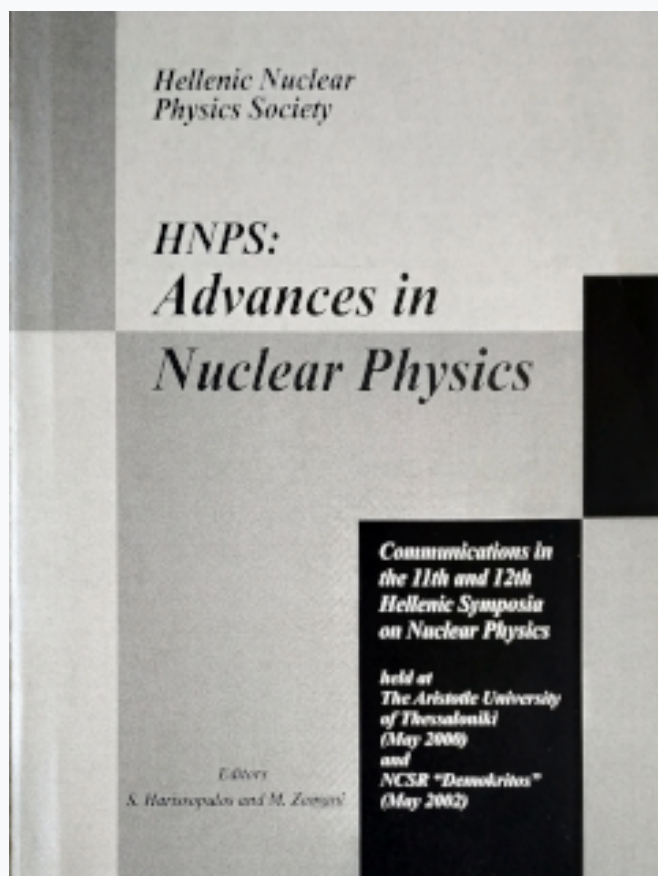


HNPS Advances in Nuclear Physics

Vol 11 (2002)

HNPS2000 and HNPS2002



Μεταφορά των ραδιενεργών ισotόπων ^{137}Cs , ^{40}K και ^7Be από το έδαφος στους φυτικούς οργανισμούς

A. Ιωαννίδου, Μ. Μανωλοπούλου, Σ. Στούλος, Ε. Γερασόπουλος, Κ. Παπαστεφάνου

doi: [10.12681/hnps.2235](https://doi.org/10.12681/hnps.2235)

To cite this article:

Ιωαννίδου Α., Μανωλοπούλου Μ., Στούλος Σ., Γερασόπουλος Ε., & Παπαστεφάνου Κ. (2019). Μεταφορά των ραδιενεργών ισotόπων ^{137}Cs , ^{40}K και ^7Be από το έδαφος στους φυτικούς οργανισμούς. *HNPS Advances in Nuclear Physics*, 11. <https://doi.org/10.12681/hnps.2235>

Μεταφορά των ραδιενεργών ισοτόπων ^{137}Cs , ^{40}K και ^7Be από το έδαφος στους φυτικούς οργανισμούς

Ιωαννίδου Α., Μανωλοπούλου Μ., Στούλος Σ., Γερασόπουλος Ε., Παπαστεφάνου Κ.

Περίληψη

Μετρήσεις συγκεντρώσεων ^{137}Cs και φυσικών ραδιονουκλιδίων, όπως ^{40}K και ^7Be στο χώμα και στο γρασίδι πραγματοποιήθηκαν για μακρά περίοδο στην πόλη της Θεσσαλονίκης (γεωγρ. πλάτος 40°N), προκειμένου να προσδιοριστεί ο παράγοντας μεταφοράς από το χώμα στα φυτά. Μετρήσεις για περίοδο 11 ετών από το ατύχημα του Τσερνομπίλ (Απρίλιος 1986) έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του ^{137}Cs κυμαίνονταν μεταξύ 3.73 και 1307 Bq kg^{-1} (avg. 210.5 Bq kg^{-1}) στο χώμα και μεταξύ 0.4 και 334.9 Bq kg^{-1} (avg. 14.5 Bq kg^{-1}) στο γρασίδι. Οι συγκεντρώσεις του ^{40}K κυμαίνονται από 141.4 έως 580.2 Bq kg^{-1} (avg. 224.4 Bq kg^{-1}) στο χώμα και μεταξύ 66.3 και 1480 Bq kg^{-1} (avg. 399.8 Bq kg^{-1}) στο γρασίδι. Τέλος, οι συγκεντρώσεις του ^7Be στο χώμα κυμαίνονται μεταξύ 0.53 και 39.6 Bq kg^{-1} (avg. 14.4 Bq kg^{-1}) και μεταξύ 2.1 και 348.0 Bq kg^{-1} (avg. 54.4 Bq kg^{-1}) στο γρασίδι.

Ο συντελεστής μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι προσδιορίστηκε για τα τρία παραπάνω ισότοπα και κυμαίνεται από 0.002 έως 7.42 (avg. 0.20) για το ^{137}Cs , μεταξύ 0.16 και 2.42 (avg. 0.73) για το ^{40}K και 0.027 και 2.37 (avg. 0.42) για το ^7Be . Ο οικολογικός χρόνος ημίσειας ζωής, T_{ec} , για το ^{137}Cs στο γρασίδι προκύπτει ίσος με $3^{1/3}$ έτη. Ο οικολογικός χρόνος ημίσειας ζωής για το ^{40}K προκύπτει ίσος με $3^{2/3}$ έτη, δηλαδή της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτόν του ^{137}Cs .

1. Εισαγωγή

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη μεταφορά των ^{137}Cs , ^{40}K και ^7Be από το χώμα στο γρασίδι, μια διεργασία που παίζει σημαντικό ρόλο στο μονοπάτι χώμα- γρασίδι - γάλα - άνθρωπος. Είναι γνωστό ότι τα φυσικά ραδιονουκλίδια που υπάρχουν στο χώμα ενσωματώνονται στο μεταβολισμό των φυτών. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα τεχνητά ραδιονουκλίδια που έχουν εισέλθει στο χώμα. Πέρα από τη λήψη από το χώμα, λαμβάνει χώρα και απ'ευθείας απόθεση στο φύλλωμα των φυτών, και όταν αυτό συμβαίνει τα ραδιονουκλίδια μπορεί να απορροφηθούν με μεταβολισμό από τα φυτά.

Η αναρρόφηση των μακρόβιων ραδιενεργών από τα φυτά εξαρτάται σημαντικά από το βαθμό με τον οποίο είναι χημικά διαθέσιμα. Δεν είναι γνωστά τα ποσοστά - αναλογίες με τα οποία τα διάφορα ραδιονουκλίδια θα μεταναστεύσουν διαμέσου διαφόρων τύπων χώματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες pH και υγρασίας.

Από τα φυσικά αρχέγονα ραδιονουκλίδια, το ^{40}K ($T_{1/2} = 1.28 \times 10^9 \text{ y}$) βρίσκεται σε αφθονία στο χώμα σαν σταθερό K συνιστώντας το 2.59% του φλοιού της γης (Mason, 1996). Οι συγκεντρώσεις του στο χώμα κυμαίνονται από 100 έως 700 Bq kg^{-1} (avg 370 Bq kg^{-1}) (UNSCEAR, 1982). Από τα κοσμογενετικά ραδιονουκλίδια, το ^7Be ($T_{1/2}=53.3\text{d}$), ένα σχετικά βραχύβιο ραδιενεργό, είναι πάντα παρόν στην ατμόσφαιρα. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις στην εύκρατη ζώνη είναι περίπου 3 mBq m^{-3} στη χαμηλή ατμόσφαιρα και αντίστοιχα 700 mBq m^{-3} στο νερό της βροχής (UNSCEAR, 1982). Εναποτίθεται στο έδαφος λόγω υγρής και ξηρής απόθεσης και εύκολα ανιχνεύεται στο χώμα και στο γρασίδι (Papastefanou & Ioannidou, 1991). Το από

ατύχημα του Τσερνομπίλ ραδιενεργό ισότοπο ^{137}Cs ($T_{1/2}=30.17\text{d}$) ανιχνεύεται και αυτό σε σχετικά υψηλές ηγκεντρώσεις τόσο στο χώμα όσο και στο γρασίδι καθώς εναποτέθηκε μέσω της βροχής που έλαβε χώρα το άριο του 1986 (23.9 kBq m^{-2}), Papastefanou et al., 1988a.

Το Καίσιο, ένα αλκαλικό μέταλλο συγγενές του Κ, ανήκει στην Ι Ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, ενώ Βε ανήκει στην Ομάδα Ια. Το Καίσιο ως ηλεκτροθετικότερο του Κ μπορεί να το αντικαταστήσει όποτε άρξει έλλειψη ή ανεπάρκεια του τελευταίου. Έτσι η παρουσία του ^{137}Cs στα φυτά μπορεί να οφείλεται στην ίοσληψή του από το χώμα ακριβώς όπως γίνεται με την πρόσληψη του Κ. Οι ρίζες των φυτών δεν είναι νατόν να διακρίνουν μεταξύ των χημικά συγγενών στοιχείων κατα τη διαδικασία της πρόσληψης από τις ρίζες isenbud, 1973). Βρέθηκε ότι οι συγκεντρώσεις του ^{137}Cs στο χώμα είναι αντιστρόφως ανάλογες των ηγκεντρώσεων του ^{40}K ή του Κ στο χώμα (Papastefanou et al., 1988b).

Πειραματική διαδικασία

Για περίοδο 11 ετών μετά το ατύχημα του Τσερνομπίλ, δείγματα γρασιδιού και χώματος συλλέγονταν ό το χώρο της Πανεπιστημιούπολης, του Α.Π.Θ., ($40^{\circ}\text{N } 38^{\circ}\text{N}$, $22^{\circ} 58^{\circ}\text{E}$) περιοχή με ξηρό κλίμα (με μέσο ρος βροχής 424 mm για την περίοδο 1986-1997). Δείγματα επιφανειακού χώματος συλλέγονταν μια φορά το να (στα μέσα του μήνα). Τα δείγματα συλλέγονταν από μια επιφάνεια $30\text{cm} \times 30\text{cm}=900\text{cm}^2$ και βάθους m . Η περιοχή συλλογής επιλέχθηκε έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία απολύτως ανθρώπινη δραστηριότητα, μη άλιεργήσιμη, χωρίς λιπάσματα μη αρδεύσιμη και που δεν κουρεύεται. Η συνολική περιοχή μελέτης ήταν ρίτου $20\text{m} \times 20\text{m}=400\text{m}^2$, κατάλληλα περιφραγμένη. Το γρασίδι συλλέγονταν από μια περιοχή 3m^2 ($0.125\text{kg ass per m}^2$) την ίδια στιγμή και από την ίδια περιοχή που γινόταν και η συλλογή χώματος (Papastefanou et al., 1988a).

Οι μετρήσεις ενεργότητας των ^{137}Cs , ^{40}K και ^7Be στο χώμα και στο γρασίδι έγιναν χρησιμοποιώντας αν υψηλής διακριτικής ικανότητας ανιχνευτή Γερμανίου ($1.9\text{ keV at } 1.33\text{ MeV Co-60}$) και υψηλής απόδοσης 1%. Οι ενέργειες των γ είναι 662 keV (85%) για το ^{137}Cs , 1460.75 keV (11%) για το ^{40}K και 477 keV (10.3%) α το ^7Be . Η ολική απόδοση είναι γνωστή με ακρίβεια 12% για τη γεωμετρία Marinelli.

Αποτελέσματα – Συζήτηση

1 Χώμα

Μετρήσεις ^{137}Cs , ^{40}K και ^7Be στο χώμα πραγματοποιήθηκαν για μια περίοδο 11 ετών (Αυγ.1986-υλ.1997). Οι συγκεντρώσεις του ^{137}Cs στο χώμα κυμαίνονται μεταξύ 3.73 και 1307 Bq kg^{-1} (avg 210.5 Bq kg^{-1} (Πίνακας 1). Υψηλές συγκεντρώσεις Καϊσίου στο χώμα ανιχνεύτηκαν κατά τη χειμερινή και φθινοπωρινή ρίοδο κάθε χρόνου. Η αύξηση αυτή οφείλεται στις βροχοπτώσεις και στην αποστράγγιση καθώς και στην ώση των φύλλων κατά την περίοδο του φθινοπώρου. Ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις ^{137}Cs μετρήθηκαν : δείγματα χώματος που συλλέχθηκαν στις 17 Οκτ. 1988 (1307 Bq kg^{-1}), 8 Μαΐου 1992 (809 Bq kg^{-1}), 20 αρτίου 1995 (582 Bq kg^{-1}) και 11 Οκτ. 1996 (573 Bq kg^{-1}), ενώ ο λόγος $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ στα συγκεκριμένα αυτά ίγματα ήταν ο αναμενόμενος. Τέτοια αύξηση στις συγκεντρώσεις του ^{137}Cs μπορεί να οφείλεται σε αιωρούμενο χώμα από τον περιβάλλοντα χώρο (Garland & Playford, 1990; Couthrey et al., 1990; ipastefanou and Manolopoulou, 1989). Οι συγκεντρώσεις του ^{40}K στο χώμα κυμαίνονται από 141.4 έως 580.2

Bq kg⁻¹ (avg. 224.4 Bq kg⁻¹) (Πίνακας 1). Τέλος οι συγκεντρώσεις του ⁷Be στο χώμα κυμαίνονται από 0.53 έως και 39.6 Bq kg⁻¹ (avg. 14.4 Bq kg⁻¹) (Πίνακας 1).

3.2 Γρασίδι

Οι συγκεντρώσεις των ¹³⁷Cs, ⁴⁰K και ⁷Be επίσης μετρήθηκαν για την ίδια περίοδο των 11 ετών στο γρασίδι (Αυγ.1986-Ιουλ.1997). Οι συγκεντρώσεις του ¹³⁷Cs στο γρασίδι κυμαίνονται μεταξύ 0.4 και 334.9 Bq kg⁻¹ (avg 14.5 Bq kg⁻¹) (Πίνακας 1). Υπάρχει μία τάση ελάττωσης του ¹³⁷Cs με το χρόνο αντικατοπτρίζοντας έναν δραστικό χρόνο ημίσειας ζωής 40 μηνών (3^{1/3}) (Papastefanou et al., 1996). Μέγιστες συγκεντρώσεις ¹³⁷Cs στο γρασίδι ανιχνεύονται κατά την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού κάθε χρόνου λόγω της ανάληψης από το σύστημα των ριζών των συστατικών των αποσαθρωμένων φύλλων. Καθώς το Καίσιο από το fallout ενσωματώνεται στο βιολογικό κύκλο (Ritzie et al., 1970) θα είναι παρόν στο περιβάλλον για αρκετό χρόνο μετά το ατύχημα. Οι συγκεντρώσεις του ⁴⁰K στο γρασίδι κυμαίνονται από 66.3 έως 1480 Bq kg⁻¹ (avg. 399.8 Bq kg⁻¹) (Πίνακας 1). Τέλος οι συγκεντρώσεις του ⁷Be στο χώμα κυμαίνονται από 2.1 έως και 348.0 Bq kg⁻¹ (avg. 54.4 Bq kg⁻¹) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1

Ραδιονουκλίδιο	Συγκεντρώσεις	Συγκεντρώσεις	Παράγοντας μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι
	Ραδιονουκλιδίων στο χώμα (Bq kg ⁻¹)	Ραδιονουκλιδίων στο γρασίδι (Bq kg ⁻¹)	
⁴⁰ K	224.4 (141.4 – 580.2)	399.8 (66.3 – 1480.0)	0.73 (0.16 - 2.42)
¹³⁷ Cs	14.4 (0.53 – 39.6)	54.4 (2.1 – 348.0)	0.42 (0.027 – 2.37)
⁷ Be	210.5 (3.73 – 1307.0)	14.5 (0.4 – 334.9)	0.20 (0.002 – 7.42)

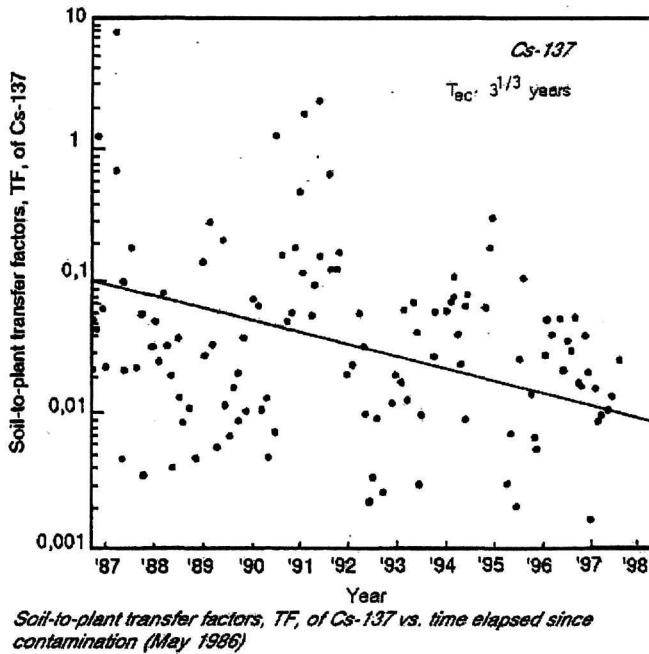
3.3 Μεταφορά των ραδιονουκλιδίων από το χώμα στο γρασίδι

Οι συγκεντρώσεις των ραδιονουκλιδίων στο χώμα και στη βλάστηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του παράγοντα μεταφοράς (συντελεστή μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι), TF, δηλ. ο λόγος

$$TF = \frac{[R_i, Bq kg^{-1} d.w.]^{plant}}{[R_i, Bq kg^{-1} d.w.]^{soil}}$$

Όπου R_i είναι η ανάληψη του ιστού ραδιονουκλιδίου από τα φυτά μέσω των ριζών από το χώμα. Στην βιβλιογραφία ο λόγος αυτός είναι ακόμα γνωστός και σαν σχετικός παράγοντας συγκέντρωσης (Eisenbud, 1973), ή σαν λόγος συγκέντρωσης φυτού – χώματος, CR (Kathreen, 1984). Για τη βλάστηση στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, εύκρατη ζώνη (40°N), προσδιορίστηκε ο παράγοντας μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι για κάθε ραδιονουκλίδιο R_i = ¹³⁷Cs, ⁴⁰K και ⁷Be για κάθε μήνα για την περίοδο των 11 ετών (Αυγ.1986 – Ιουλ. 1997).

Ο παράγοντας μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι για το ^{137}Cs συναρτήσει του χρόνου, αρχής νομένης το Μάιο του 1986, δίνεται στο *διάγραμμα 1*. Οι τιμές του παράγοντα μεταφοράς για το ^{137}Cs κυμαίνονται από 0.002 (Δεκ. 1996) έως 7.42 (Φεβ. 1987) (avg. 0.20). Τα δεδομένα του διαγράμματος αυτού χροσιάζουν σημαντική διασπορά, δηλώνοντας ότι δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του παράγοντα μεταφοράς του ^{137}Cs και του χρόνου. Παρ' όλα αυτά θεωρώντας τις τιμές του παράγοντα μεταφοράς για το ^{137}Cs τό 0.1 έως 0.01 (66.4% των μετρήσεων) προκύπτει οικολογικός χρόνος ημίσειας ζωής T_{ec} , ίσος με $3^{1/3}$ έτη. Η τιμή οικολογικού χρόνου ημίσειας ζωής προκύπτει για το ^{137}Cs στο γρασίδι (Papastefanou et al., 1996). Οι Rosen et al., (1995) αναφέρουν ότι ο οικολογικός χρόνος ημίσειας ζωής για το ^{137}Cs σε βότανα στη Βόρεια Γερμανία (65°N) κυμαίνεται από 3 έως 21 έτη με μεση τιμή 7 έτη.

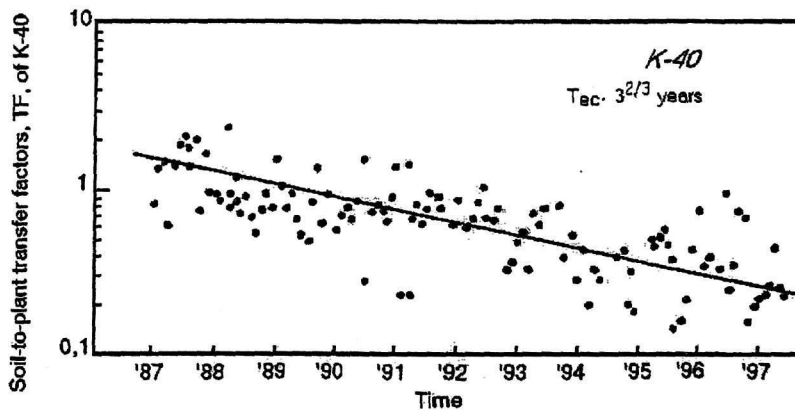


Διάγραμμα 1. Παράγοντας μεταφοράς, TF, από το χώμα στο γρασίδι για το ^{137}Cs συναρτήσει του χρόνου

Σε προηγούμενη μελέτη, οι Papastefanou et al., (1988b) αναφέρουν ότι οι παράγοντες μεταφοράς από χώμα στο γρασίδι για το ^{137}Cs κυμαίνονται μεταξύ 0.02 και 0.2 (avg 0.07) και από 0.009 έως 0.018 (avg 0.012) για τα φύλλα των φυλλοβόλων δέντρων, τιμές που βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τιμές από 0.01 έως 0.01 που προσδιορίστηκαν για τη βλάστηση πριν το ατύχημα του Τσερνομπίλ στην εύκρατη ζώνη (48°N – 52°N) η Γερμανία (Kuhn et al., 1984).

Ο Eisenbud (1973) ανέφερε ότι η σχετική τάση του Καισίου να συγκεντρώνεται από το χώμα στο γρασίδι κυμαίνεται από 0.01 έως 1, ενώ ο Kathreen (1984) αναφέρει σαν τυπικό λόγο συγκέντρωσης φυτού - χώματος 0.01 για το Καισίο (UNSCEAR, 1977).

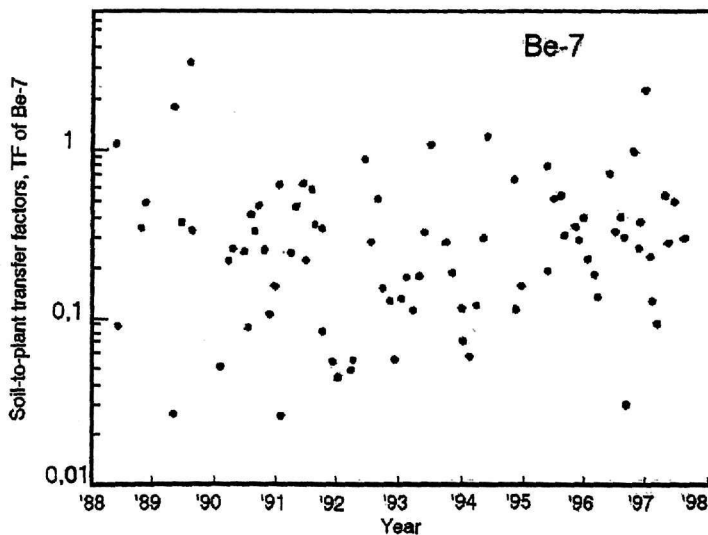
Ο παράγοντας μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι για το ^{40}K στη βλάστηση κυμαίνεται από 0.16 έως 12 (avg 0.73) (*Διάγραμμα 2*). Για το 85.6% των μετρήσεων ο παράγοντας μεταφοράς για το ^{40}K κυμαίνεται από 0.1 έως 1.0. Υπάρχει μία τάση μείωσης του παράγοντα μεταφοράς του ^{40}K με το χρόνο, προφανώς λόγω της ταλλαγής του Καλίου από το Καισίο, αντικατοπτρίζοντας έτσι έναν οικολογικό χρόνο ημίσειας ζωής ίσο με $3^{1/3}$ έτη, πολύ κοντά με αυτόν που προσδιορίστηκε για το ^{137}Cs στη βλάστηση.



Soil-to-plant transfer factors, TF, of K-40 vs. time

Διάγραμμα 2. Παράγοντας μεταφοράς, TF, από το χώμα στο γρασίδι για το ^{40}K συναρτήσει του χρόνου

Ο παράγοντας μεταφοράς από το χώμα στο γρασίδι για το ^7Be στη βλάστηση κυμαίνεται από 0.027 έως 2.37 (avg 0.42) (Διάγραμμα 3). Για το 70,7% των μετρήσεων ο παράγοντας μεταφοράς για το ^7Be κυμαίνεται από 0.1 έως 1.0. Τα δεδομένα του διαγράμματος 3 παρουσιάζουν μία σημαντική διασπορά δείχνοντας ότι δεν υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ του παράγοντα μεταφοράς του ^7Be με το χρόνο. Αυτό είναι αποτέλεσμα της συνεχούς απόθεσης του ^7Be στρατοσφαιρικής και τροποσφαιρικής προέλευσης στα φυτά και στην επιφάνεια του χώματος και όχι στην πρόσληψη του ^7Be από τις ρίζες των φυτών εξαιτίας του σχετικά μικρού χρόνου ημιζωής του ^7Be .



Soil-to-plant transfer factors, TF, of Be-7 vs. time

Διάγραμμα 3. Παράγοντας μεταφοράς, TF, από το χώμα στο γρασίδι για το ^7Be συναρτήσει του χρόνου

Σχόλια - Συμπεράσματα

Η ύπαρξη των φυσικών ραδιονουκλιδίων καθώς και των μακρόβιων από fallout ραδιονουκλιδίων στο χώμα και στο γρασίδι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό του παράγοντα μεταφοράς των στοιχείων από το χώμα στο γρασίδι. Στην εργασία αυτή το φυσικό αρχέγονο ραδιονουκλίδιο ^{40}K και το κοσμογενετικό ραδιονουκλίδιο ^7Be , ένα σχετικά βραχύβιο ραδιονουκλίδιο, μελετήθηκαν σε σχέση με το ^{137}Cs με προέλευση το πύχμα του Τσερνομπίλ. Οι παράγοντες μεταφοράς από τα φυτά κυμαίνονται από 0.002 έως 7.42 (avg 0.20) για το ^{137}Cs , από 0.16 έως 2.42 (avg 0.73) για το ^{40}K και από 0.027 έως 2.37 (avg. 0.42) για το ^7Be . Βρέθηκε ότι ο οικολογικός χρόνος ημίσειας ζωής για το Καίσιιο στο γρασίδι είναι $3^{1/3}\text{y}$ και σχεδόν ίδιος για το ^{40}K , $3^{2/3}\text{y}$.

Ο προσδιορισμός του παράγοντα μεταφοράς από το χώμα στους φυτικούς οργανισμούς αποτελεί ένα από τα πιο πρόσφατα αντικείμενα μελέτης των επιστημόνων στο χώρο της ραδιενέργειας περιβάλλοντος. Η κατανόηση της προσπάθειας τους να ευρεθεί ο κατάλληλος τύπος φυτού που θα παρουσιάζει τον μικρότερο οικολογικό χρόνο ημίσειας ζωής. Φυτικοί οργανισμοί με μικρό οικολογικό χρόνο ημίσειας ζωής συνεπάγονται γρήγορη πρόσληψη ^{137}Cs από το χώμα και γρηγορότερη «εξάντλησή» του από το έδαφος. Στην περιοχή του Τσερνομπίλ μελετώνται καλλιέργειες διαφόρων τύπων φυτών με διάφορο οικολογικό χρόνο ημίσειας ζωής του ^{137}Cs και άλλων ισοτόπων π.χ. ^{239}Pu , προκειμένου να απομακρυνθούν τα περισσότερα ραδιονουκλίδια από το έδαφος το οποίο θα μπορέσει να καλλιεργηθεί το ταχύτερο δυνατό.