

G. ZICARI¹, M. RUSSO²,
D. RIVETTI³, V. SOARDO⁴

Il nichel ed alcuni rischi sanitari ed ambientali

PROGRESS IN NUTRITION
VOL. 14, N. 4, 249-255, 2011

TITLE
Nickel and health and
environmental risks

KEY WORDS
Nichel, alimenti, dermatite,
cancro, ecotossicità.

PAROLE CHIAVE
Nichel, alimenti, dermatitis,
cancro, ecotossicità.

Summary

The nickel is a naturally occurring element that may exist in various mineral forms in water, soil and foods. It is micro-nourishing at low concentration ($\mu\text{g}/\text{day}$) but large doses may be toxic when taken orally. Also inhalation exposure in occupational setting will cause toxic effect. Nickel-induced contact dermatitis is well documented for humans. In this article it is summarized the toxicity profile of the nickel

Riassunto

Il nichel si trova in bassissime concentrazioni nel suolo, nelle acque e negli alimenti. È un micro-nutriente, cioè deve essere assunto a bassissime concentrazioni (μg al giorno) in quanto svolge alcune funzioni. Per motivi professionali o a causa dell'inquinamento ambientale si può essere esposti a concentrazioni superiori a quelle considerate di sicurezza. Inoltre, sono note da tempo le dermatiti da contatto con leghe contenenti il nichel.

Premessa

Il nichel si usa almeno dal 3500 a.C.: alcuni bronzi ritrovati in Siria contengono fino al 2% di nichel. Esistono manoscritti cinesi i quali suggeriscono che il "rame bianco" (*paitung*) era in uso in Oriente fra il 1400 ed il 1700 a.C. Comunque, poiché i minerali di nichel possono facilmente essere confusi con minerali di argento, l'uso consapevole del nichel risale ai tempi contemporanei.

A metà del 1700 si tentò di estrarre rame dalla niccolite ottenendo invece un metallo bianco che si battezzò nichel, dal tedesco kupfernickel (falso rame) o da nickel (diavoletto). La parola nichel proviene dal termine tedesco *Kupfernickel*: il nome gli fu dato dai minatori che attribuivano ad un genio maligno le colpe del ritrovamento di questo metallo, al posto del rame, che allora non aveva alcun valore. *Kupfer* significa infatti rame mentre *Nickel*, si

¹ Consulente servizio sanitario

² Tecnico della Prevenzione, ASL Asti

³ Direttore Dipartimento di Prevenzione ASL Asti

⁴ Direttore SIAN, ASL Asti

Indirizzo per la corrispondenza:
Dr. Giuseppe Zicari
Consulente servizio sanitario
E-mail: giuzic@tin.it

riferisce a Nicolaus, un genio magico.

I minerali che contengono nichel (come la niccolite o falso rame) erano apprezzati anticamente per il colore verde che conferivano al vetro. Il nichel è un metallo bianco argenteo, che può essere lucidato con grande facilità. Il nichel è apprezzato moltissimo per le proprietà che conferisce alle leghe metalliche di cui fa parte. Appartiene al gruppo del ferro, ed è duro, malleabile e duttile. Si trova combinato con lo zolfo nella millerite, con l'arsenico nella niccolite, e con arsenico e zolfo negli occhi di nichel. Il nichel è uno dei cinque elementi ferromagnetici, e si accompagna molto spesso con il cobalto. Viene estratto in miniere in Canada, in Russia, in Australia, a Cuba e in Indonesia.

La prima moneta di nichel puro venne coniatata nel 1881, mentre monete in nichel-rame vennero emesse nel II secolo a.C. A causa della particolare lega usata la moneta americana detta "nichelino" non è ferromagnetica, mentre l'equivalente canadese lo era. Per la sua ottima resistenza all'ossidazione e la stabilità chimica quando esposto all'aria, si usa per: coniare le monete di minor valore; per rivestire il ferro, l'ottone ecc.; in alcune attrezzature chimiche; in alcune leghe.

La maggior parte del nichel consumato nel mondo occidentale viene impiegato per fabbricare ac-

ciaio inox. Il nichel è anche usato per fare altri tipi di acciaio, batterie ricaricabili, catalizzatori e altri prodotti chimici, prodotti per fonderia e placcature. I suoi usi comprendono le leghe resistenti alla corrosione, i magneti ed i catalizzatori per l'idrogenazione degli oli vegetali.

Si stima una produzione mondiale di nichel pari ad almeno 1.300.000 tonnellate all'anno e che la concentrazione media del nichel nella crosta terrestre sia pari a 80 ppm e negli oceani tra 0,0001 e 0,0004 ppm (stime ricavate come medie di centinaia di analisi).

Nichel ed alimentazione

Il nichel costituisce un micronutriente, è cioè essenziale in piccolissime quantità e costituisce meno dello 0,01% del peso secco di un organismo. Il nichel sicuramente influenza diverse funzioni enzimatiche, ed una dieta carente, in modelli sperimentali animali (topo, pollo, capra) causa diversi problemi quali, ad esempio: al fegato, al-

l'assorbimento dello zinco, all'azione della vitamina B-12 e del calcio. Molti enzimi del tipo idrogenasi contengono nichel in aggiunta agli aggregati ferro-zolfo. Anche nei vegetali il nichel è noto essere importante per il funzionamento di alcuni enzimi quali l'ureasi e l'idrogenasi. Nei microrganismi il nichel è stato associato a meccanismi di trasporto.

Per quanto riguarda l'uomo adulto è stato stimato un fabbisogno giornaliero di nichel con la dieta pari ad almeno 25-35 µg al giorno. Una dieta equilibrata può apportarne fino a 150 µg al giorno. Ma diete ricche di alimenti come cioccolato, frutta secca (anacardi), fagioli secchi e grano ne possono fornire più di 900 µg al giorno.

In tabella 1 sono riportate le stime delle quantità assunte, in Canada, da un adulto di 70 Kg, attraverso diverse fonti. Si osservi che è possibile anche l'assunzione per via aerea.

Nella tabella 2 si riportano le concentrazioni di nichel registrate in alcuni alimenti. Si noti che alimenti ricchi di nichel sono le carni bovine e di maiale.

Tabella 1 - Apporto di nichel da diverse fonti

Mezzo	Apporto giornaliero stimato (µg/Kg peso corporeo/giorno)	Assunzione totale giornaliera per un adulto di 70 Kg, in µg/al giorno
Aria	0,0003-0,007	0,21-0,49
Acqua potabile	0,004-0,15	0,28-10,5
Alimenti	4,4	308

Tabella 2 - Concentrazioni di nichel in diversi alimenti

Alimento	Nichel ($\mu\text{g/g}$)
Banane	0,078
Biscotti	0,243
Bistecca di manzo cotta	1,097
Broccoli (crudo o cotto)	0,081
Caffé	0,015
Carne di maiale cotta	0,702
Carne di manzo macinata e cotta	2,521
Cavolfiore (crudo o cotto)	0,069
Cipolla cotta	0,044
Crackers	0,441
Fagioli o piselli (crudo o cotto)	0,222
Formaggio	0,066
Funghi freschi	0,045
Funghi in scatola	0,152
Gelato	0,323
Grano	0,053
Latte	0,009
Lattuga	0,097
Mele	0,042
Melone	0,063
Molluschi freschi o congelati	0,118
Pane	0,053
Patate bollite senza buccia	0,042
Patate fritte	0,342
Pere	0,133
Pesche	0,109
Pesci di mare cotti	0,211
Pizza	0,105
Salsa di pomodoro in scatola	0,067-0,410
Susina	0,284
Tea	0,052
Vino	0,028
Yogurt	0,014

Un'altra fonte di nichel è l'acqua potabile che ne può contenere da 5 a 20 $\mu\text{g/l}$ (medie riferite ad analisi di acque in tutto il mondo). Il nichel è idrosolubile e si diffonde fa-

cilmente con l'acqua. L'EPA (Environmental Protection Agency, USA) ha suggerito una concentrazione massima di nichel nelle acque potabili pari a 0,1 ppm. Se

questo valore viene superato per oltre tre mesi dovrebbe essere ridotta la concentrazione utilizzando l'osmosi inversa e lo scambio ionico. Mentre l'Unione Europea consiglia di non superare 0,02 ppm.

Si ritiene che tra l'1 ed il 10% del nichel apportato con la dieta sia assorbito. L'assorbimento per via inalatoria è considerato più pericoloso.

Il nichel è escreto con le urine e con le feci. Le feci ne contengono concentrazioni 100 volte maggiori di quelle delle urine. Persone non particolarmente esposte al nichel hanno una concentrazione urinaria pari a 0,4-0,6 g/l, mentre persone esposte arrivavano a 400 g/l. Quindi, 0,6 g/l nelle urine è la soglia teoricamente utilizzabile per misurare probabili esposizioni: il tempo di dimezzamento delle concentrazioni nel corpo è di circa 28 giorni.

Un'assunzione per via orale superiore a 0,5 g di alcune forme di nichel causa già effetti tossici acuti. Diversi tipi di composti di nichel hanno proprietà e tossicità differenti.

Nell'uomo 1,6 g/l di solfato e cloruro di nichel nelle acque potabili sono in grado di generare rapidamente sintomi da intossicazione (diarrea, vomito, dolori addominali e mal di testa; nel topo 1 g/l di cloruro di nichel nelle acque genera un aumento della mortalità).

Ma anche concentrazioni minori nelle acque (tra 13 e 1.300 µg/l) hanno fatto registrare diversi ricoveri ospedalieri. Inoltre, l'assunzione orale di nichel ha fatto registrare un aumento delle dermatiti da contatto da nichel, soprattutto nelle donne. L'assunzione di quantità eccessive di nichel per via orale può generare effetti negativi alla riproduzione ed allo sviluppo nei bambini. Il nichel è facilmente accumulato nei polmoni e nella pelle, ma è accumulato anche nella milza, nel fegato, nel cuore e nella placenta.

La Dose di riferimento (Reference Dose, RfD) esprime la concentrazione che assunta quotidianamente non dà effetti avversi e non misura effetti cancerogeni (è equivalente all'ADI, Admissible Daily Intake). Una dose di riferimento ricavata da studi sui topi per i sali solubili di nichel è pari a 0,02 mg/kg/giorno.

In California, uno studio specifico, ha riportato di consigliare un consumo massimo nei giovani di 3,7 µg di nichel per Kg di peso corporeo al giorno.

Nichel ed ecotossicità

Il nichel può essere immesso nella catena alimentare attraverso i rifiuti che lo contengono. Il compost ottenuto dalla fermentazione aerobica della frazione organica dei ri-

fiuti solidi urbani da raccolta differenziata ne deve contenere al massimo 100 mg/Kg sul peso secco (D.Lgs. n. 217 del 29/04/2006). La Regione Piemonte prevede il seguente limite di accettabilità per i materiali che possono entrare nel centro di compostaggio: 250 mg/Kg di peso secco.

Il limite per i fanghi di depurazione biologica ed altri residui organici compatibili con il compostaggio, in ingresso agli impianti di produzione dell'Ammendante Compostato di Qualità in Veneto è: nichel totale <300 ppm di peso secco.

Alcuni dati di letteratura trovano il nichel nel compost a concentrazioni tra 0,8 e 1.220 ppm. Ma il suolo trattato con il compost può, nel tempo, accumularlo fino a 4.000 ppm.

La concentrazione media del nichel nella crosta terrestre è pari a circa 80 ppm e negli oceani tra 0,0001 e 0,0004 ppm (stime ricavate come medie di centinaia di analisi). In Olanda, 30 anni di uso del compost hanno fatto registrare un aumento delle concentrazioni di metalli nel suolo, come il nichel, fino a 4 volte quella iniziale.

Vegetali coltivati in suolo trattato con compost da frazione organica dei rifiuti solidi urbani da raccolta differenziata, bioaccumulano il nichel: 61 ppm nel grano; 17 ppm nel mais; 15 ppm nelle piantine intere di soia.

La determinazione della ecotossicità è molto complessa ed è influenzata dalle specie scelte per misurarla, dalle concentrazioni, dalla durata dell'esposizione, da fattori interferenti, dalla biodisponibilità (es.: solubilità), dalla via di contatto (aria, acqua, nutrienti), della capacità di bioaccumulo, del pH ecc. Fatta questa premessa si riportano alcuni risultati i quali ipotizzano che le concentrazioni che causano sicuramente effetti nocivi per gli organismi acquatici (es. *Daphnia magna*) siano comprese tra 5 e 50 mg/l, con una media di 30 (come cloruro di nichel) e per gli organismi terrestri (vegetali ed invertebrati) tra 10 e 50 mg per Kg di suolo.

Nichel e dermatiti da contatto

Molti agenti chimici, incluso il nichel, possono causare dermatiti da contatto che si manifestano con un'inflammatione dell'area della pelle coinvolta. Le diverse forme dei composti di nichel possono avere effetti diversi. Ad esempio, il solfato di nichel ed il cloruro di nichel sono facilmente assorbiti dalla pelle: il 77% in 24 ore. Si stima che, in Europa, il nichel contenuto negli orologi, nei gioielli (es.: orecchini), nelle chiusure lampo, nelle chiavi, negli apparecchi dentali ed in alcune monete ha causato la predisposizione a der-

matiti tra il 5 ed il 15% delle donne e tra lo 0,5 e l'1% degli uomini. Si stima che almeno il 10% della popolazione mondiale è esposta a concentrazioni di nichel tali da poter sviluppare reazioni allergiche (mediate da linfociti T).

Una regolamentazione europea (Direttiva 94/27/EC) ha proposto di non superare la concentrazione di nichel dello 0,5 µg per centimetro quadrato per settimana (attraverso, ad esempio, solubilizzazione col sudore, per un uso di due anni). Questo limite comunque non protegge il 100% degli individui.

Le dermatiti allergiche da contatto da nichel sono quindi note sia nei lavoratori (es. fabbriche di batterie) che nella popolazione. Si ritiene che nei casi peggiori sia sufficiente un contatto per meno di tre settimane continuative con qualche forma solubile di nichel per sviluppare l'allergia. Una volta divenuto allergico l'individuo avrà risposte entro poche ore dal contatto ed a concentrazioni più basse di quelle iniziali.

Anche l'assunzione orale di nichel favorisce reazioni allergiche sulla pelle o comunque danneggia persone già allergiche. Mentre le reazioni da dermatite da contatto non sembrano essere influenzate dal nichel inalato.

Lavoratori che hanno sicuramente registrato un aumento significativo da dermatiti da contatto sono stati:

- quelli nelle raffinerie e lavorazioni dei composti del nichel (es.: batterie);
- musicisti;
- impiegati di banca;
- impiegati tipografici;
- lavoratori delle ceramiche;
- sarti;
- macellai.

Nichel e cancro

Lavoratori esposti per via inalatoria a concentrazioni basse di nichel aumentano il rischio di tumore alle vie respiratorie (dati riferiti a tutte le forme di nichel). Non tutte le forme di nichel hanno la stessa capacità di causare problemi. Il nichel si trova in decine di composti e leghe diverse e possono essere catalogati, per semplificare, in quattro categorie:

- metallico (anche in leghe);
- ossido (idrossidi, carbonati, complessi con il rame, NiO);
- composti con lo zolfo insolubili (Ni₃S₂);
- composti solubili (con lo zolfo, il cloro e sali; sono quelli assorbiti più rapidamente come Ni²⁺).

È noto che il nichel causa tossicità e risposte infiammatorie delle vie respiratorie per inalazione. Il cancro alle vie respiratorie come, ad esempio, il tumore al naso ed al polmone, può essere causato da concentrazioni elevate, pari a più di 10 mg per metro cubo di composti come

Ni₃S₂, NiO e composti col rame. Concentrazioni pari ad 1 mg/m³ sembrano non aumentare la mortalità per tumore alle vie respiratorie. In esperimenti sul topo il Ni₃S₂ è sicuramente associato ad una cancerogenicità per via inalatoria. Anche il nichel disciolto in acqua potrebbe favorire il tumore alle vie respiratorie (composti solubili del nichel: solubilità > 1 g/l a 25°C).

Diverse agenzie internazionali, quali lo IARC (Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro), riconoscono ad alcune forme di nichel, soprattutto quelle solubili, la capacità di generare tumori alle vie respiratorie per inalazione.

Negli animali una dose letale di nichel per il 50% degli individui (LC50) per via inalatoria è compresa tra 0,97 mg/m³ per i ratti (6 ore di esposizione) e 15 mg/m³ per i criceti (guinea pig).

Alcuni studi hanno evidenziato che lavoratori esposti a 0,1-0,2 mg/m³ hanno avuto effetti negativi sullo sviluppo e sulla riproduzione.

È noto che l'esposizione di lavoratori per 13 giorni a concentrazioni di nichel totale pari a 382 mg/m³ (90 minuti), per un'assunzione totale stimata di 1 g di nichel, causa la morte. Una esposizione per brevi periodi a 7 mg/m³ di nichel causa sintomi da intossicazione acuta nell'uomo.

Lavoratori esposti a meno di 1 mg/m³ di nichel per 6 settimane

hanno registrato diversi effetti come irritazione degli occhi e delle vie respiratorie. La tossicità polmonare di alcuni composti è diversa: $\text{NiSO}_4 > \text{Ni}_3\text{S}_2 > \text{NiO}$.

L'esposizione cronica per via respiratoria aumenta la registrazione di asma, bronchiti, sinusiti, riniti e tumori alle vie respiratorie.

Il T.L.V. (Threshold Limit Value) indica i valori limite di soglia stimati per l'esposizione a sostanze aerodisperse indicanti il livello al quale si ritiene possano essere esposti quotidianamente i lavoratori senza effetti negativi per la salute. Si riportano i TLV di due composti: 0,1 mg di nichel per via inalatoria come $\text{Ni}_3\text{S}_2/\text{m}^3$ o 0,2 mg di nichel per via inalatoria come NiO/m^3 .

Bibliografia essenziale

- ACGIH, 1998, <http://www.acgih.org/Store/ProductDetail.cfm?id=1125>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1988. Toxicological Profile for Nickel. ATSDR/TP-88/19. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia: U.S. Public Health Service.
- Andersen A, Berge SR, Engeland A, Norseth T. Exposure to nickel compounds and smoking in relation to incidence of lung and nasal cancer among nickel refinery workers. *Occup Environ Med* 1996; 53 (10): 708-13.
- Barceloux DG. Nickel. *J Toxicol Clin Toxicol* 1999; 37 (2): 239-58.
- Bencko V. Nickel: a review of its occupational and environmental toxicology. *J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol* 1983; 27 (2): 237-47.
- Christensen OB. Effect on growth and nickel content of cabbage plants watered with nickel solutions. *Contact Dermatitis* 1979; 5 (4): 239-43.
- D.Lgs. 29 aprile 2006, n. 217, (in Suppl. ord. n. 152, alla Gazz. Uff., 20 giugno 2006, n. 141). Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti.
- Das KK, Buchner V. Effect of nickel exposure on peripheral tissues: role of oxidative stress in toxicity and possible protection by ascorbic acid. *Rev Environ Health* 2007; 22 (2): 157-73.
- Deportes I, Benoit-Guyod JL, Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. *Sci Total Environ* 1995; 172 (2-3): 197-22.
- Direttiva 94/27/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 giugno 1994 che stabilisce la dodicesima modifica della direttiva 76/769/CEE concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati Membri relative alla limitazione dell'immissione sul mercato e dell'uso di talune sostanze e preparati pericolosi. GU L 188 del 22.7.1994.
- Echevarria G, Massoura ST, Sterckeman T, Becquer T, Schwartz C, Morel JL. Assessment and control of the bioavailability of nickel in soils. *Environ Toxicol Chem* 2006; 25 (3): 643-51.
- EPA 1995, Formal Toxicity Summary for nickel and nickel compounds, http://rais.ornl.gov/tox/profiles/nickel_and_nickel_compounds_f_V1.html. The Imperial College London and the Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive 2007. <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr595ann6.pdf>
- Feron VJ, Arts JH, Kuper CF, Slootweg PJ, Woutersen RA. Health risks associated with inhaled nasal toxicants. *Crit Rev Toxicol* 2001; 31 (3): 313-47.
- Fischer LA, Menné T, Johansen JD. Experimental nickel elicitation thresholds—a review focusing on occluded nickel exposure. *Contact Dermatitis* 2005; 52 (2): 57-64.
- Grandjean P. Human exposure to nickel. *IARC Sci Publ* 1984; 53: 469-85.
- Haber LT, Erdreich L, Diamond GL, et al. Hazard identification and dose response of inhaled nickel-soluble salts. *Regul Toxicol Pharmacol* 2000; 31 (2 Pt 1): 210-30.
- He ZL, Yang XE, Stoffella PJ. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J Trace Elem Med Biol* 2005; 19 (2-3): 125-40.
- <http://www.mindat.org/min-2895.html>
- International Agency for Research on Cancer (IARC) - Summaries & Evaluations, nickel and nickel compounds. Nickel compounds (Group 1). Metallic nickel (Group 2B). <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol49/nickel.html>
- Musmeci L, et al. Aspetti igienico-sanitari per la produzione di compost di elevate qualità. *Ann Ist Super Sanità* 1977; 33 (4): 595-603.
- Leblanc JC, Guérin T, Noël L, Calamas-Tan G, Volatier JL, Verger P. Dietary exposure estimates of 18 elements from the 1st French Total Diet Study. *Food Addit Contam* 2005; 22 (7): 624-41.
- Lombardi C, Bottello M, Caruso A, Gargioni S, Passalacqua G. Allergy and skin diseases in musicians. *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 2003; 35 (2): 52-5.
- McIlveen WD, Negusanti JJ. Nickel in the terrestrial environment. *Sci Total Environ* 1994; 148 (2-3): 109-38.
- Navarro Silvera SA, Rohan TE. Trace elements and cancer risk: a review of the epidemiologic evidence. *Cancer Causes Control* 2007; 18 (1): 7-27.
- NIOSH, <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0445.html>
- OEHHA, 2003, http://www.oehha.ca.gov/prop65/prop65_list/050704list.html
- Oller AR. Respiratory carcinogenicity assessment of soluble nickel compounds.

- Environ Health Perspect 2002; 110 Suppl 5: 841-4.
- OSHA, <http://www.osha.gov/SLTC/metalsheavy/nickel.html>, <http://ntp.niehs.nih.gov/go/roc12>
 - Pillay V, Jonnalagadda SB. Elemental uptake by edible herbs and lettuce (*Lactuca sativa*). *J Environ Sci Health B* 2007; 42 (4): 423-8.
 - Brandli RC, et al. Persistent organic pollutants in source-separated compost and its feedstock materials, a review of field studies. *Journal of environmental quality* 2006; 34 (3), may-june 2006.
 - Razić S, Dogo S, Slavkovi L. Investigation on bioavailability of some essential and toxic elements in medicinal herbs. *Nat Med (Tokyo)* 2008; 62 (3): 340-4.
 - Schram SE, Warshaw EM. Genetics of nickel allergic contact dermatitis. *Dermatitis* 2007; 18 (3): 125-33.
 - Seilkop SK, Oller AR. Respiratory cancer risks associated with low-level nickel exposure: an integrated assessment based on animal, epidemiological, and mechanistic data. *Regul Toxicol Pharmacol* 2003; 37 (2): 173-90.
 - Sharma AD. Relationship between nickel allergy and diet. *Indian J Dermatol Venereol Leprol* 2007; 73 (5): 307-12.
 - Sunderman FW, Jr. Mechanisms of nickel carcinogenesis. *Scand J Work Environ Health* 1989; 15: 1-12.
 - Thyssen JP, Johansen JD, Menné T. Contact allergy epidemics and their controls. *Contact Dermatitis* 2007; 56 (4): 185-95.
 - Thyssen JP, Linneberg A, Menné T, Johansen JD. The epidemiology of contact allergy in the general population-prevalence and main findings. *Contact Dermatitis* 2007; 57 (5): 287-99.
 - WHO, 1991; international programme on chemical safety, environmental health criteria 108, nickel, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm>
 - www.nickelallergy.org
 - www.nickelinstitute.org
 - Ysart G, Miller P, Crews H, et al. Dietary exposure estimates of 30 elements from the UK Total Diet Study. *Food Addit Contam* 1999; 16 (9): 391-403.