lunga esposizione alle condizioni meteorologiche e alle precipitazioni secche e umide. Inoltre, durante la crescita (4-5 mesi), le piante richiedono notevoli quantità di acqua e intense fertilizzazioni perché hanno bisogno di un terreno ricco di carbonio organico, fosforo e azoto. I fertilizzanti più usati sono a base di azoto e polifosfati. Questi ultimi, essendo estratti da rocce uraniche contenenti apatite, vanno ad arricchire i terreni di radio, uranio e i suoi prodotti di decadimento come Po-210 e Pb-210 [19-22, 27]. Grazie poi alla rizosfera e all'assorbimento radicale questi radioisotopi vanno ad aumentare la loro presenza nella pianta di cannabis, determinando un aumento della radiattività alfa emessa. Un meccanismo molto simile è presente nelle piante di tabacco.

vation conditions, *Cannabis sativa* L. is grown in large fields, and this affects the structure of the plant itself. Cannabis grows up to reach the height of 3, (depending on the species and weather conditions), and has reduced lower layers of leaves. This can have an impact because the lower leaves during high growth have less access to airborne dust which is one of the main sources of polonium in the plant. A very similar mechanism is present in tobacco plants. However, there are also factors that increase the accumulation of nuclides in some parts of the plant compared to others.

One of these for the lower leaves is, on the one hand, their long exposure to weather conditions and dry and wet precipitation; on the other hand, these leaves often become wilted and there is no transport of substances in them; this can affect the level of accumulation of Po-210

and Pb-210 radionuclides as well. During 4-5 months of growth, plants require a significant amount of water and soil rich in organic carbon, phosphorus, and nitrogen. As a result, the fields are highly fertilized, especially with nitrogen and polyphosphate-based fertilizers. The latter, being extracted from uranium rocks containing apatite, enrich the culture media of radium, uranium, and its decay products such as Po-210 and Pb-210 [19-22, 27]. Thanks to the rhizosphere and root absorption, these radioisotopes increase the alpha radioactive presence of the cannabis plant, similar to the tobacco plant.

Cannabis products

There are several types of cannabis products, generally available, for both legal and illegal trade. Three products stand out in particular: dried

Prodotti a base di cannabis

Esistono diversi tipi di prodotti a base di cannabis generalmente disponibili sul mercato. Tre prodotti spiccano e vengono pubblicizzati in particolare: *Cannabis sativa* L. essiccata (cannabis), hashish e infuso o tisana di cannabis. Nel commercio clandestino ci sono varie tipologie di hashish che dipendono dal tipo di cannabis utilizzata. L'hashish di tipo afghano è nero, il tipo marocchino va da verde a verde crema, il tipo olandese è verde, il tipo nepalese è marrone scuro, il tipo indiano è brunastro e verdastro con vene bianche, il tipo libanese è rosso o giallo. Il colore dell'hashish dipende anche dalle condizioni di coltivazione e dal tipo di pianta da cui viene prodotto [28].

Cannabis: dal terreno alla pianta

La *Cannabis sativa* L. (L sta per Linnaeus, lo studioso che per primo la classificò nel 1735) sembra avere capacità di rigenerare gli ecosistemi, soprattutto quelli che presentano una forte carica radioattiva ed hanno

Cannabis sativa L. (cannabis), hashish and cannabis infusion or herbal tea.

In the clandestine trade, there are various types of hashish that depend on the type of cannabis used. Hashish Afghan-type is black, Moroccan type green to creamy green, Dutch type is green, Nepalese type is dark brown, Indian type is brownish and greenish with white veins, Lebanese type is red or yellow. The colour of hashish also depends on the growing conditions and the type of plant from which it is produced [28].

Cannabis: from soil to plant

Cannabis sativa L. (where "L." stands for Linnaeus, the scientist who first classified it in 1735) appears to possess the capacity to regenerate ecosystems, particularly those with high radioactive contamination and elevated concentrations of heavy metals. Similar to the to-

alte concentrazioni di metalli pesanti. La cannabis, al pari della pianta del tabacco, è capace di ridurre sensibilmente, attraverso il processo di fito-degradazione a livello della rizosfera e l'assorbimento delle radiazioni attraverso gli steli e le foglie, le concentrazioni di molti metalli pesanti e di altre sostanze tossiche generate dall'uomo, come piombo-210, polonio-210 e stronzio-90. Le piantagioni di cannabis sono state utilizzate per contribuire a bonificare terreni contaminati da radiazioni, come, per esempio, in alcune aree colpite dalle radiazioni dell'incidente nucleare di Chernobyl [21, 29, 30]. Bisogna tenere presente che queste capacità della pianta creano però sia una disintossicazione che un depauperamento dei macronutrienti nei terreni in cui viene coltivata. Inoltre, ci si augura, ovviamente, che le coltivazioni utilizzate per rigenerare i terreni vengano poi incenerite in apposite strutture in grado di gestire le ceneri radioattive come rifiuto tossico e non vadano a finire sul mercato clandestino in mano a persone senza scrupoli.

Infine, va anche precisato che il consumatore che utilizza la cannabis, in qualsiasi forma la usi, assume tutte le eventuali sostanze tossiche immagazzinate dalla pianta esponendosi a potenziali seri problemi di salute.

Farmaco-tossicologia radioattiva della cannabis

La combustione della cannabis produce migliaia di sostanze chimiche, sia in fase gas sia in fase tar (catrame). In particolare, in una ricerca di Wieczorek et al. sono state determinate le concentrazioni di Po-210 e Pb-210 in 44 campioni di cannabis, 20 di hashish e 8 campioni di tè di cannabis, nonché in 3 tipi di piante di cannabis (parti più alte della pianta di canapa matura Fenola, Fedora e Futura) [29]. Ciascuno dei nomi dei campioni indica un diverso tipo e incrocio di *Cannabis sativa* L., infatti, essendo numerosi, sono riconosciuti sul mercato proprio con questi nomi. Le dosi effettive sono state calcolate e confrontate con le dosi degli altri prodotti della combustione, come il tabacco. Nel caso della cannabis, la più alta concentrazione di Po-210 è stata tro-

vata nei campioni di Sweet Carmel essiccato ($34,7 \pm 0,23$ mBq·g⁻¹), mentre la più bassa nella Hemp Berry ($0,57 \pm 0,23$ mBq·g⁻¹). Nel caso del Pb-210, la concentrazione più alta è stata in Strawberry Kush ($2,32 \pm 0,05$ mBq·g⁻¹), mentre la più bassa in Strawberry Haze ($0,19 \pm 0,03$ mBq·g⁻¹). Nell'hashish, le concentrazioni più alte e più basse di Po-210 erano in Strawberry Diesel 164 ± 3 mBq·g⁻¹ e in Mango Kush $2,5 \pm 0,2$ mBq·g⁻¹. Le concentrazioni più alte e più basse nel caso del Pb-210 nell'hashish erano rispettivamente nel Pollen Hashish $45,1 \pm 0,2$ mBq·g⁻¹ e in Mango Kush Hashish $0,45 \pm 0,05$ mBq·g⁻¹ [29].

Commento

Lo studio di Wieczorek et al. [29] ha evidenziato per la prima volta la presenza di radioattività alfa da Po-210 e Pb-210 nei prodotti di *Cannabis sativa* L. (cannabis essiccata, hashish e infusione di cannabis): nell'hashish di cannabis, le concentrazioni massime erano di 160 mBq·g⁻¹ per il Po-210 e di 45 mBq·g⁻¹ per il Pb-210. I test statistici eseguiti mostrano la relazione

bacco plant, cannabis can significantly reduce the concentrations of various heavy metals and anthropogenic toxic substances, such as lead-210, polonium-210, and strontium-90, through phytodegradation in the rhizosphere and the absorption of radiation via its stems and leaves.

Cannabis plantations have been employed to aid in the remediation of land contaminated by radiation, such as certain areas affected by the nuclear disaster at Chernobyl [21, 29, 30]. However, it must be noted that while the plant's capabilities facilitate detoxification, they also result in the depletion of macronutrients in the soil where it is cultivated. Furthermore, it is critical to ensure that these crops, intended for land regeneration, are incinerated in dedicated facilities capable of handling radioactive ash as hazardous waste. This would prevent their di-

version into illicit markets, where unscrupulous individuals might exploit them.

Finally, it is important to clarify that consumers of cannabis, in any form, may inadvertently ingest toxic substances accumulated by the plant, thereby exposing themselves to potentially serious health risks.

Radioactive pharmacotoxicology of cannabis

Burning cannabis produces thousands of chemicals, both in the gas phase and in the tar phase. In particular, in the study of Wieczorek et al. the concentrations of Po-210 and Pb-210 were determined in 44 cannabis samples, 20 hashish and 8 cannabis tea samples, as well as in 3 types of cannabis plants (higher parts of the mature hemp plant Phenola, Fedora, and Futura) [29]. Each of the sample names indicates a different type and

cross of *Cannabis sativa* L. Since they are numerous, they are recognized on the market by these names. Effective doses were calculated and compared with doses of other combustion products, such as tobacco. In the case of cannabis, the highest concentration of Po-210 was found in dried Sweet Carmel samples (34.7 ± 0.23 mBq·g⁻¹), while the lowest was found in Hemp Berry (0.57 ± 0.23 mBq·g⁻¹). In the case of Pb-210, the highest concentration was in Strawberry Kush (2.32 ± 0.05 mBq·g⁻¹), while the lowest was in Strawberry Haze (0.19 ± 0.03 mBq·g⁻¹). In hashish, the highest and lowest concentrations of Po-210 were in Strawberry Diesel 164 ± 3 mBq·g⁻¹ and in Mango Kush 2.5 ± 0.2 mBq·g⁻¹. The highest and lowest concentrations in the case of Pb-210 in hashish were in Pollen Hashish 45.1 ± 0.2 mBq·g⁻¹ and in Mango Kush Hashish 0.45 ± 0.05 mBq·g⁻¹, respectively [29].

tra il colore dell'hashish (tipo di hashish) e le concentrazioni di entrambi i radioisotopi testati. Nella cannabis essiccata e nell'infuso di cannabis le concentrazioni di entrambi gli isotopi erano molto più basse.

Le dosi effettive per ciascun tipo di prodotto non hanno superato la dose massima consentita di $1 \text{ mSv}\cdot\text{y}^{-1}$. La dose più alta è stata riscontrata nell'hashish. Tuttavia, in caso di uso frequente di grandi quantità di hashish, queste possono essere, insieme ad altri fattori, una delle ragioni per il superamento della dose raccomandata. Confrontando le dosi con altri prodotti, come il tabacco, si può vedere che le dosi dei prodotti di canapa (la canapa è un prodotto della pianta di cannabis con concentrazioni di THC) sono molto più basse rispetto a quelle del fumo di tabacco. Le dosi inferiori rispetto al tabacco sono dovute principalmente alle grandi differenze nella concentrazione delle parti della pianta consumate dagli esseri umani. La fonte di polonio nella pianta di canapa è principalmente la precipitazione atmosferica. Limitare la presenza e l'azione di radionuclidi nel corpo umano è un

aspetto importante di protezione di salute pubblica. La riduzione dell'uso e la consapevolezza dei rischi associati al fumo di tabacco e della cannabis, peraltro fumate spesso insieme, hanno un grande impatto sulla salute della collettività.

Conclusioni

La presenza di radioattività alfa da polonio-210 è senz'altro una novità nel campo della tossicologia della cannabis e quindi in gran parte sconosciuta. Pertanto, è necessario un aggiornamento tossicologico soprattutto per chi si occupa di disturbi da uso di cannabis. Inoltre, è anche necessario informare i potenziali e i reali utilizzatori di cannabis della presenza di radioattività alfa nei suoi prodotti. Questa informazione potrebbe essere utile sia per scoraggiare l'inizio del suo utilizzo, specialmente tra i giovani, sia per aumentare il bagaglio motivazionale in coloro che stanno pensando di smettere.

Vincenzo Zagà

Caporedattore di *Tabaccologia*,
Medico Pneumologo, Bologna;
Giornalista medico-scientifico
✉ caporedattore@tabaccologia.it

Daniel L. Amram

Medico di Medicina del Lavoro,
Redazione di *Tabaccologia*

Marco Mura

Division of Respiriology, Department of
Medicine, Western University, London,
Ontario, Canada

Gian Piero Bandelli

U.O. Pneumologia Interventistica,
IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna

Maria Sofia Cattaruzza

Dipartimento di Sanità Pubblica e
Malattie Infettive, La Sapienza Università
di Roma; President SITAB

Bibliografia

1. Entry JA, Vance NC, Hamilton MA, Zabowski D, Watrud LS, Adriano DC. Phytoremediation of soil contaminated with low concentrations of radionuclides. *Water Air Soil Pollut* 1996;88:167-76.
2. Luan YX, Ma ZH, Pan LG. Establishment of radioactive contamination monitoring network and bioremediation of the soil around the nuclear facilities in China. *Adv Mater Res* 2012;347:512-21. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.347-353.512>
3. Chehregani A, Noori M, Yazdi HL. Phytoremediation of heavy-metal polluted soils: screening for new accumulator

Discussion

The study of Wieczorek et al. [29] showed for the first time the presence of alpha radioactivity from Po-210 and Pb-210 in *Cannabis sativa L.* products (dried cannabis, hashish and cannabis infusion): in cannabis hashish, the maximum concentrations were $160 \text{ mBq}\cdot\text{g}^{-1}$ for Po-210 and $45 \text{ mBq}\cdot\text{g}^{-1}$ for Pb-210, while in dried cannabis and cannabis tea, concentrations of both isotopes were much lower. Limiting the presence and action of radionuclides to the body is an important aspect of public health protection. Reducing the use and raising awareness of the risks associated with smoking tobacco and cannabis, which are often smoked together, have a major impact on the health of the community. In cannabis hashish, the maximum concentrations were $160 \text{ mBq}\cdot\text{g}^{-1}$ for

Po-210 and $45 \text{ mBq}\cdot\text{g}^{-1}$ for Pb-210. The statistical tests performed show the relationship between the colour of the hashish (type of hashish) and the concentrations of both radioisotopes tested. In dried hemp and cannabis-infused cannabis, concentrations of both isotopes were much lower.

Effective doses for each product type did not exceed the recommended dose of $1 \text{ mSv}\cdot\text{y}^{-1}$. The highest dose was found in hashish. However, in the case of frequent use of large amounts of hashish, they can be, along with other factors, the reason for exceeding the recommended dose. Comparing the doses with other products, such as tobacco, it can be seen that the doses of hemp products (hemp is a product of the cannabis plant with THC concentrations) are much lower than those for

tobacco smoke. The lower doses compared to tobacco are mainly due to the high differences in the concentration of parts of plants consumed by humans. The source of polonium in the hemp plant is mainly atmospheric precipitation.

Conclusion

The presence of alpha radioactivity from Polonium-210 is certainly a novelty in the field of cannabis toxicology and therefore largely unknown. Therefore, a toxicological update is needed especially for those dealing with cannabis use disorders, while it may be useful to inform users of cannabis products about the presence of alpha radioactivity. If not to dissuade the user, at least to increase the motivational gear in those who are thinking, sooner or later, of quitting cannabis use.

plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability. *Ecotoxicol Environ Saf* 2009;72:1349-53. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.02.012>

4. UNSCEAR (United Nations, Scientific committee on the effects of atomic radiation). UNSCEAR 1993 Report. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations, 1993.

5. Cherry RD, Shannon LV. The alpha radioactivity of marine organisms. *At Energy Rev* 1974;12:3-45.

6. Skwarzec B, Struminska-Parulska DI, Boryło A, Kabat K. Polonium, uranium and plutonium radionuclides in aquatic and land ecosystem of Poland. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2012;47:479-96. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.646153>

7. UNSCEAR (United Nations, Scientific committee on the effects of atomic radiation). UNSCEAR 1998 Report. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations, 1998.

8. Jaworowski Z. Environmental protection natural and man-made radionuclides in the global atmosphere. *IAEA Bull* 1982;24:35-9.

9. Jaworowski Z, Kownacka L. Lead and radium in the lower stratosphere. *Nature* 1976;263:303-4. <https://doi.org/10.1038/263303a0>

10. Moore HE, Martell EA, Poet SE. Sources of polonium-210 in atmosphere. *Environ Sci Technol* 1976;10:586-91. <https://doi.org/10.1021/es60117a005>

11. Rangarajan C, Gopala Krishnam S, Eapen CD. Global variation of ^{210}Pb in air and precipitation. *Health Saf Lab Environ Q* 1976;8:163-82.

12. Popova ON, Taskaev AI. Issledovanie putei zagriazneniia rastitel'nosti poloniem-210 i svintsom-210 [Polonium-210 and lead-210 plant cover contamination routes]. *Radiobiologiya* 1977;17:924-7.

13. Tso TC, Hallden NA, Alexander LT.

Radium-226 and polonium-210 in leaf tobacco and tobacco soil. *Science* 1964;146:1043-5. <https://doi.org/10.1126/science.146.3647.1043>

14. Tso TC, Harley NH, Alexander LT. Source of lead-210 and polonium-210 in tobacco. *Science* 1966;153:880-2. <https://doi.org/10.1126/science.153.3738.880>

15. Cohen BS, Eisenbud M, Harley NH. Alpha radioactivity in cigarette smoke. *Radiat Res* 1979;83:190-6.

16. Mussalo-Rauhamaa H, Jaakkola T. Plutonium-239, ^{240}Pu and ^{210}Po contents of tobacco and cigarette smoke. *Health Phys* 1985;49:296-301.

17. Skwarzec B, Ulatowski J, Struminska DI, Boryło A. Inhalation of ^{210}Po and ^{210}Pb from cigarette smoking in Poland. *J Environ Radioact* 2001;57:221-30. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00018-2)

18. Alam MN, Chowdhury MI, Kamal M, Ghose S, Banu H, Chakraborty D. Radioactivity in chemical fertilizers used in Bangladesh. *Appl Radiat Isot* 1997;48:1165-8. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(97\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(97)00019-5)

19. Boryło A, Olszewski G, Skwarzec B. A study on lead (^{210}Pb) and polonium (^{210}Po) contamination from phosphogypsum in the environment of Wiślinka (northern Poland). *Environ Sci Process Impacts* 2013;15:1622-8. <https://doi.org/10.1039/c3em00118k>

20. Boryło A, Romańczyk G, Kaczor M, Skwarzec B. ^{210}Po in popular medicinal herbs from Poland. *Isot Environ Health Stud* 2019;55:308-16. <https://doi.org/10.1080/10256016.2019.1609960>

21. Hoseini PS, Poursafa P, Moattar F, Amin MM, Rezaei AH. Ability of phytoremediation for absorption of strontium and cesium from soils using *Cannabis sativa*. *Int J Env Health Eng* 2012;1:17. <https://doi.org/10.4103/2277-9183.96004>

22. ICR (International Commission on Radiological Protection). Compendium

of dose coefficients based on ICRP publication 60. ICRP Publication 119. Ann ICRP 2012;41(Suppl.).

23. Olszewski G, Boryło A, Skwarzec B. Uranium (^{234}U , ^{235}U and ^{238}U) contamination of the environment surrounding phosphogypsum waste heap in Wiślinka (northern Poland). *J Environ Radioact* 2015;146:56-66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.04.001>

24. Roessler CE, Smith ZA, Bolch WE, Prince RJ. Uranium and radium-226 in Florida phosphate materials. *Health Phys* 1979;37:269-77. <https://doi.org/10.1097/00004032-197909000-00001>

25. APG IV. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot J Linn* 2016;181:1-20.

26. Martinov. Cannabaceae. Kew (Royal Botanic Gardens) 1820. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:77126717-1>

27. Kos B, Leśtan D. Soil washing of Pb, Zn and Cd using biodegradable chelator and permeable barriers and induced phytoextraction by *Cannabis sativa*. *Plant Soil* 2004;263:43-51. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047724.46413.27>

28. Olszewski G, Boryło A, Skwarzec B. A study on possible use of *Urtica dioica* (common nettle) plant as polonium ^{210}Po and lead ^{210}Pb contamination biomonitor in the area of phosphogypsum stockpile. *Environ Sci Pollut Res* 2016;23:6700-8. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5879-3>

29. Wiczeorek J, Kaczor M, Boryło A. Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb in cannabis (*Cannabis sativa* L.) plants and products. *J Environ Radioact* 2022;246:106834. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106834>

30. Pavan A. La pianta anti-inquinamento. 2019. <https://www.macrolibrarsi.it/speciali/la-pianta-anti-inquinamento.php>

HOW TO CITE

Zagà V, Amram DL, Mura M, Bandelli GP, Cattaruzza MS. Cannabis radioactivity. *Tabaccologia* 2024; XXII(2):35-40. <https://doi.org/10.53127/tblg-2024-A011>



OPEN ACCESS

L'articolo è open access e divulgato sulla base della licenza CCBY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>