Ραδιοπροαστασία

1

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ορισμένες δραστηριότητες του ανθρώπου επιφέρουν αύξηση των συγκεντρώσεων ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Διακρίνουμε συνήθως δύο κατηγορίες τέτοιων δραστηριοτήτων.

α. Δραστηριότητες οι οποίες επιφέρουν ανακατανομή των φυσικών ραδιενεργών στοιχείων, χωρίς να συνδέονται με την παραγωγή νέων. Π.χ. οι οικοδομικές δραστηριότητες (αύξηση των συγκεντρώσεων Ραδονίου και θυγατρικών του παραγώγων στον αέρα των εσωτερικών χώρων), η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (διασπορά τέφρας με αυξημένες συγκεντρώσεις στοιχείων της οικογενείας του Ουρανίου-238) κ.ά.

β. Δραστηριότητες οι οποίες επιφέρουν τη διασπορά τεχνητών ραδιενεργών στοιχείων - προϊόντων σχάσης ή ενεργοποίησης πυρήνων. Π.χ. οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πυρηνικών καυσίμων, ορισμένες μονάδες πυρηνικής ιατρικής, οι πυρηνικοί ηλεκτρικοί σταθμοί (ΠΗΣ), οι δοκιμές πυρηνικών όπλων κ.ά.

Η συνολικά παραγόμενη ενεργότητα είναι τεράστια σε σχέση με αυτή που χαρακτηρίζει το φυσικό περιβάλλον.

. Εκλυόμενη Ενεργότητα ανά Μεγατόννο Ισχύος Πυρηνικής Έκρηξης. Σύνολο Εκλύσεων από Πυρηνικές Δοκιμές και από Ατύχημα Τσερνόμπιλ

Ραδιενεργό ισότοπο	Χρόνος υποδιπλασ.	Έκλυση 10^{15} Bq ανά μεγατόννο	Εκτιμούμενη συνολική έκλυση, 10^{18} Bq	
			Πυρην.δοκ. 1945-1960	Τσερνόμπιλ (στις 6.5.86)
Στρόντιο-89	50,5 ημ.	590	128	0,093
Στρόντιο-90	28,6 χρ.	3,9	0,85	0,0074
Ζιρκόνιο-95	64,0 ημ.	920	200	0,15
Ρουθήνιο-103	39,4 ημ.	1500	325	0,12
Ρουθήνιο-106	368 ημ.	78	17	0,04
Ιώδιο-131	8,04 ημ.	4200	910	0,27
Καίσιο-136	13,2 ημ.	32	7	0,007
Καίσιο-137	30,2 χρ.	5,9	1,3	0,033
Βάριο-140	12,8 ημ.	4700	1020	0,17
Δημήτριο-141	32,5 ημ.	1600	350	0,10
Δημήτριο-144	284 ημ.	190	41	0,09

Ραδιενεργός ρύπανση του περιβάλλοντος

Η μεταφορά ραδιενεργών υλικών από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης είναι γνωστή στην ειδική βιβλιογραφία ως «ραδιενεργός επίπτωση»

Ο τόπος και ο χρόνος κατά τον οποίο τα ραδιενεργά προϊόντα μιας πυρηνικής έκρηξης θα φτάσουν στο έδαφος εξαρτάται από πολλούς

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

παράγοντες και ένας από αυτούς είναι το ύψος στο οποίο γίνεται η έκρηξη. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος αυτό, τόσο μεγαλύτερο μέρος από τα παραγόμενα ραδιενεργά υλικά – τα οποία βρίσκονται αρχικά σε αέρια κατάσταση – ανυψώνεται στα ανώτερα και ανώτατα στρώματα της ατμόσφαιρας. Με την πάροδο του χρόνου, καθώς η θερμοκρασία της πυρακτωμένης σφαίρας ελαττώνεται, αρχίζει η συνένωση των ραδιενεργών υλικών σε μικροσκοπικά σωματίδια. Λόγω του μικρού τους μεγέθους, η πτώση τους στην επιφάνεια της Γης γίνεται πολύ αργά και ένα σημαντικό μέρος μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για αρκετούς μήνες ή χρόνια. Κατά την περίοδο αυτή τα ραδιενεργά σωματίδια μετακινούνται από τα ατμοσφαιρικά ρεύματα και ειδικά αυτά που έφτασαν σε στρατοσφαιρικά ύψη διαχέονται σε όλο το ημισφαίριο όπου έγινε η έκρηξη.

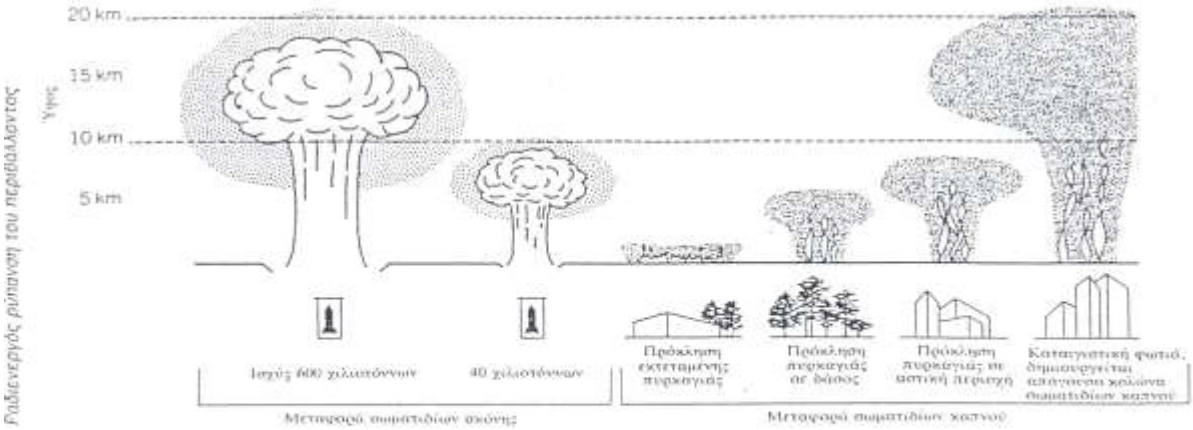
Όσο χαμηλότερα πραγματοποιείται η πυρηνική έκρηξη, τόσο μεγαλύτερο μέρος από τα υλικά που αποτελούν το ραδιενεργό νέφος προέρχονται από την επιφάνεια της Γης, ως αποτέλεσμα της τεράστιας αναρρόφησης που συνοδεύει την ανύψωση της πύρινης σφαίρας και σχηματίζει τη χαρακτηριστική εικόνα του «μανιταριού». Τα σωματίδια στην περίπτωση αυτή είναι αρκετά μεγάλα και πέφτουν πολύ γρηγορότερα στο έδαφος (σε διάστημα ωρών μέχρι ημερών), αναμεμιγμένα με τα ραδιενεργά προϊόντα της πυρηνικής έκρηξης. Κατά την παραμονή τους στην ατμόσφαιρα τα σωματίδια αυτά μεταφέρονται επίσης σε κάποιες αποστάσεις από τα χαμηλότερα αέρια ρεύματα, αποστάσεις όμως που είναι, τυπικά, της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων

Η κατεύθυνση και η έκταση που καλύπτει η άμεση ραδιενεργός επίπτωση εξαρτώνται από τις μετεωρολογικές συνθήκες, κυρίως από την κατεύθυνση και ταχύτητα των ανέμων, αλλά και από την ύπαρξη και την ένταση των βροχοπτώσεων.

Η ραδιενεργός επίπτωση μετριέται με την ενεργότητα που μεταφέρεται σε μονάδα επιφάνειας του εδάφους και εκφράζεται με τις χρησιμοποιούμενες σήμερα μονάδες σε Bq m^{-2}.

Πίνακας **Ραδιενεργός Επίπτωση λόγω των Πυρηνικών Δοκιμών στην Ατμόσφαιρα κατά την Περίοδο 1945-1980, kBq m^{-2}**

Περιοχή εκτίμησης	Καίσιο-137	Στρόντιο-90



Μια πυρηνική έκρηξη μεταφέρει σκόνη και καπνό από την επιφάνεια της Γης στην ατμόσφαιρα. Τα σχετικά ύψη που μεταφέρονται ανάλογα με την ισχύ της βόμβας, φαίνονται στο σχήμα.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

κατά τα τέλη Μαΐου το μέγεθος αυτό μειώθηκε κατά 4 περίπου φορές, ενώ ένα χρόνο μετά μειώθηκε κατά 8 φορές. Από το επίπεδο αυτό η μείωση γίνεται με αργό ρυθμό, λόγω της μακροβιότητας του Καισίου-137, το οποίο προσδιορίζει σχεδόν εξ ολοκλήρου πλέον την εξωτερική δόση. Η εικόνα διαφέρει σημαντικά στις αστικές περιοχές, όπου διαπιστώνεται πολύ γρηγορότερη μείωση της επιφανειακής ραδιενέργειας, κυρίως λόγω της έκπλυσης μεγάλου μέρους της από την άσφαλτο, τα πλακόστρωτα και τα τσιμέντα.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Ι

Η ρύπανση των φυτών έγινε με δύο κυρίως τρόπους:

α) Με την άμεση προσκόλληση των ραδιενεργών ρύπων στην επιφάνεια των καρπών, των λαχανικών, των χόρτων κλπ και την μερική προσρόφησή τους στα εσωτερικότερα τμήματα. Ο μηχανισμός αυτός προσδιόρισε σε μεγάλο βαθμό τη ρύπανση των φυτών κατά τις πρώτες εβδομάδες, κατά τις οποίες σημαντικό ρόλο, από ραδιολογικής σκοπιάς, έπαιζαν τα ραδιενεργά ισότοπα του Ιωδίου, του Καισίου και, λιγότερο, του Ρουθηνίου και άλλων στοιχείων. Η άμεση αυτή ρύπανση προσδιόρισε και τις υψηλές αρχικές συγκεντρώσεις ραδιενεργού Ιωδίου και Καισίου στα ζωικά προϊόντα και ιδιαίτερα στο γάλα των μικρών ζώων, όπως επίσης και την επιβάρυνση των σιτηρών και των ζωοτροφών που εκφράστηκε πολύ αργότερα μέσω των συσχετιζόμενων προϊόντων.

β) Με την έμμεση ρύπανση των καρπών από τη ραδιενέργεια που εισχώρησε στα φυτά μέσω του φυλλώματος.

Οι συγκεντρώσεις ραδιενέργειας στα τρόφιμα είχαν διαφορετική εξέλιξη, ανάλογα με το ραδιενεργό ισότοπο.

Οι συγκεντρώσεις Καισίου μειώθηκαν επίσης σημαντικά σε πολλά προϊόντα και ήταν ελάχιστες σε όλα τα νέα λαχανικά και κηπευτικά, ήδη από το 1986. Η χρήση όμως ζωοτροφών με αυξημένες συγκεντρώσεις Καισίου κατά τη χειμερινή περίοδο 1986-87 οδήγησε στη διατήρηση κάποιας επιβάρυνσης στο κρέας και στο γάλα.

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ραδιενεργός ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι το πρώτο συστατικό του οικοσυστήματος που ρυπαίνεται μετά από πυρηνική έκρηξη ή από ατύχημα πυρηνικής εγκατάστασης που συνεπάγεται διαρροή ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα. Το είδος και η έκταση της ραδιενεργού ρύπανσης του αέρα εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά της πηγής που την προκάλεσε.

το θέμα της ρύπανσης του αέρα δεν θα μας απασχολήσει περισσότερο. Θα θέλαμε μόνο να τονίσουμε ότι:
α) ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ο δρόμος μέσω του οποίου τα ραδιενεργά άτομα φτάνουν στα υπόλοιπα συστατικά του οικοσυστήματος, όταν το

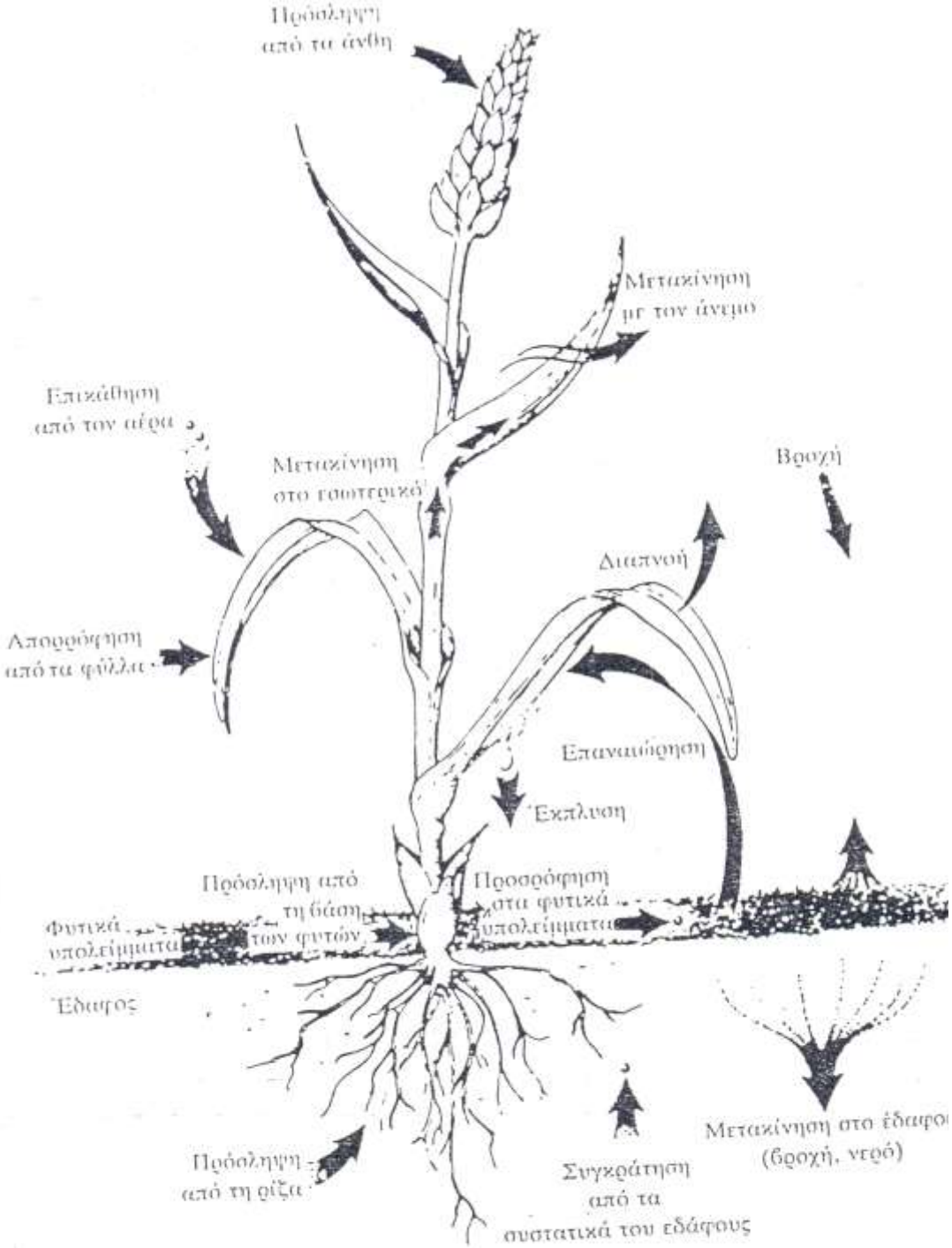
οικοσύστημα βρίσκεται μακριά από την πυρηνική έκρηξη ή το πυρηνικ
ατύχημα και β) η κατανάλωση ραδιορρυπασμένης τροφής και νερο
είναι βέβαια επικίνδυνη για τον άνθρωπο και τα ζώα, περισσότερο όμω
επικίνδυνη είναι η εισπνοή αέρα που έχει ραδιορρύπανση και αυτό γιατί
ενώ κάθε εικοσιτετράωρο ο άνθρωπος πίνει περίπου δύο λίτρα νερό κα
καταναλώνει ένα κιλό τροφή, εισπνέει 10 έως 20 χιλιάδες λίτρα αέρα
δηλ. πολύ μεγάλη ποσότητα. Αν ο αέρας αυτός είναι έστω και ελάχιστ
ρυπασμένος, είναι δυνατό μέσω αυτού του δρόμου να συσσωρευτούν στ
σώμα του ανθρώπου πολύ μεγάλες ποσότητες ραδιενεργών ατόμων.

Ραδιενεργός ρύπανση του εδάφους

Το μεγαλύτερο μέρος των ραδιενεργών υλικών μιας ραδιενεργού επίπτωσης σε χερσαίο οικοσύστημα καταλήγει, αργά ή γρήγορα, με τον ένα τρόπο ή τον άλλο, στο έδαφος. Από τη θέση αυτή τα ραδιενεργά άτομα των ραδιενεργών υλικών ακτινοβολούν τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο. Η παραμονή των ραδιενεργών ατόμων στην επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από το χρόνο υποδιπλασιασμού τους και από την αλληλεπίδρασή τους με το έδαφος και τα άλλα συστατικά του οικοσυστήματος. Η βροχή π.χ. μπορεί να μετακινήσει σε βαθύτερα στρώματα ή να οδηγήσει σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες μόνο τα ραδιενεργά άτομα που δεν συγκρατούνται από τα λεπτόκκοκα αργιλλικά συστατικά του εδάφους. Αντίθετα, τα ραδιενεργά άτομα που συγκρατούνται στην επιφάνεια των κολλοειδών του εδάφους μετακινούνται βραδύτατα. Η μετακίνηση των τελευταίων προς τα βαθύτερα στρώματα σπάνια ξεπερνά τα λίγα (2-3) επιφανειακά εκατοστά του μέτρου με φυσικές διεργασίες. Το Στρόντιο-90 π.χ. προσροφάται έντονα από τα κολλοειδή του εδάφους με αποτέλεσμα σε μια ραδιενεργό επίπτωση να παραμένει στο επιφανειακό στρώμα (στα λίγα επιφανειακά εκατοστά του μέτρου). Ο ρυθμός μετακίνησής του προς τα βαθύτερα στρώματα είναι βραδύς και επηρεάζεται από τα ποσά αργίλλου, διαλυτών αλάτων και χούμου (οργανικής ουσίας) που υπάρχουν στο έδαφος καθώς και από την ταχύτητα μετακίνησης του νερού.

Ανάλογα προσροφάται από τα κολλοειδή και το Καίσιο-137 το οποίο επιπλέον δεσμεύεται κατά μεγάλο ποσοστό από ορισμένα αργιλλικά συστατικά του εδάφους. Αποτέλεσμα των ιδιοτήτων αυτών είναι ότι και το Καίσιο-137 μιας ραδιενεργού επίπτωσης συγκρατείται και παραμένει για μεγάλο διάστημα στα πρώτα επιφανειακά εκατοστά του εδάφους, η δε μετακίνησή του προς τα κατώτερα στρώματα εδαφών που δεν έχουν διαταραχτεί είναι πολύ βραδεία, βραδύτερη ίσως και από τη μετακίνηση του Στροντίου-90.

Έτσι, στις περιπτώσεις που επιδιώκεται απορρύπανση του εδάφους, συνήθως μετακινείται από την επιφάνειά του ένα στρώμα της τάξης των πέντε εκατοστών του μέτρου.



Τρόπος ρυπάνσεως των φυτών (Προέλευση: Αναφορά [2]).

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

. Ραδιενεργός ρύπανση του νερου

Τα νερά σε ανοικτούς χώρους μπορούν να ρυπανθούν με ραδιενεργά άτομα, μετά από ραδιενεργό βροχόπτωση και χιονόπτωση (μιλήσαμε γι'αυτές σε προηγούμενο κεφάλαιο), μετά από ραδιενεργό επίπτωση και μετά από μετακίνηση ραδιενεργών ατόμων που βρίσκονται στο έδαφος (με τη βοήθεια π.χ. τρεχούμενων νερών).

Είναι ενδιαφέρον ότι τα υπόγεια νερά έστω και αν πριν εισχωρήσουν στο έδαφος ήταν ρυπασμένα, απαλλάσσονται σε μεγάλο ποσοστό από ραδιενεργούς ρύπους καθώς περνούν από ένα μεγάλο στρώμα εδάφους φίλτρου.* Ετσι το πηγαδίσιο νερό, μετά από μια ραδιενεργό επίπτωση, είναι πιο ασφαλές από το επιφανειακό.

Όταν ραδιορρυπασμένα νερά χρησιμοποιούνται για άρδευση καλλιεργειών, τα υπάρχοντα ραδιενεργά άτομα εισέρχονται στο σύστημα εδάφους-φυτού και μπορούν κατά ένα ποσοστό να εισχωρήσουν στο φυτό. Στην περίπτωση που άνθρωποι ή ζώα πίνουν τέτοια νερά, ρυπαίνουν το εσωτερικό του σώματός τους με ραδιενεργά άτομα, τα οποία ακολουθούν τους ίδιους δρόμους και δημιουργούν τα ίδια προβλήματα με τα ραδιενεργά άτομα της τροφής.

Ραδιενεργός ρύπανση των φυτών

Ένα μέρος των ραδιενεργών υλικών μιας ραδιενεργού επίπτωσης σε χερσαίο οικοσύστημα, πριν καταλήξει στο έδαφος, είναι δυνατό να συγκρατηθεί από την επιφάνεια των φυτών, προκαλώντας τους ραδιενεργό ρύπανση. Τα φυτά μπορούν να υποστούν ραδιενεργό ρύπανση και από επαναιώρηση στον αέρα μερικών από τα ραδιενεργά υλικά που έχουν επικαθήσει στην επιφάνεια του εδάφους. Και η μια περίπτωση και η άλλη αφορά την **άμεση** ραδιενεργό ρύπανση των φυτών.

Όμως τα φυτά μπορούν να ραδιορρυπανθούν και **έμμεσα**. Τα ραδιενεργά άτομα, δηλαδή, που βρίσκονται στο έδαφος είναι δυνατό να προσληφθούν από τα φυτά μέσω των ριζών τους. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για έμμεση ραδιενεργό ρύπανση των φυτών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την άμεση ρύπανση είναι εντελώς διαφορετικοί από εκείνους που επηρεάζουν την έμμεση. Επί πλέον υπάρχουν και ιδιαιτερότητες στη συμπεριφορά κάθε ραδιενεργού ατόμου κατά τη διαδικασία ρύπανσης. Τους παράγοντες αυτούς και τις ιδιαιτερότητες αναλύουμε παρακάτω.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ

Άμεση ρύπανση των φυτών ενα φυτό ή φυτικό όργανο που συγκομίζεται σήμερα έχει ρυπανθεί άμεσα από τα ραδιενεργά άτομα που έχουν επικαθήσει στην επιφάνειά του και όχι από αυτά που είχαν εναποτεθεί στο χώρο πριν από την ανάπτυξή του. Η κατάσταση της επιφάνειας των φυτικών μερών, αλλά και η ολική επιφάνειά τους συνδέονται άμεσα με το ποσόν των ραδιενεργών ατόμων που θα συγκρατηθούν απ'αυτά και συνεπώς με το ποσό της ραδιορρύπανσης των φυτών. Έτσι, φύλλα ή καρποί που έχουν τριχίδια ή ανωμαλίες στην επιφάνεια, συγκρατούν περισσότερα ραδιενεργά άτομα κατά μονάδα επιφάνειας απ' ό,τι φύλλα ή καρποί που έχουν λεία επιφάνεια. Πέρα απ'αυτό για συγκεκριμένη καλλιέργεια, το μέγεθος της επιβάρυνσης από άμεση ρύπανση είναι ανάλογο με την ολική επιφάνεια των φύλλων. Έτσι π.χ. τα σιτηρά της χώρας μας, που κατά την περίοδο μετά το ατύχημα του Τσερνόμπιλ είχαν πολύ μεγάλη φυλλική επιφάνεια, δέχτηκαν μεγαλύτερη ρύπανση από τα σιτηρά βορειότερων περιοχών.

Το μέγεθος, τέλος, των υλικών της ραδιενεργού επίπτωσης (υλικά μεγαλύτερα από 40 μ. συγκρατούνται δύσκολα στην επιφάνεια των φύλλων), καθώς επίσης και η ένταση και διάρκεια των βροχοπτώσεων επηρεάζουν την ποσότητα των ραδιενεργών ατόμων που παραμένουν στην επιφάνεια των φυτών και προκαλούν άμεση ρύπανση σ'αυτά.

Η είσοδος ή μη των ραδιενεργών ατόμων στο εσωτερικό των διαφόρων μερών του φυτού έχει καθοριστική σημασία για τη δυνατότητα και τη μέθοδο απορρύπανσής του.

Ιδιαιτερότητες των ραδιενεργών ατόμων στην άμεση ρύπανση των φυτών

α. Στρόντιο-90

Κατά την άμεση ρύπανση των φυτών με ραδιενεργά άτομα Στροντίου-90 έχουμε εξωτερική και εσωτερική ρύπανση. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, το Στρόντιο-90 από την επιφάνεια των διαφόρων οργάνων των φυτών που έχει εναποτεθεί εισχωρεί και στο εσωτερικό τους, προκαλώντας εσωτερική ρύπανση. Όταν το Στρόντιο-90 έχει επικαθήσει στα φύλλα, η απορρόφησή του γίνεται με βραδύ ρυθμό και μετά την απορρόφηση η μετακίνησή του εσωτερικά είναι αμελητέα.

Εκτός από τη ρύπανση των φύλλων, που μπορεί να συμβεί σε όλα τα φυτά, η ρύπανση άλλων οργάνων παρουσιάζει, για ορισμένες καλλιέργειες, σημαντικό πρακτικό ενδιαφέρον.[1] Η επικάθηση π.χ. του Στροντίου-90 στα άνθη επηρεάζει τη ρύπανση του καρπού των σιτηρών, έχει δε παρατηρηθεί μεγάλη τιμή στο λόγο $^{90}Sr/Ca$ για τον οποίο θα μιλήσουμε παρακάτω, που μετριέται στον καρπό, συγκριτικά με το φυτικό μέρος και στα πίτουρα, συγκριτικά με το αλεύρι.

. Η απορρόφηση από την περιοχή αυτή γίνεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απ'ό,τι στα φύλλα και τα άνθη. Το Στρόντιο-90 που απορροφάται από τη βάση των φυτών μετακινείται σε άλλα όργανά τους.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π

6. Καίσιο-137 και Καίσιο-134

Όταν οι ρύποι είναι ραδιενεργά άτομα Καισίου-137 και Καισίου-134, τα φυτά κατά την άμεση ρύπανση ρυπαίνονται κατά τον ίδιο περίπου τρόπο όπως και με το Στρόντιο-90. Διαφορά παρουσιάζεται μόνο στην κινητικότητα εντός του φυτού. Το Καίσιο-137 και το Καίσιο-134 μετακινούνται στα διάφορα μέρη του φυτού με περισσότερη ευχέρεια.

. **Έμμεση ρύπανση των φυτών**

Κατά την έμμεση ρύπανση τα ραδιενεργά άτομα της ραδιενεργού επίπτωσης εισέρχονται στα φυτά δια μέσου των ριζών, αφού κατά κανόνα παραμείνουν στο έδαφος για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι η έμμεση ρύπανση εξαρτάται από το ολικό ποσό της ραδιενεργού επίπτωσης που έχει πέσει στο έδαφος και χαρακτηρίζεται ως «συνάρτηση του αποθέματος». Διαφέρει από την άμεση ρύπανση κατά το ότι: α) υλικά που έχουν εναποτεθεί στο έδαφος πριν αναπτυχθεί το φυτό μπορούν να εισέλθουν σ'αυτό, β) τα βραχύβια ραδιενεργά στοιχεία συμβάλλουν ελάχιστα στην έμμεση ρύπανση των φυτών λόγω του μικρού χρόνου υποδιπλασιασμού τους, γ) με την είσοδο των ραδιενεργών ατόμων στο έδαφος γίνεται μεγάλη φυσική αραίωση που επιτείνεται περαιτέρω λόγω δεσμεύσεώς τους, σε μερικές περιπτώσεις, από ορισμένα αργιλλικά συστατικά του εδάφους και επίσης λόγω μη προτίμησής τους από τα φυτά. Έτσι, το ποσό των ραδιενεργών ατόμων που τελικά προσλαμβάνεται από τα φυτά εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες του εδάφους όσο και από τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις των καλλιεργουμένων φυτών.

Ιδιαιτερότητες των ραδιενεργών ατόμων στην έμμεση ρύπανση των φυτών

α. Στρόντιο-90

Το Στρόντιο-90 δεν είναι στοιχείο απαραίτητο για την ανάπτυξη τω φυτών. Όμως η χημική του συμπεριφορά είναι όμοια με εκείνη το Ασβεστίου που είναι στοιχείο απαραίτητο για τα φυτά. Έτσι τα τελει ταία, αναπτυσσόμενα στο έδαφος, προσλαμβάνουν και κάποιο πος Στροντίου που βρίσκεται σ'αυτό (το ποσοστό που έχει αναφερθεί κυμα νεται μεταξύ 0,2 και 3%).

Κύρια αιτία της παρατηρούμενης διακύμανσης στην πρόσληψη τ Στροντίου-90 είναι η περιεκτικότητα των εδαφών σε Ασβέστιο. Η πρό ληψη του Στροντίου-90 είναι μεγάλη όταν τα εδάφη είναι φτωχά Ασβέστιο. Προσθήκη Ασβεστίου στα εδάφη αυτά είναι δυνατό να μει σει σημαντικά το ποσοστό του Στροντίου-90 που προσλαμβάνεται από τ φυτά. Εκτός από την περιεκτικότητα των εδαφών σε Ασβέστιο η πρόσλ

ψη του Στροντίου-90 επηρεάζεται και από το pH των εδαφώ
περιεκτικότητά τους σε άργιλλο και χουμικές ουσίες, καθώς κ
ποσότητα υδατοδιαλυτών αλάτων σ'αυτά και την υπάρχουσα υγ
Προσθήκη λιπασμάτων και κόπρου σε ποσότητες που απαιτεί η γε
πρακτική, συνήθως δεν έχει μεγάλες επιπτώσεις στην πρόσληψη
ντίου-90.

Τα διάφορα είδη φυτών, ακόμη ίσως και οι διάφορες ποικιλί
αυτού είδους, προσλαμβάνουν διαφορετικά ποσά Στροντίου-90.
φυτά όπως η μηδική, το τριφύλλι κ.λπ, που έχουν μεγάλες ανάγ
Ασβέστιο, προσλαμβάνουν μεγαλύτερα ποσά Στροντίου-90 απ'
διάφορα αγροστώδη. Σχετικά με την επίδραση που ασκεί η ανάπτυ
φυτών στην πρόσληψη του Στροντίου-90, έχει διαπιστωθεί ότι συ
που ευνοούν την ανάπτυξη επιφανειακών ριζών αυξάνουν και την
ληψή του. Πρέπει να σημειωθεί ότι πέρα από την ποσότητα Στρο
90, που προσλαμβάνεται από τα διάφορα φυτά, σημασία έχει και ο
^{90}Sr/Ca ο οποίος συχνά ποικίλλει για τα διάφορα όργανα του
φυτού, κάτι που έχει μεγάλη πρακτική αξία.

β. Καίσιο-137 και Καίσιο-134

Το Καίσιο, όπως και το Στρόντιο, δεν είναι απαραίτητο για την α
ξη των φυτών. Το προσλαμβάνουν όμως τα φυτά σε μικρά ποσά
χημική συμπεριφορά του είναι όμοια μ' εκείνη του Καλίου πο
στοιχείο απαραίτητο για την ανάπτυξή τους. Τα ποσοστά πρό
είναι μικρά, μικρότερα ίσως και απ'αυτά του Στροντίου-90 γι
επιπλέον λόγο : το Καίσιο, όπως και το Κάλιο, δεσμεύεται από ορ
αργιλλικά συστατικά του εδάφους και δεν είναι εύκολα διαθέσι
φυτά.

γ. Ιώδιο-131

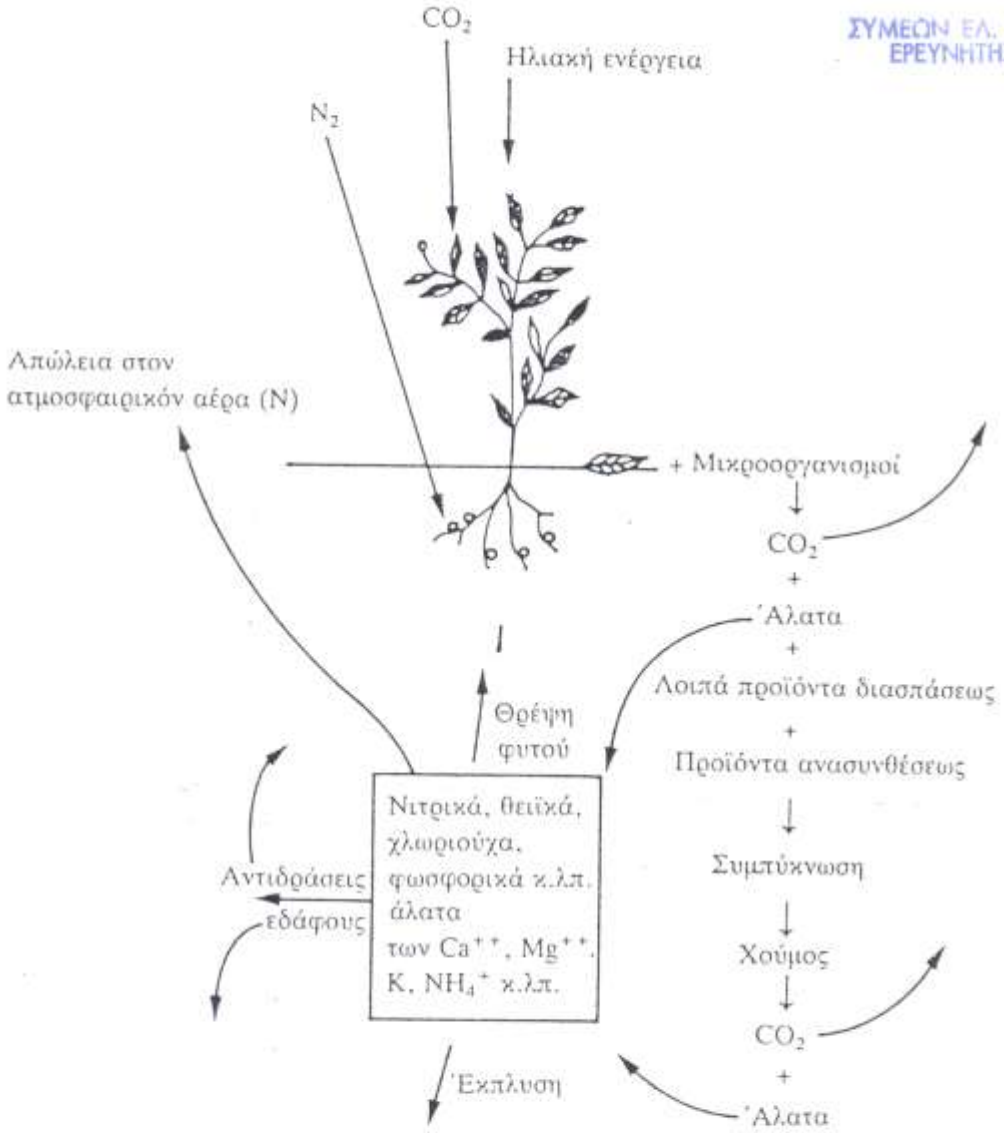
Ένα μεγάλο μέρος των ραδιενεργών ατόμων του Ιωδίου-131, που
χονται από τη ραδιενεργό επίπτωση, φτάνουν στο έδαφος, ο μικρό
χρόνος υποδιπλασιασμού του δεν αφήνει αρκετά περιθώρια
εισχωρήσει στο έδαφος και να προκαλέσει σοβαρή, έμμεση ρύ
Γι'αυτό το λόγο ο ρόλος του Ιωδίου-131 στην έμμεση ρύπανση των
θεωρείται εντελώς επουσιώδης.

Ανακύκλωση των ραδιενεργών ρύπων

Τα μακρόβια ραδιενεργά άτομα της ραδιορρύπανσης που περιγρά
στις προηγούμενες σελίδες θα ανακυκλώνονται μαζί με τα άλλα στο
συστατικά των φυτικών και ζωικών οργάνων που μπαίνουν στην τρ
αλυσίδα. Οι λεπτομέρειες αυτής της ανακύκλωσης, το πώς δηλα
διάφορα συστατικά των φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων που μ
στο έδαφος θα σαπίσουν, θα απελευθερώσουν ορισμένα θρεπτικά
χεία και θα σχηματίσουν τις ουσίες που είναι γνωστές ως χου

Για να δώσουμε μια έννοια της ανακύκλωσης, απλά παραθέτουμε μια διαγραμματική αναπαράσταση του κύκλου της οργανικής ουσίας του εδάφους (εικόνα 9.2) και τον κύκλο τεσσάρων στοιχείων (εικόνα 9.3). Για την ανακύκλωση των ραδιενεργών ρύπων σημειώνουμε μόνο ότι τα ρυπασμένα με ραδιενεργά άτομα φυτικά προϊόντα καταναλίσκονται από τα χορτοφάγα ζώα κι αυτά με τη σειρά τους από τα σαρκοφάγα. Τελικά, τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα πεθαίνουν και επανέρχονται στο έδαφος, όπου με τη βοήθεια μικροοργανισμών σαπίζουν και απελευθερώνουν τους ραδιενεργούς ρύπους που επανέρχονται στην τροφική αλυσίδα μέσω των ριζών των φυτών. Ο κύκλος αυτός θα επαναληφθεί πολλές φορές και για πολλά χρόνια μέχρις ότου τα μακρόβια αυτά ραδιενεργά άτομα «πεθάνουν» και πάψουν να εκπέμπουν ραδιενέργεια.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. Σ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ



Εικόνα 9.2. Διαγραμματική αναπαράσταση του κύκλου της οργανικής ουσίας του εδάφους

Το εύρος της ευαισθησίας των διαφόρων φυτών στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι πολύ μεγάλο σε σύγκριση μ' εκείνο των ζώων. Ένα φυτό μπορεί να διαφέρει από ένα άλλο σε ευαισθησία μέχρι και 500 φορές. Αν στα φυτά συμπεριληφθούν και τα φύκια, τότε οι διαφορές μπορούν να φτάσουν στις 5 000. Για το ίδιο είδος φυτού η ευαισθησία μπορεί να αλλάξει μέχρι 50 φορές, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξής του.

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Οι συνέπειες από την άμεση και έμμεση ραδιενεργό ρύπανση των φυτών μπορούν να καταταχτούν σε δύο κατηγορίες. Η μία αφορά τα ίδια τα φυτά και η άλλη τους ζωντανούς οργανισμούς που χρησιμοποιούν ως τροφή τα φυτά. Ας τις δούμε χωριστά:

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.

2.1. Συνέπειες στα φυτά

Οι ραδιενεργοί ρύποι είναι πηγές ιοντιζουσών ακτινοβολιών που εξασκούν δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά και σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Πρέπει να σημειώσουμε ότι τα φυτά είναι πιο ανθεκτικά απ' ό,τι τα ζώα (και τα ζώα πιο ανθεκτικά απ' ό,τι ο άνθρωπος) στις ακτινοβολίες αυτές. Μ' άλλα λόγια οι επιβλαβείς επιδράσεις των ιοντι-

Σε μικρότερες δόσεις οι ακτινοβολίες επηρεαζουν το υψος των φυτών και την παραγωγή. Η επίδραση στην παραγωγή είναι μεγαλύτερη όταν η έκθεση στην ακτινοβολία γίνει κατά τα πρώτα στάδια αναπαραγωγής.

Συνέπειες στους ζωντανούς οργανισμούς που χρησιμοποιουν ως τροφή ραδιορρυπασμένα φυτά

Τους ζωντανούς οργανισμούς που θα εξετάσουμε χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες : τον άνθρωπο και τα ζώα.

Συνέπειες στα ζώα

Τα ζώα που βρίσκονται στο ρυπασμένο από ραδιενεργό επίπτωση οικοσύστημα είναι εκτεθειμένα στην εξωτερική ακτινοβολία που υπάρχει στο οικοσύστημα. Πέρα απ'αυτό, τα φυτοφάγα ζώα που βόσκουν και καταναλώνουν ρυπασμένη τροφή φορτώνουν το σώμα τους με ραδιενεργά άτομα τα οποία ενσωματώνονται στα διάφορα όργανά τους. Από τη θέση αυτή ένα μέρος των ραδιενεργών ατόμων ακτινοβολεί τη γύρω περιοχή, ενώ ένα άλλο αποβάλλεται με διάφορες βιολογικές διαδικασίες.

Οι συνέπειες της ρύπανσης αυτής δεν αφορούν μόνο τα φυτοφάγα ζώα που την έχουν υποστεί, αλλά επίσης τα σαρκοφάγα ζώα και τον άνθρωπο, που θα χρησιμοποιήσουν με τη σειρά τους ως τροφή το κρέας, το γάλα κ.λπ. των ραδιορρυπασμένων φυτοφάγων ζώων και θα ρυπαν-

Άλλες συνέπειες από τη ραδιορρύπανση των ζώων

Η ραδιορρύπανση των ζώων έχει συνέπειες και στα προϊόντα τους. Οι κότες π.χ. μπορεί να σταματήσουν να γεννούν αυγά ή αν συνεχίσουν να γεννούν, θα είναι ραδιορρυπασμένα. Το γάλα των θηλαστικών επηρεάζεται άμεσα. Η διαδρομή των ραδιενεργών ατόμων από την τροφή στα ζώα και ιδιαίτερα στο γάλα γίνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Επειδή το γάλα και τα παράγωγά του αποτελούν σημαντική τροφή για τον άνθρωπο, θα εξετάσουμε μερικές λεπτομέρειες για τη διαδικασία ρύπανσής του με Στρόντιο-90, Καίσιο-137 και Ιώδιο-131.

α. Ρύπανση του γάλακτος με Στρόντιο-90

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι η χημική συμπεριφορά του Στροντίου-90 είναι όμοια μ' εκείνη του Ασβεστίου. Παρ'όλα αυτά πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει ότι οι οργανισμοί των ζώων δείχνουν μια φυσική προτίμηση στην πρόσληψη του Ασβεστίου συγκριτικά με το Στρόντιο-90. Η προτίμηση αυτή λειτουργεί στην πράξη ως προστατευτικός μηχανισμός και είναι γνωστός ως «διαχωριστικός παράγοντας» (Discrimination factor). Η παρουσία λοιπόν Ασβεστίου στο σιτηρέσιο των ζώων μπορεί να μειώσει σημαντικά τα ποσά του Στροντίου-90 που πηγαίνουν στο γάλα. Η ρύπανση του γάλακτος με Στρόντιο-90 είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την περιεκτικότητα της τροφής που καταναλώνει το ζώο σε Ασβέστιο. Αυτό σημαίνει ότι με συμπληρωματική χορήγηση Ασβεστίου στο σιτηρέσιο του ζώου, είναι δυνατό να ενισχυθεί, μέχρι ενός σημείου, ο προστατευτικός μηχανισμός.

β. Ρύπανση του γάλακτος με Καίσιο-137

Το Καίσιο-137 απορροφάται αποτελεσματικά από το γαστρεντερικό σύστημα και μεταφέρεται στους μυς και το γάλα. Σε πειράματα διατροφής ζώων έχει διαπιστωθεί ότι από την ημερήσια δόση Καισίου-137 που ήταν στο σιτηρέσιο μεταφέρθηκε σε κάθε λίτρο γάλακτος αγελάδας και κατσίκας ποσοστό ίσο με 1,4 και 9% αντίστοιχα. Ο λόγος OR τροφής / γάλακτος όμως ήταν σχετικά σταθερός και στις δύο περιπτώσεις και ίσος με 1,4 περίπου.

γ. Ρύπανση του γάλακτος με Ιώδιο-131

Το γάλα ρυπαίνεται με Ιώδιο-131 κυρίως από τη ρυπασμένη τροφή που περνά σ'αυτό σχεδόν αμέσως μετά την κατανάλωσή της. Το μέγιστο της συγκέντρωσης Ιωδίου-131 στο γάλα παρουσιάζεται σε διάστημα μικρότερο από μία ημέρα μετά από την κατανάλωση μιας δόσης ρυπασμένης τροφής. Από την ολική ποσότητα Ιωδίου-131 που παίρνουν καθημερινά οι αγελάδες με την τροφή, ποσοστό 8% περίπου πηγαίνει στο γάλα (διακύμανση 4-20%). Η συγκέντρωση Ιωδίου-131 στο γάλα αιγών, που βόσκουν στον ίδιο βοσκότοπο με τις αγελάδες, είναι 5-10 φορές μεγαλύτερη. Πρέπει να σημειωθεί ότι για αγελάδες που παραμένουν συνεχώς σε

ρυπασμένους βοσκοτόπους απαιτείται χρονικό διάστημα τριών ημερών για να παρουσιαστεί το μέγιστο συγκέντρωσης Ιωδίου-131 στο γάλα τους. Η μετακίνηση των αγελάδων σε μη ρυπασμένες περιοχές συμβάλλει στη γρήγορη μείωση της ρύπανσης του γάλακτός τους με Ιώδιο-131 που, σε διάστημα 3-4 ημερών, μειώνεται στο 10% της μέγιστης τιμής που είχε φτάσει.

. Ραδιορρύπανση του ανθρώπινου σώματος

Η ραδιορρύπανση της τροφικής αλυσίδας τελικά φτάνει στον άνθρωπο με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Οι ρυπασμένες τροφές που αναγκαστικά ή από άγνοια καταναλώνει ο άνθρωπος (κρέας, γάλα, αυγά, λαχανικά, φρούτα, ξηροί καρποί, ψωμί κ.λπ.) ρυπαίνουν με ραδιενεργά άτομα τα διάφορα όργανα του σώματός του.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ

α. Με Στρόντιο-90

Το Στρόντιο-90, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, όταν φτάσει στον άνθρωπο, ενσωματώνεται στα διάφορα μέρη του σώματός του κυρίως όμως στο σκελετό του. Όπως και στην περίπτωση των ζώων, έτσι και στον άνθρωπο, ο οργανισμός του προτιμά το Ασβέστιο παρά το Στρόντιο-90. Αιτία είναι ο διαχωριστικός παράγοντας που αναφέραμε προηγούμενα, ο οποίος λειτουργεί τόσο στα ζώα όσο και στον άνθρωπο. Όταν στην τροφή υπάρχει το Ασβέστιο που έχει ανάγκη το σώμα του ανθρώπου, η ενσωμάτωση του υπάρχοντος Στροντίου-90 στα οστά μειώνεται σημαντικά.

Ο διαχωριστικός παράγοντας λειτουργεί έτσι, ώστε ο λόγος Στρόντιο / Ασβέστιο που ενσωματώνεται στα οστά να είναι δύο έως τέσσερις φορές μικρότερος από τον αντίστοιχο που υπάρχει στις τροφές του διαιτολόγιου.

Το ενσωματούμενο στα οστά Στρόντιο-90 παραμένει εκεί για διάστημα που είναι συνάρτηση της ηλικίας του ατόμου. Ο ρυθμός ανανέωσης των στοιχείων των οστών για τα βρέφη και τα νεαρά παιδιά είναι σχετικά υψηλός φτάνοντας περίπου στο 50% κατ' έτος, ενώ στους ενήλικες για τα αυλοειδή οστά (τα μακρά οστά) κυμαίνεται γύρω στο 1% και για τα σπογγώδη στο 10%.

ο βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού του Στροντίου στα οστα ειναι 2300 ημέρες.

Με βάση τα δεδομένα αυτά και αν ληφθεί υπόψη ότι το Στρόντιο-90 έχει πολύ μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού, όταν αυτό ενσωματωθεί στα οστά, θα ακτινοβολεί για πολλά χρόνια, με όλες τις καταστροφικές συνέπειες για τη γύρω περιοχή και κατά κύριο λόγο τον μυελό των οστών, ο οποίος είναι το αιμοποιητικό όργανο των ανωτέρων ζώων και για την υγεία γενικότερα.

β. Με Καίσιο-137

Το Καίσιο-137 εισερχόμενο στον οργανισμό του ανθρώπου κατανέμεται σ' ολόκληρο το σώμα του, κυρίως όμως στους μαλακούς ιστούς του. Ο χρόνος υποδιπλασιασμού του είναι αρκετά μεγάλος (30 χρόνια). Όμως είναι ευτύχημα ότι το εισερχόμενο Καίσιο-137 δεν παραμένει στο σώμα για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, γιατί ένα μέρος του αποβάλλεται καθημερινά με τα ούρα και τον ιδρώτα. Ο βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού του είναι αρκετά μικρός.

γ. Με Ιώδιο-131

Οι κύριες πηγές ρύπανσης του ανθρώπινου οργανισμού με Ιώδιο-131 μέσω της τροφής, είναι το γάλα και τα νωπά λαχανικά. Μεγάλο ποσοστό του Ιωδίου-131 που εισέρχεται στον οργανισμό, συγκεντρώνεται στον θυρεοειδή αδένα. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 20% για τους ενήλικες μέχρι 50% για τα παιδιά. Δεδομένου ότι το βάρος του θυρεοειδούς ενός βρέφους είναι περίπου 1,5 γραμμάρια και ενός ενήλικα 20 γραμμάρια, είναι αντιληπτό ότι απαιτείται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα Ιωδίου-131 για να υποστεί βλάβη ο θυρεοειδής ενός ενήλικα απ' ό,τι ο θυρεοειδής ενός παιδιού. Τα παιδιά ηλικίας από έξι μηνών μέχρι δύο χρονών έχουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία στο Ιώδιο-131.

ΣΥΜΕΩΝ Ε.Λ. ΣΑΧΙΝΙ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ

ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μέχρι τώρα αναφερθήκαμε στη ρύπανση των διαφόρων μερών-συστατικών του οικοσυστήματος από τα ραδιενεργά άτομα που θεωρούνται σημαντικά σε σχέση με τις επιπτώσεις τους στην υγεία του ανθρώπου. Επίσης αναφερθήκαμε στη μετακίνηση των ραδιενεργών ατόμων μέσω της τροφικής αλυσίδας και δώσαμε μερικές ποσοτικές σχέσεις για τη μετακίνησή τους στα φυτά. Τέλος εξετάσαμε τις συνέπειες της ραδιενεργού ρύπανσης του οικοσυστήματος πάνω στα φυτά και τα ζώα. Τώρα θα αναφερθούμε στα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για τον αγρότη και τα ζώα που βρίσκονται στο κτήμα αλλά και για τις καλλιέργειες του κτήματος και τα εδάφη. Αναφερόμαστε στο γεωργικό οικοσύστημα, επειδή είναι το χερσαίο οικοσύστημα που ενδιαφέρει περισσότερο τον άνθρωπο. Ανάλογα μέτρα μπορούν να ληφθούν για οποιοδήποτε άλλο χερσαίο οικοσύστημα. Χρονικά τα μέτρα μπορούν να διακριθούν σε άμεσα, δηλαδή μέτρα που πρέπει να ληφθούν αμέσως μετά την έκρηξη ή το ατύχημα, σε βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, δηλαδή μέτρα που αναφέρονται στην τύχη των καλλιεργειών που υπάρχουν στο κτήμα, και τέλος σε μακροπρόθεσμα, δηλαδή μέτρα που αναφέρονται στο τι θα πρέπει να γίνει με τα εδάφη και τις καλλιέργειες που θα ακολουθήσουν.

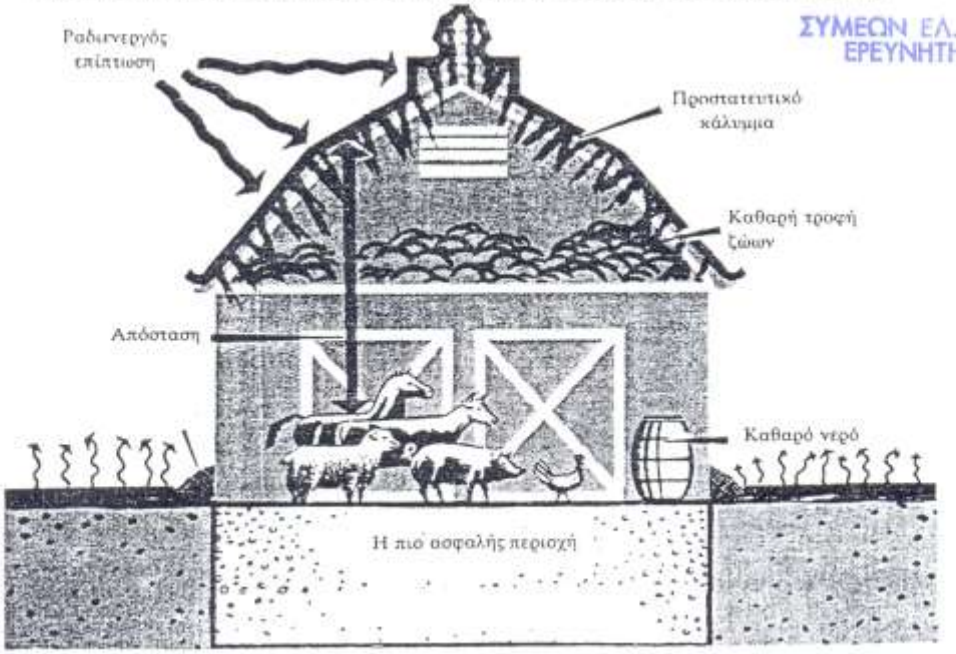
Άμεσα μέτρα

Μετά από πυρηνική έκρηξη ή ατύχημα και «εν αναμονή» της επερχόμενης ραδιενεργού επίπτωσης, οι άνθρωποι του αγρού και τα ζώα τους πρέπει να μεταφερθούν σε προστατευμένους χώρους. Στους χώρους αυτούς οι αγρότες περιμένουν πληροφορίες για την έκταση της μόλυνσης και οδηγίες κυρίως για το αν και για πόσο διάστημα μπορούν να κυκλοφορούν και να εργάζονται στο κτήμα.

Το πρώτο μεγάλο πρόβλημα που θα προκύψει μετά από σοβαρή ραδιενεργό ρύπανση είναι εκείνο της ανεύρεσης καθαρού νερού και τροφών, σε ποσότητες αρκετές για να καλυφθούν οι ανάγκες για όσο χρονικό διάστημα απαιτηθεί. Το νερό μπορεί να προέρχεται από προστατευμένο δίκτυο, προστατευμένη δεξαμενή, πηγάδι ή γεώτρηση. Όσον αφορά τη διατροφή του πληθυσμού και μέχρις ότου αποκατασταθεί κάποια ομαλότητα στη διακίνηση των τροφίμων οι κονσερβοποιημένες τροφές θα παίξουν σημαντικό ρόλο.

Για τη διατροφή των ζώων είναι ανάγκη να υπάρξουν αποθηκευμένες τροφές (σανά, καρποί, ενσιρωμένες* τροφές κ.λπ.) σε ποσότητες επαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες τουλάχιστον για ένα τρίμηνο.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π



Εικόνα 9.4. Προστασία ζώων από τη ραδιενεργό επίπτωση (Προέλευση: USDA Hand book 234, 1962).

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποθηκευμένα τρόφιμα τα οποία δεν έχουν ρυπανθεί άμεσα από τα ραδιενεργά άτομα της ραδιενεργού επίπτωσης δεν παρουσιάζουν κανένα πρόβλημα και μπορούν να καταναλωθούν χωρίς φόβο.

Τα ζώα που κατά τη διάρκεια της ραδιενεργού επίπτωσης βρέθηκαν σε ακάλυπτο χώρο δέχτηκαν στην επιφάνεια του σώματός τους ραδιενεργά υλικά. Για να απαλλαγούν, τουλάχιστον κατά ένα μεγάλο ποσοστό, απ' αυτά και κατ' επέκτασιν και από την ακτινοβολία τους, θα πρέπει, πριν μπούν στο σταύλο, να τους γίνει προσεκτικό πλύσιμο με καθαρό νερό.

• **Απομάκρυνση φυτικού καλύμματος**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα μέρος της ραδιενεργού επίπτωσης πέφ πάνω στα φυτά και συγκρατείται απ'αυτά. Το ποσό αυτό είναι ανάλο με την πυκνότητα της βλάστησης. Όταν το φυτικό κάλυμμα είναι πο πυκνό, η ρύπανση του εδάφους είναι χαμηλή αφού λίγα μόνο ραδιενερ άτομα φτάνουν σ'αυτό. Στην περίπτωση αυτή, συνεπώς, προσεκτι απομάκρυνση του φυτικού καλύμματος συνεπάγεται απομάκρυνση τ ραδιενεργού ρύπανσης που μπορεί να ξεπεράσει το ποσοστό του 90%. Τ όρθια και αραιά φυτά, αντίθετα, παρέχουν μικρή μόνο προστασία σ έδαφος και η απομάκρυνσή τους είναι ίσως χωρίς πρακτική αξία. Τ συγκεντρούμενα φυτικά μέρη αποθηκεύονται ή καίγονται. Λαμβάνετ πρόνοια ώστε να μην υπάρξει ρύπανση των εδαφών και φυτών από υπολείμματα ή τη στάχτη.

• **Απομάκρυνση επιφανειακού εδάφους**

Απόξεση των επιφανειακών πέντε εκατοστών εδάφους, με χρησιμοποί ση ενός ισοπεδωτή γαιών (grader), μπορεί να απομακρύνει τη ραδιενερ ρύπανση σε ποσοστό 60-99%, ανάλογα με την κατάσταση του εδάφους. απομάκρυνση ενός στρώματος του εδάφους είναι πολύ αποτελεσματικ μέθοδος απορρύπανσης, όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι λεία κ λιγότερο αποτελεσματική, όταν το έδαφος είναι ανώμαλο ή πρόσφατ καλλιεργημένο. Η εφαρμογή της μεθόδου δημιουργεί σοβαρά προβλήμ τα για την ασφαλή απόρριψη τόσο μεγάλων ποσοτήτων χώματος, αφο απομάκρυνση των πέντε επιφανειακών εκατοστών συνεπάγεται μετακ νηση 50 κυβικών μέτρων χώματος κατά στρέμμα. Τα ρυπασμένα χώματ ρίπτονται σε τάφρους, που προστατεύονται από διάβρωση και δι χρησιμοποιούνται για γεωργική παραγωγή.

Εκτός από την απόξεση μπορεί να γίνει κάλυψη της επιφάνειας τ εδάφους με λεπτό στρώμα προσκολλητικών ουσιών (ασφάλτου π.χ.). απομάκρυνση στη συνέχεια του στρώματος αυτού συνεπάγεται και απ μάκρυνση της περισσότερης ραδιενεργού ρύπανσης. Η μέθοδος αυτ θεωρείται επίσης αποτελεσματική για την απορρύπανση ρυπασμένω εδαφών, όμως έχει περιορισμένη αξία αν δεν υπάρχουν κατάλληλ μηχανικά μέσα για τη συλλογή και απομάκρυνση των προσκολλητικώ ουσιών.

• **Έκπλυση Στροντίου-90 και Καισίου-137 κάτω από τη ζώνη των ριζών**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τόσο το Στρόντιο-90 όσο και το Καίσιο-13 είναι κατιόντα (θετικά ιόντα) που προσροφώνται έντονα στην επιφάνει των κολλοειδών του εδάφους. Για να μετακινηθούν προς τα κατώτερ στρώματα, πρέπει άλλα κατιόντα, από το εδαφικό διάλυμα, να τ αντικαταστήσουν στην επιφάνεια των κολλοειδών και να ακολουθήσει έκπλυσή τους προς τα κατώτερα στρώματα. Η εργασία αυτή είναι όμοια με την εργασία βελτίωσης των αλκαλιωμένων εδαφών. Απαιτεί προσθή-κη κατάλληλης ποσότητας γύψου και συνεχή προσθήκη νερού καλής ποιότητας. Είναι όμως δυσκολότερη από τη βελτίωση των παθογενών εδαφών επειδή τόσο τό Στρόντιο όσο και το Καίσιο συγκρατούνται πολύ πιο έντονα από το Νάτριο στην επιφάνεια των κολλοειδών του εδάφους.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει περιορισμένη μόνο αξία γιατί απαιτεί τεράστιες ποσότητες νερού άρδευσης καλής ποιότητας, σημαντικά ποσά εδαφοβελτιωτικών ουσιών, εδάφη με καλή στράγγιση και μεγάλο χρονι-κό διάστημα για την έκπλυση.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.

.. Βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα μέτρα

Η τύχη των καλλιεργειών που υπάρχουν στον αγρό κατά την περίοδο του ατυχήματος ή της έκρηξης είναι το δεύτερο πρόβλημα. Υπάρχει περίπτωση μερικές καλλιέργειες να πρέπει να συγκομισθούν σε διάστημα ημερών μετά το ατύχημα ή την έκρηξη, ενώ άλλες σε μερικούς μήνες.

Κατά την περίοδο του ατύχηματος του Τσερνόμπιλ π.χ. υπήρχαν στα κτήματα λαχανικά που έπρεπε να συγκομισθούν αμέσως, σιτηρά και μερικά φρούτα (βερίκοκα ή ροδάκινα) που έπρεπε να συγκομισθούν σε 1-2 μήνες, και άλλες καλλιέργειες (μήλα, σταφύλια) που έπρεπε να συγκομισθούν σε 5-6 μήνες.

Ο κανόνας που ακολουθείται στις περιπτώσεις αυτές είναι ότι συγκομίζονται μόνο οι καλλιέργειες που παρουσιάζουν χαμηλή ραδιορρύπανση ή οι καλλιέργειες που μπορούν ν' απορρυπανθούν σε τρόπο ώστε να μην είναι επικίνδυνες όταν φτάσουν στην κατανάλωση. Καλλιέργειες που παρουσιάζουν μεγάλη ραδιορρύπανση της οποίας η απομάκρυνση δεν είναι εφικτή, δεν συγκομίζονται. Για την απορρύπανση γίνεται προσεκτικό πλύσιμο με άφθονο νερό των μερών των φυτών που έχουν εκτεθεί στη ραδιενεργό ρύπανση και στη συνέχεια προσεκτικό ξεφλούδισμα κλπ σε τόπο ώστε να μη ρυπαίνονται άλλα μέρη του φυτού με τα χέρια ή τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία. Εφόσον η απορρύπανση είναι επαρκής, τα προϊόντα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως τροφή των ανθρώπων. Στις περιπτώσεις που υπάρχει κάποια, όχι πολύ σοβαρή, ρύπανση, τα προϊόντα μπορούν να δοθούν ως τροφή σε μη γαλακτοπαραγωγά ζώα.

Μακροπρόθεσμα μέτρα

Το τι πρέπει να γίνει με τα εδάφη και τις καλλιέργειες που θ' ακολουθήσουν τα επόμενα χρόνια, είναι συνάρτηση του μεγέθους της ρύπανσης από τη ραδιενεργό επίπτωση. Όταν η ρύπανση των εδαφών είναι πολύ μεγάλη, τα φυτά που θα αναπτυχθούν σ'αυτά θα περιέχουν μεγάλες ποσότητες ραδιενεργών ατόμων και συνεπώς θα είναι ακατάλληλα για τροφή. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να ληφθούν μέτρα ώστε να απαλλαγεί το έδαφος, όσο γίνεται, από την παρουσία της ραδιορρύπανσης. Αντίθετα, όταν η ραδιορρύπανση είναι μικρή, η λήψη απλών βελτιωτικών μέτρων είναι επαρκής για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλούνται από την παρουσία της στο εδαφικό σύστημα.

α. Απορρύπανση εδάφους

Η απορρύπανση του εδάφους συνίσταται κυρίως στην απομάκρυνση απ'αυτό του Στροντίου-90 και του Καισίου-137, αφού τα υπόλοιπα ραδιενεργά ισότοπα που συνοδεύουν ένα πυρηνικό ατύχημα ή μια έκρηξη είτε έχουν πολύ μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού, είτε βρίσκονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες απ' ό,τι το Στρόντιο-90 και Καίσιο-137. Η απορρύπανση έχει σκοπό τη μείωση του ποσού του Στροντίου-90 και του Καισίου-137 σε επίπεδα τόσο χαμηλά ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή βρώσιμων νωπών λαχανικών και ζωοτροφών γαλακτοπαραγωγών ζώων. Οι κυριότεροι τρόποι απορρύπανσης είναι :

• **Συνεχής καλλιέργεια**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω τα καλλιεργούμενα φυτά προσλαμβάνουν από το έδαφος τα διάφορα ραδιενεργά στοιχεία σε ποσότητες που επηρεάζονται από τις ιδιότητες του εδάφους αλλά και τις απαιτήσεις των διαφόρων ειδών και ποικιλιών των φυτών. Συνεπώς, συνεχής καλλιέργεια του εδάφους με φυτά που προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες Στροντίου-90 ή Καισίου-137 και απομάκρυνσή τους από το έδαφος, αποτελεί μια μέθοδο απορρύπανσης του εδάφους. Όμως η μέθοδος αυτή έχει πολύ περιορισμένη αξία γιατί απαιτούνται πολλά χρόνια για να γίνει απορρύπανση.

6. Βελτιωτικά μέτρα

Σε περιοχές όπου η ραδιενεργός ρύπανση δεν είναι πολύ σοβαρή ή σε εδάφη που δεν προορίζονται για παραγωγή νωπών λαχανικών και τροφών γαλακτοπαραγωγών ζώων, είναι δυνατό να ληφθούν απλούστερα βελτιωτικά μέτρα για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλούνται από την παρουσία Στροντίου-90 και Καισίου-137 στο έδαφος. Τέτοια μέτρα είναι :

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

• **Προσθήκη χημικών ουσιών και λιπασμάτων**

ι) Προσθήκη Ασβεστίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η χημική συμπεριφορά του Στροντίου είναι όμοια με τη συμπεριφορά του Ασβεστίου. Έτσι η ανάγκη του φυτού για Ασβέστιο οδηγεί στην πρόσληψη Στροντίου-90 από εδάφη που είναι ρυπασμένα απ'αυτό και έχουν χαμηλά ποσά εναλλακτικού Ασβεστίου. Ασβέστωση των όξινων εδαφών συνεπάγεται σημαντική αύξηση της ποσότητας του Ασβεστίου που είναι διαθέσιμη στα φυτά και συνεπώς σημαντική μείωση της ποσότητας του προσλαμβανόμενου ποσού του Στροντίου-90. Ας σημειωθεί ότι η ασβέστωση των όξινων εδαφών επηρεάζει θετικά και τη γονιμότητά τους. Επίσης ότι οι διαφορές στην πρόσληψη Στροντίου-90 από τα φυτά σε διάφορους εδαφικούς τύπους αποδόθηκαν κυρίως στην ποσότητα του εναλλακτικού Ασβεστίου του εδάφους. Σε καλά μάλιστα γεωργικά εδάφη που περιέχουν αρκετό, διαθέσιμο για τα φυτά, Ασβέστιο επιπλέον προσθήκη Ασβεστίου δεν επηρεάζει σημαντικά την πρόσληψη Στροντίου-90.

Αναφορικά με τη συνιστώμενη μορφή του προστιθέμενου Ασβεστίου, σε όξινα εδάφη προστίθεται λειοτριβημένο ανθρακικό Ασβέστιο και σε αλκαλιωμένα προστίθεται γύψος. Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι τα περισσότερα πεδινά εδάφη της χώρας μας είναι πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο, οπότε η ασβέστωση δεν έχει νόημα. Όμως έχουν αναφερθεί αρκετές περιπτώσεις όπου η συνεχής χρησιμοποίηση αζωτούχων λιπασμάτων σε μεγάλες ποσότητες είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της οξύτητας του εδάφους. Πέρα απ'αυτό υπάρχουν και περιοχές όπου τα εδάφη είναι όξινα λόγω του βροχερού κλίματος, του όξινου μητρικού υλικού κ.λπ. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται ειδική φροντίδα (ασβέστωση).

ιι) Προσθήκη Καλίου και άλλων λιπασμάτων

Η χημική συμπεριφορά του Καισίου, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι όμοια με τη συμπεριφορά του Καλίου. Έτσι σε εδάφη ρυπασμένα με

Καίσιο-137 ή Καίσιο-134, όταν τα διαθέσιμα για τα φυτά ποσά Καλίου είναι χαμηλά, τα φυτά προσλαμβάνουν σημαντικές ποσότητες από τα ραδιενεργά αυτά στοιχεία. Προσθήκη καλιούχου λιπάσματος στα εδάφη αυτά συνεπάγεται σημαντική μείωση της ποσότητας του ραδιενεργού Καισίου που προσλαμβάνεται από τα φυτά. Περιεκτικότητα σε Κάλιο 80 mg/kg εδάφους αναφέρεται στη βιβλιογραφία σαν τιμή-κατώφλι. Μ' άλλα λόγια, τα δεδομένα για πρόσληψη Καισίου-137 δίνουν λόγο συγκέντρωσης (CR) γενικά και λόγο συγκέντρωσης για εδάφη με Κάλιο < 80 mg/kg εδάφους. Τα τελευταία δείχνουν 3-4 φορές μεγαλύτερο λόγο συγκέντρωσης για διάφορες καλλιέργειες (Peterson 1983).

Πέρα από την προσθήκη Ασβεστίου και Καλίου εφαρμογή στο έδαφος λιπασμάτων ή οργανικής ουσίας, σε ποσότητες που χρησιμοποιούνται στην πρακτική των λιπάνσεων, συνήθως μειώνει τις ποσότητες προσλαμβανόμενων από τα φυτά ραδιενεργών ατόμων. Οι ποσότητες μάλιστα των εδαφοβελτιωτικών και λιπασμάτων που συνιστώνται για να επιτευχθεί ένα μέγιστο παραγωγής είναι συχνά οι ίδιες μ'αυτές που συνιστώνται για τη μείωση της πρόσληψης των ραδιενεργών ατόμων από το φυτό.

- **Βαθιά άροση**

Με την άροση, όπως είναι γνωστό, το υπέδαφος έρχεται στην επιφάνεια ενώ το επιφανειακό έδαφος παραχώνεται. Εφαρμογή συνεπώς βαθιάς άροσης σε εδάφη ρυπασμένα με ραδιενεργά άτομα, πέρα από την αραίωση, συνεπάγεται παράχωμα των ραδιενεργών ατόμων σε βάθος, που δεν φτάνουν οι ρίζες μερικών επιπολαιόρριζων φυτών και επομένως έχουμε σημαντικά μειωμένη πρόσληψη ραδιονουκλιδίων από το φυτά αυτά. Σ'αυτό βοηθά και το γεγονός ότι η δραστηριότητα των ριζών των διαφόρων καλλιεργειών μειώνεται σημαντικά με το βάθος. Για τις περισσότερες συνεπώς ετήσιες καλλιέργειες η βαθιά άροση θα έχει ως συνέπεια τη μειωμένη πρόσληψη ραδιενεργών ατόμων. Πάντως η βαθιά άροση έχει και το μειονέκτημα να φέρνει στην επιφάνεια έδαφος από βαθύτερα στρώματα με σχετικά χαμηλή βιολογική δράση και γονιμότητα. Συνεπώς η βαθιά άροση πρέπει να εφαρμόζεται μόνο όταν υπάρχει σημαντική ραδιορρύπανση.

- **Αλλαγή στον τύπο της γεωργικής παραγωγής**

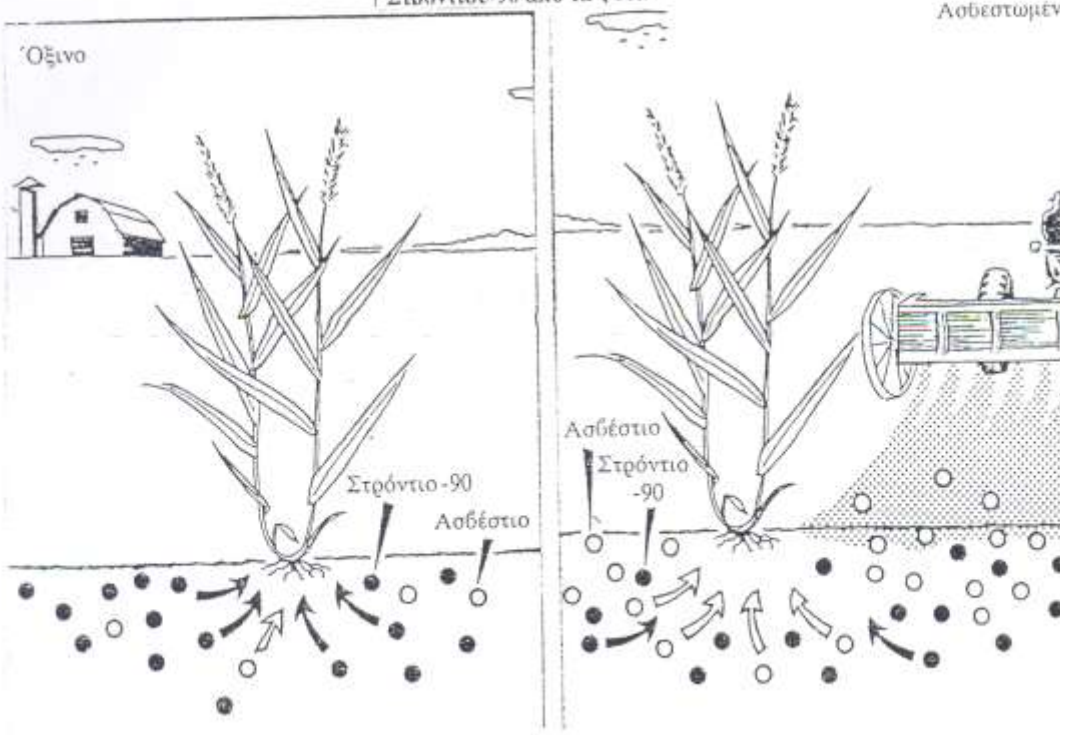
Στα βελτιωτικά μέτρα για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων από την παρουσία στο έδαφος ραδιενεργών ατόμων και ειδικότερα Στροντίου-90, περιλαμβάνεται και η επιλογή κατάλληλων φυτών για καλλιέργεια.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ξ.

21

Ειδικότερα είναι γνωστό ότι οι ανάγκες σε Ασβέστιο των διαφόρων φυτικών ειδών, ακόμη δε και των διαφόρων ποικιλιών του ίδιου είδους, ποικίλλουν. Τα ψυχανθή, για παράδειγμα, έχουν μεγαλύτερες ανάγκες σε Ασβέστιο απ' ό,τι τα αγροστώδη. Τα αγροστώδη, συνεπώς, προσλαμβάνουν μικρότερες ποσότητες Στροντίου-90 απ' ό,τι τα ψυχανθή όταν καλλιεργούνται στο ίδιο μ' αυτά έδαφος. Καλλιέργεια συνεπώς των τελευταίων σε μολυσμένα εδάφη θα έχει ως συνέπεια τη συγκομιδή προϊόντων με ελαφρή σχετικώς μόλυνση σε Στρόντιο-90. Είναι ευνόητο ότι αν δεν καλύπτονται από το σιτηρίσιο οι ανάγκες σε Ασβέστιο, στους καταναλωτές των προϊόντων αυτών συνιστάται η επιπρόσθετη χορήγηση Ασβεστίου, που μέχρις ενός σημείου μπορεί να είναι αυξημένη, για να μειώσει περισσότερο τη σχέση $^{90}Sr/Ca$ και συνεπώς την απόθεση Στροντίου-90 στα οστά των καταναλωτών αυτών των προϊόντων.

Τα φυτά που καλλιεργούνται για την παραγωγή ινών και κυρίως το βαμβάκι, που δεν έχουν ως κύριο σκοπό την παραγωγή τροφών, μπορούν να αναπτυχθούν σε ρυπασμένα εδάφη. Σε ρυπασμένα, μέχρις ενός σημείου, εδάφη μπορούν να αναπτυχθούν και φυτά που καλλιεργούνται για παραγωγή ζάχαρης ή λαδιού, αφού κατά την επεξεργασία που ακολουθεί για την παραγωγή λαδιού ή ζάχαρης απομακρύνονται τα ραδιενεργά άτομα. Μπορούν ακόμα να αναπτυχθούν φυτά για παραγωγή κτηνοτροφών παχυνομένων ζώων. Μετακίνηση συνεπώς της ζώνης καλλιέργειας των φυτών αυτών στα ρυπασμένα εδάφη και της ζώνης των λαχανικών και κτηνοτροφών για γαλακτοπαραγωγά ζώα σε μη ρυπασμένα εδάφη, όπου τούτο είναι δυνατό, αποτελεί ενδεικνυόμενη λύση.

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧ
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.

Εικόνα 9.5. Επίδραση ασβεστώσεως όξινων εδαφών στην πρόσληψη Στροντίου-90 από τα φυτά