

Contents

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	1
3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ – ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	1
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	2
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	4
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	4
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	6
8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	9
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	9
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΑΣ:	11
10. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ – ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ.....	12
11. ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ	14
12. ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΗΘΗΚΑΝ	14
13. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	17
14. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	17
15. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	18
16. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	18

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φυτοφάρμακα αποτελούν βασικό εργαλείο στη σύγχρονη γεωργία, καθώς συμβάλλουν στην προστασία των καλλιεργειών και στην αύξηση της παραγωγής τροφίμων. Ωστόσο, η εκτεταμένη χρήση τους έχει προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων στα τρόφιμα, ιδιαίτερα σε φρούτα και λαχανικά, αποτελούν σημαντικό ζήτημα ασφάλειας τροφίμων και δημόσιας υγείας. Στην Κύπρο, όπου η γεωργία κατέχει σημαντικό ρόλο στην οικονομία και στην τοπική παραγωγή τροφίμων, η χρήση

φυτοφαρμάκων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Οι αρμόδιες αρχές πραγματοποιούν τακτικούς ελέγχους για την ανίχνευση υπολειμμάτων σε τρόφιμα και νερό, με στόχο την προστασία των καταναλωτών

και τη συμμόρφωση με την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Παρ' όλα αυτά, η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιπέδων φυτοφαρμάκων παραμένει αναγκαία.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η ανίχνευση και ο ποσοτικός προσδιορισμός υπολειμμάτων

φυτοφαρμάκων σε τρόφιμα, με έμφαση σε δείγμα φράουλας, καθώς και η αξιολόγηση της ασφάλειας του δείγματος σε σχέση με τα επιτρεπτά όρια. Παράλληλα, επιδιώκεται η κατανόηση των μεθόδων ανάλυσης και η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ – ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Ερευνητικά ερωτήματα

- Υπάρχουν υπολείμματα φυτοφαρμάκων στο δείγμα;
- Ποια είναι η συγκέντρωση των ουσιών;
- Υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια;
- Πόσο αξιόπιστες είναι οι μέθοδοι;

Υποθέσεις

- Είναι πιθανή η παρουσία υπολειμμάτων. • Οι συγκεντρώσεις θα είναι εντός ορίων. • Οι μέθοδοι θα είναι αξιόπιστες.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα φυτοφάρμακα αποτελούν χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την προστασία των καλλιεργειών από επιβλαβείς οργανισμούς, όπως έντομα, ζιζάνια και μύκητες. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και μυκητοκτόνα. Η χρήση τους έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής, ωστόσο συνδέεται με επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον.

Η έκθεση στα φυτοφάρμακα μπορεί να είναι οξεία ή χρόνια. Η οξεία έκθεση, που προκύπτει από μεγάλη ποσότητα σε μικρό χρονικό διάστημα, μπορεί να προκαλέσει συμπτώματα όπως πονοκέφαλο, ζάλη, ναυτία και ερεθισμούς στο δέρμα ή στα μάτια, ενώ σε σοβαρές περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστικά και νευρολογικά προβλήματα. Αντίθετα, η χρόνια έκθεση σε μικρές ποσότητες μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση στον οργανισμό και συνδέεται με ορμονικές διαταραχές, νευρολογικές παθήσεις, μειωμένη γονιμότητα και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φυτοφαρμάκων είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Οι ουσίες αυτές μπορούν να μολύνουν το έδαφος και τα υπόγεια νερά, επηρεάζοντας τη γονιμότητα του εδάφους και την ποιότητα του πόσιμου νερού. Παράλληλα, επηρεάζουν αρνητικά τη βιοποικιλότητα, καθώς μειώνουν τους πληθυσμούς οργανισμών όπως οι μέλισσες, τα πουλιά και άλλοι ωφέλιμοι οργανισμοί. Η συνεχής χρήση τους οδηγεί επίσης στην ανάπτυξη ανθεκτικών οργανισμών, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο αυξανόμενης χρήσης χημικών ουσιών.

Για την προστασία των καταναλωτών, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει αυστηρό κανονιστικό πλαίσιο. Καθορίζονται μέγιστα επιτρεπτά όρια υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων (MRLs), ενώ πραγματοποιούνται συστηματικοί έλεγχοι τόσο σε εγχώρια όσο και σε εισαγόμενα προϊόντα. Η Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων (EFSA) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, καθώς αξιολογεί τους κινδύνους και παρέχει επιστημονικές κατευθυντήριες οδηγίες. Οι σχετικοί κανονισμοί αναθεωρούνται τακτικά με βάση νέα επιστημονικά δεδομένα.

Η ανίχνευση των φυτοφαρμάκων βασίζεται σε σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές υψηλής ακρίβειας. Πριν την ανάλυση, απαιτείται κατάλληλη προετοιμασία του δείγματος μέσω εκχύλισης, κατά την οποία χρησιμοποιούνται οργανικοί διαλύτες για την απομόνωση των φυτοφαρμάκων από το τρόφιμο. Η επιλογή του διαλύτη εξαρτάται από τη χημική φύση των ουσιών, καθώς διαφορετικά φυτοφάρμακα παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα με την πολικότητα και το είδος του δείγματος (π.χ. τρόφιμα με υψηλή ή χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό).

Σημαντική είναι η διάκριση μεταξύ πολυυπολειμματικών και εξειδικευμένων μεθόδων ανάλυσης. Οι πολυυπολειμματικές μέθοδοι επιτρέπουν την ταυτόχρονη ανίχνευση μεγάλου αριθμού φυτοφαρμάκων και χρησιμοποιούνται ευρέως σε φρούτα και λαχανικά. Αντίθετα, οι εξειδικευμένες μέθοδοι εφαρμόζονται για συγκεκριμένες ουσίες που παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες ανίχνευσης.

Οι πιο αξιόπιστες τεχνικές ανάλυσης είναι η υγρή χρωματογραφία σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας (LC-MS/MS) και η αέρια χρωματογραφία με φασματομετρία μάζας (GC-MS/MS). Οι τεχνικές αυτές επιτρέπουν τον διαχωρισμό, την ταυτοποίηση και την ποσοτικοποίηση των φυτοφαρμάκων με πολύ μεγάλη ευαισθησία. Για την προετοιμασία των δειγμάτων χρησιμοποιείται συχνά η μέθοδος QuEChERS, η οποία θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική και χρησιμοποιείται ευρέως σε σύγχρονα εργαστήρια.

Η ποσοτικοποίηση των φυτοφαρμάκων πραγματοποιείται με τη χρήση καμπύλης βαθμονόμησης, μέσω της οποίας υπολογίζεται η συγκέντρωση της ουσίας στο δείγμα. Για την επιβεβαίωση της παρουσίας μιας ουσίας απαιτείται η ανίχνευση χαρακτηριστικών ιόντων, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η παρουσία περισσότερων από ενός φυτοφαρμάκων στο ίδιο τρόφιμο, φαινόμενο γνωστό ως πολυυπολειμματικότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστεί συνεργιστική δράση, κατά την οποία οι ουσίες ενισχύουν η μία τη δράση της άλλης, αυξάνοντας τη συνολική τοξικότητα.

Τέλος, οι εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα, τα οποία διασφαλίζουν την ποιότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η συνεχής αναθεώρηση των μεθόδων και η χρήση σύγχρονων τεχνικών συμβάλλουν στην αποτελεσματική παρακολούθηση των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων.

Η θεωρητική αυτή προσέγγιση ενισχύθηκε περαιτέρω μέσα από την επαφή με πραγματικές εργαστηριακές πρακτικές. Συγκεκριμένα, κατά την επίσκεψη στο Κρατικό Χημείο, δόθηκε η δυνατότητα παρατήρησης των σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση φυτοφαρμάκων σε τρόφιμα. Διαπιστώθηκε ότι οι διαδικασίες που εφαρμόζονται βασίζονται σε ευρωπαϊκά πρότυπα και περιλαμβάνουν προηγμένες τεχνικές, όπως η χρωματογραφία σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας. Η εμπειρία αυτή επιβεβαίωσε τη σημασία της θεωρητικής γνώσης και ανέδειξε τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται στην πράξη, συμβάλλοντας στην κατανόηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων και του ρόλου των ελέγχων στην προστασία της δημόσιας υγείας.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τις ανάγκες της εργασίας μας, συνεργαστήκαμε με το Γενικό Χημείο του Κράτους. Πριν από την επίσκεψή μας, ετοιμάσαμε ένα σύνολο ερωτήσεων για τους επιστημονικούς συνεργάτες του εργαστηρίου (βλ. Παράρτημα 1). Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης, είχαμε την ευκαιρία να παρατηρήσουμε την πειραματική διαδικασία ανίχνευσης φυτοφαρμάκων σε δείγμα φράουλας.

Σχεδιασμός της έρευνας

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε συνδυασμό βιβλιογραφικής έρευνας και πειραματικής προσέγγισης. Αρχικά πραγματοποιήθηκε συλλογή και μελέτη πληροφοριών σχετικά με τα φυτοφάρμακα, τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, καθώς και τις μεθόδους ανίχνευσής τους. Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκαν δεδομένα από εργαστηριακή ανάλυση δείγματος τροφίμου, με στόχο την κατανόηση της πρακτικής εφαρμογής των αναλυτικών αυτών μεθόδων.

Δείγμα της έρευνας

Ως δείγμα της έρευνας χρησιμοποιήθηκε τρόφιμο φυτικής προέλευσης και συγκεκριμένα φράουλα. Η επιλογή του δείγματος έγινε λόγω της ευρείας κατανάλωσής του, αλλά και της πιθανής παρουσίας υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων. Παράλληλα, η μελέτη υποστηρίχθηκε από βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν γενικότερα τρόφιμα φυτικής προέλευσης.

Μέσα συλλογής δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα μέσα:

- Βιβλιογραφικές πηγές (επιστημονικά άρθρα, σημειώσεις και έγκυρο εκπαιδευτικό υλικό)
- Εργαστηριακά δεδομένα από ανάλυση δείγματος τροφίμου
- Χρωματογραφικές τεχνικές (LC-MS/MS και GC-MS/MS) για την ανίχνευση φυτοφαρμάκων
- Καμπύλη βαθμονόμησης για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ουσιών

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Κατά την επίσκεψη στο Κρατικό Χημείο, διαπιστώθηκε ότι οι αναλύσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρωτόκολλα (EURL), τα οποία εφαρμόζονται από όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα πρωτόκολλα αυτά επικαιροποιούνται τακτικά μέσα από διεθνείς συνεργασίες και επιστημονικές αξιολογήσεις, διασφαλίζοντας την εγκυρότητα και την επικαιρότητα των μεθόδων.

Οι χημικοί του εργαστηρίου ακολουθούν αυστηρά τις καθορισμένες διαδικασίες, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, ενώ έχουν τη δυνατότητα περιορισμένων προσαρμογών, εφόσον αυτές παραμένουν εντός των ευρωπαϊκών προδιαγραφών.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι:

- πραγματοποιούνται τακτικοί έλεγχοι σε τρόφιμα, ιδιαίτερα σε εισαγόμενα προϊόντα
- εφαρμόζονται πολυπολειμματικές μέθοδοι για την ταυτόχρονη ανίχνευση μεγάλου αριθμού φυτοφαρμάκων
- δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα των μετρήσεων, καθώς και στην επαναληψιμότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων

Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας

Δείγμα τροφίμου → Εκχύλιση (QuEChERS) → Διαχωρισμός (LC ή GC) → Ανίχνευση (MS/MS) → Ποσοτικοποίηση → Σύγκριση με όρια (MRLs)

Μεθοδολογία πειράματος ανίχνευσης φυτοφαρμάκων σε φράουλα

Η πειραματική διαδικασία ανάλυσης του δείγματος φράουλας πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας συγκεκριμένα στάδια:

Αρχικά, το δείγμα τοποθετήθηκε στην κατάψυξη και στη συνέχεια αλέστηκε (μαζί με τη φλούδα) ώστε να επιτευχθεί πλήρης ομογενοποίηση. Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν 10 g δείγματος και τοποθετήθηκαν σε ειδικούς σωλήνες (tubes), δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην ομοιογένεια, ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι δειγμάτων: ένα τυφλό δείγμα (blank), το οποίο δεν περιείχε φυτοφάρμακα, και ένα δείγμα εμπλουτισμένο (spiked) με γνωστό μείγμα φυτοφαρμάκων. Η χρήση των δύο αυτών δειγμάτων επιτρέπει τον έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθόδου και λειτουργεί ως δικλίδα ασφαλείας για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Ακολούθησε η εκχύλιση των φυτοφαρμάκων με προσθήκη οργανικού διαλύτη (οξικός αιθυλεστέρας), ενώ προστέθηκε όξινο ανθρακικό νάτριο για τη ρύθμιση του pH. Στη συνέχεια, προστέθηκε άνυδρο θειικό νάτριο (Na_2SO_4) για την απομάκρυνση της υγρασίας. Το μείγμα ανακινήθηκε για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (1 λεπτό) ώστε να εξασφαλιστεί αποτελεσματική εκχύλιση.

Το δείγμα τοποθετήθηκε σε φυγόκεντρο (3300 στροφές/λεπτό) για τον διαχωρισμό των φάσεων. Στη συνέχεια, το εκχύλισμα φιλτραρίστηκε με σύριγγα και μεταφέρθηκε σε καθαρό δοχείο. Ακολούθησε αραίωση του δείγματος πριν την ανάλυση.

Η ανίχνευση των φυτοφαρμάκων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση υγρής και αέριας χρωματογραφίας, σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας.

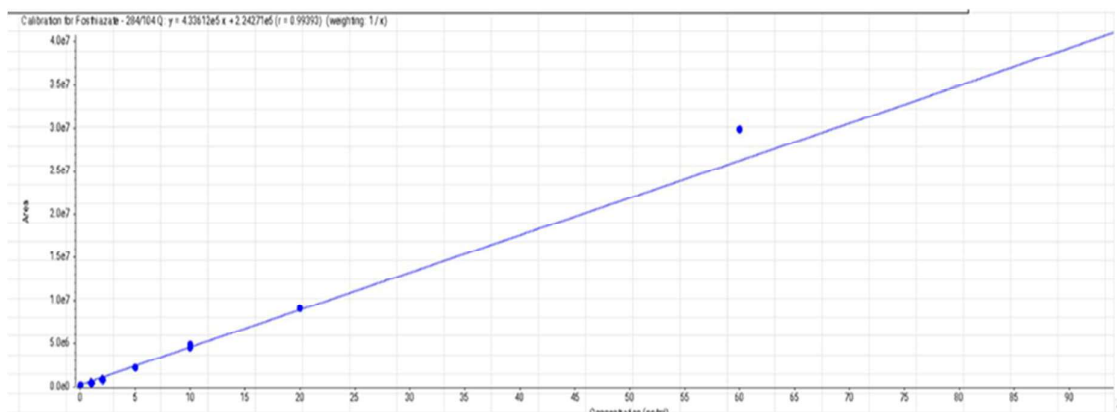
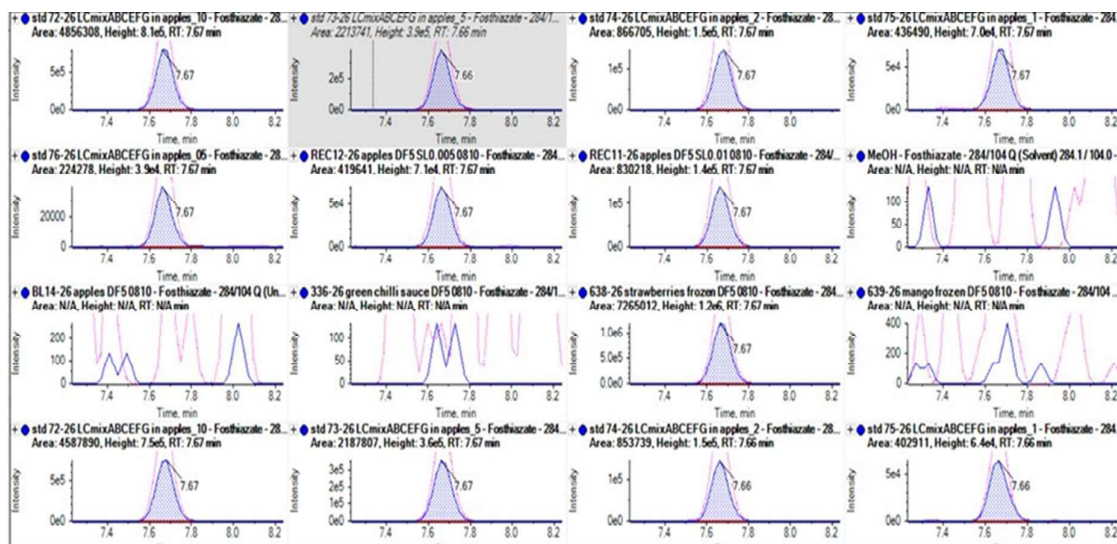
Για την αποφυγή επιμόλυνσης, τα εργαλεία (όπως οι λεπίδες άλεσης) καθαρίζονταν με κατάλληλους διαλύτες μεταξύ των δειγμάτων.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές, προκειμένου να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας υπόψη και τα πιθανά σφάλματα μέτρησης.

Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα νομοθετικά όρια υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων, τα οποία καθορίζονται σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (ενδεικτικά της τάξης των mg/kg, ανάλογα με την ουσία).

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε ανάλυση για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό του φυτοφαρμάκου **Fosthiazate** σε δείγματα τροφίμων, με ιδιαίτερη έμφαση σε δείγμα κατεψυγμένων φραουλών. Η ανάλυση βασίστηκε στη χρωματογραφική συμπεριφορά του αναλύτη και στη χρήση καμπύλης βαθμονόμησης για τον υπολογισμό της συγκέντρωσής του.



Χρωματογραφική ανάλυση

Από τα χρωματογραφήματα παρατηρήθηκε η παρουσία χαρακτηριστικής κορυφής σε χρόνο κατακράτησης περίπου **7.66–7.67 min**. Η κορυφή αυτή εμφανίζεται τόσο στα πρότυπα διαλύματα όσο και σε ορισμένα από τα εξεταζόμενα δείγματα.

Η ταύτιση του χρόνου κατακράτησης μεταξύ προτύπων και δειγμάτων αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι το καταγεγραμμένο σήμα αντιστοιχεί στο εξεταζόμενο φυτοφάρμακο.

Στα πρότυπα διαλύματα, οι κορυφές εμφανίζονται καθαρές και συμμετρικές, γεγονός που υποδηλώνει καλή χρωματογραφική απόδοση και σωστή λειτουργία του αναλυτικού συστήματος. Επιπλέον, η σταθερότητα του χρόνου κατακράτησης μεταξύ των αναλύσεων ενισχύει την αξιοπιστία της ταυτοποίησης.

Πρότυπα διαλύματα

Τα πρότυπα διαλύματα παρουσίασαν σταδιακή αύξηση της επιφάνειας κορυφής (Area) με την αύξηση της συγκέντρωσης του αναλύτη. Ενδεικτικά:

Πρότυπο	Area
std72	~4,587,890
std73	~2,187,807
std74	~866,705
std75	~436,490
std76	~224,278

Η συστηματική αυτή μεταβολή επιβεβαιώνει τη γραμμική απόκριση του ανιχνευτή και τη σωστή προετοιμασία των προτύπων.

Καμπύλη βαθμονόμησης

Η καμπύλη βαθμονόμησης εκφράζει τη σχέση μεταξύ συγκέντρωσης και επιφάνειας κορυφής και δίνεται από την εξίσωση:

$$y = 4.33612 \times 10^5 \cdot x + 2.24271 \times 10^5$$

όπου:

- y = επιφάνεια κορυφής (Area)
- x = συγκέντρωση (ng/mL)

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$R^2 = 0.9993$$

Η τιμή αυτή υποδηλώνει εξαιρετική γραμμικότητα και υψηλή αξιοπιστία της μεθόδου.

Ανάλυση δείγματος φράουλας

Στο δείγμα κατεψυγμένων φραουλών παρατηρήθηκε κορυφή στον ίδιο χρόνο κατακράτησης με τα πρότυπα, γεγονός που υποδηλώνει την παρουσία του φυτοφαρμάκου.

Η επιφάνεια κορυφής που καταγράφηκε είναι:

$$Area \approx 7,265,012$$

Η συγκέντρωση υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση:

$$x = \frac{y - b}{m}$$

και προέκυψε:

$$x \approx 16 \text{ ng/mL}$$

Παρατηρήσεις για άλλα δείγματα

Σε ορισμένα δείγματα δεν παρατηρήθηκε σαφής κορυφή στον αντίστοιχο χρόνο κατακράτησης, γεγονός που υποδηλώνει είτε απουσία του φυτοφαρμάκου είτε συγκέντρωση κάτω από το όριο ανίχνευσης.

Σε άλλες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν σήματα που πιθανόν οφείλονται σε παρεμβολές από το υπόστρωμα (matrix interference).

8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα των χρωματογραφικών τεχνικών στην ανίχνευση φυτοφαρμάκων σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Η υψηλή γραμμικότητα της καμπύλης βαθμονόμησης ($R^2 = 0.9993$) υποδηλώνει ότι η μέθοδος είναι αξιόπιστη και κατάλληλη για ποσοτικό προσδιορισμό.

Η ανίχνευση του Fosthiazate στο δείγμα φράουλας δείχνει ότι υπολείμματα φυτοφαρμάκων μπορούν να παραμείνουν στα τρόφιμα ακόμη και μετά την επεξεργασία ή αποθήκευση. Ωστόσο, η συγκέντρωση που υπολογίστηκε ($\approx 16 \text{ ng/mL}$ στο εκχύλισμα) θεωρείται σχετικά χαμηλή.

Για την πλήρη αξιολόγηση της επικινδυνότητας, απαιτείται μετατροπή της συγκέντρωσης σε mg/kg δείγματος και σύγκριση με τα νομοθετημένα όρια (MRLs), λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η αραίωση και η μάζα του δείγματος.

Η παρουσία ή απουσία κορυφών σε άλλα δείγματα αναδεικνύει τη σημασία της ευαισθησίας της μεθόδου αλλά και την επίδραση της μήτρας του δείγματος, η οποία μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η καμπύλη βαθμονόμησης παρουσιάζει εξαιρετική γραμμικότητα με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.9993$.

Τα πρότυπα διαλύματα εμφανίζουν σωστή χρωματογραφική συμπεριφορά και καλή επαναληψιμότητα.

Στο δείγμα κατεψυγμένων φραουλών ανιχνεύεται το φυτοφάρμακο Fosthiazate.

Η συγκέντρωση που υπολογίστηκε στο εκχύλισμα είναι περίπου 16 ng/mL, γεγονός που υποδηλώνει σχετικά χαμηλό επίπεδο υπολείμματος.

Για την πλήρη αξιολόγηση της ασφάλειας του δείγματος απαιτείται η μετατροπή της συγκέντρωσης σε mg/kg δείγματος, λαμβάνοντας υπόψη το βάρος του αρχικού δείγματος, τον όγκο εκχύλισης και τυχόν παράγοντες αραίωσης. Με βάση αυτά τα δεδομένα μπορεί να γίνει σύγκριση με τα θεσμοθετημένα μέγιστα επιτρεπτά όρια υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων στα τρόφιμα.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΑΣ:

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τη σημασία των φυτοφαρμάκων στη σύγχρονη γεωργία, καθώς συμβάλλουν καθοριστικά στην αύξηση της παραγωγής τροφίμων και στην προστασία των καλλιεργειών από επιβλαβείς οργανισμούς. Παρά τα οφέλη τους, η χρήση τους συνοδεύεται από σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον.

Όσον αφορά την υγεία, διαπιστώθηκε ότι η έκθεση σε φυτοφάρμακα μπορεί να προκαλέσει άμεσες (οξείες) αλλά και μακροχρόνιες επιπτώσεις, όπως νευρολογικές διαταραχές, ορμονικές δυσλειτουργίες και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης σοβαρών ασθενειών. Η συνεχής έκθεση σε μικρές ποσότητες μέσω της διατροφής καθιστά αναγκαία τη συστηματική παρακολούθηση των υπολειμμάτων στα τρόφιμα.

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, τα φυτοφάρμακα συμβάλλουν στη ρύπανση του εδάφους, των υδάτων και της ατμόσφαιρας, ενώ επηρεάζουν αρνητικά τη βιοποικιλότητα, προκαλώντας μείωση πληθυσμών σημαντικών οργανισμών, όπως οι επικονιαστές. Επιπλέον, η εκτεταμένη χρήση τους οδηγεί στην ανάπτυξη ανθεκτικών ειδών, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για ακόμη μεγαλύτερη χρήση τους, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο.

Η εργασία κατέδειξε επίσης τη σημασία των σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης, όπως οι χρωματογραφικές τεχνικές, που επιτρέπουν την αξιόπιστη ανίχνευση και ποσοτικοποίηση φυτοφαρμάκων ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Οι μέθοδοι αυτές αποτελούν βασικό εργαλείο για τον έλεγχο της ασφάλειας των τροφίμων.

Παράλληλα, τονίστηκε ο καθοριστικός ρόλος της ευρωπαϊκής νομοθεσίας και των ελεγκτικών μηχανισμών, οι οποίοι θέτουν όρια και πραγματοποιούν συστηματικούς ελέγχους, συμβάλλοντας στην προστασία των καταναλωτών και στη διασφάλιση της ποιότητας των τροφίμων.

Συνολικά, προκύπτει ότι η χρήση των φυτοφαρμάκων είναι αναγκαία αλλά απαιτείται ορθολογική και ελεγχόμενη εφαρμογή. Η ενημέρωση των παραγωγών και των καταναλωτών, η ενίσχυση των ελέγχων και η προώθηση πιο φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη μείωση των κινδύνων και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας.

10. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ – ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας, διατυπώνονται οι ακόλουθες εισηγήσεις για την καλύτερη αξιοποίηση των ευρημάτων και την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση φυτοφαρμάκων:

Εισηγήσεις για αξιοποίηση των πορισμάτων:

- Ενίσχυση των ελέγχων στα τρόφιμα, ιδιαίτερα σε φρούτα και λαχανικά που καταναλώνονται συχνά.
 - Συστηματική παρακολούθηση των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τα επιτρεπτά όρια.
 - Αξιοποίηση των σύγχρονων χρωματογραφικών τεχνικών για πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.
 - Ενημέρωση και εκπαίδευση των παραγωγών σχετικά με την ορθολογική χρήση φυτοφαρμάκων.
 - Ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για σωστές πρακτικές, όπως το καλό πλύσιμο και η επιλογή εποχιακών προϊόντων.
- Προτεινόμενα επόμενα βήματα
- Διενέργεια περισσότερων αναλύσεων σε μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων για πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.
 - Επέκταση της έρευνας σε διαφορετικά τρόφιμα και κατηγορίες προϊόντων.

- Μετατροπή των συγκεντρώσεων σε mg/kg ώστε να γίνει πλήρης σύγκριση με τα νομοθετημένα όρια.
- Μελέτη της συνδυαστικής δράσης πολλών φυτοφαρμάκων (πολυφαρμακία).
- Ανάπτυξη και χρήση πιο φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών μεθόδων φυτοπροστασίας.
- Περιορισμός της υπερβολικής χρήσης φυτοφαρμάκων.
- Προώθηση βιολογικών καλλιεργειών και ολοκληρωμένης διαχείρισης καλλιεργειών.
- Ενίσχυση της νομοθεσίας και των ελέγχων από τις αρμόδιες αρχές.
- Συνεχής αναθεώρηση των επιτρεπτών ορίων με βάση νέα επιστημονικά δεδομένα.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση των κινδύνων από τα φυτοφάρμακα απαιτεί συνεργασία μεταξύ επιστημόνων, κρατικών φορέων, παραγωγών και καταναλωτών, καθώς και συνεχή έλεγχο και ενημέρωση.

11. ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ

- Εναλλαγή τροφών
- Καλό πλήσιμο και καθάρισμα φλούδας
- Καλύτερα να επιλέγουμε τα εποχιακά φρούτα και λαχανικά

12. ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΗΘΗΚΑΝ

Μέσα από τη συμμετοχή στην παρούσα έρευνα για τα φυτοφάρμακα, αποκτήθηκαν σημαντικές γνώσεις και δεξιότητες, τόσο σε εργαστηριακό όσο και σε ευρύτερο γνωστικό και προσωπικό επίπεδο.

Αρχικά, αναπτύχθηκαν βασικές εργαστηριακές δεξιότητες, όπως η σωστή προετοιμασία και ο χειρισμός δειγμάτων τροφίμων. Συγκεκριμένα, οι μαθητές/μαθήτριες εξοικειώθηκαν με διαδικασίες όπως η ομογενοποίηση δείγματος, η ζύγιση με ακρίβεια, η εκχύλιση με χρήση διαλυτών και η χρήση βασικού εργαστηριακού εξοπλισμού (φυγόκεντρος, σύριγγες φιλτραρίσματος κ.ά.). Επιπλέον, απέκτησαν κατανόηση της λειτουργίας σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών, όπως η υγρή και η αέρια χρωματογραφία, καθώς και η σημασία της φασματομετρίας μάζας για την ανίχνευση χημικών ουσιών.

Παράλληλα, αναπτύχθηκαν δεξιότητες επιστημονικής σκέψης και ανάλυσης δεδομένων. Οι μαθητές/μαθήτριες έμαθαν να επεξεργάζονται αποτελέσματα, να χρησιμοποιούν καμπύλες βαθμονόμησης για τον υπολογισμό συγκεντρώσεων και να ερμηνεύουν χρωματογραφικά δεδομένα. Επίσης, κατανόησαν τη σημασία της ακρίβειας, της επαναληψιμότητας και της αξιοπιστίας σε ένα επιστημονικό πείραμα.

Επιπλέον, ενισχύθηκαν σημαντικές εγκάρσιες δεξιότητες, όπως:

- η συνεργασία και η ομαδική εργασία κατά την εκτέλεση των πειραμάτων
- η υπευθυνότητα και η τήρηση οδηγιών ασφάλειας στο εργαστήριο
- η οργάνωση και η διαχείριση χρόνου
- η κριτική σκέψη και η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων

Ακόμη, αναπτύχθηκαν δεξιότητες έρευνας και πληροφόρησης, καθώς οι μαθητές/μαθήτριες αναζήτησαν και αξιολόγησαν επιστημονικές πηγές σχετικά με τα φυτοφάρμακα, τις επιπτώσεις τους και τη σχετική νομοθεσία. Μέσα από αυτή τη

διαδικασία καλλιεργήθηκε η ικανότητα κατανόησης επιστημονικών εννοιών και η σύνδεση θεωρίας με πράξη.

Τέλος, η συμμετοχή στην έρευνα συνέβαλε στην ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης και υπευθυνότητας ως καταναλωτές, καθώς έγινε κατανοητή η σημασία της ασφάλειας των τροφίμων και των επιπτώσεων των φυτοφαρμάκων στην υγεία και το περιβάλλον.

Συνολικά, η εμπλοκή στην έρευνα αποτέλεσε μια πολύτιμη εμπειρία, καθώς συνδύασε τη θεωρητική γνώση με την πρακτική εφαρμογή και συνέβαλε στην ανάπτυξη δεξιοτήτων χρήσιμων τόσο στην εκπαίδευση όσο και στην καθημερινή ζωή.

13. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, όπως:

- η ανάλυση βασίζεται σε περιορισμένο αριθμό δειγμάτων
- πιθανές παρεμβολές από το υπόστρωμα του δείγματος (matrix effect)
- η συγκέντρωση υπολογίζεται αρχικά στο εκχύλισμα και απαιτείται περαιτέρω μετατροπή για πλήρη αξιολόγηση

14. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα έρευνα κρίνεται απαραίτητη, καθώς συμβάλλει στην προστασία της δημόσιας υγείας και στην ενημέρωση των καταναλωτών σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων. Επιπλέον, ενισχύει τη σημασία των ελέγχων και της τήρησης της νομοθεσίας για τα φυτοφάρμακα, ενώ παράλληλα

προάγει τη χρήση αξιόπιστων επιστημονικών μεθόδων για την ανίχνευση επικίνδυνων ουσιών.

15. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- European Food Safety Authority (EFSA), European Union report on pesticide residues in food (2023)
- World Health Organization (WHO), Pesticide residues in food – Fact sheet (2022)
- Mostafalou, S. & Abdollahi, M., Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives, Toxicology (2013)
- Koudadje, C. et al., Implications of pesticide residue in food crops on human health, Springer (2024)
- European Commission, SANTE/12682/2019: Method validation and quality control procedures for pesticide residue analysis in food and feed
- Amirahmadi, M. et al., Pesticide residue analysis using LC-MS/MS and GC-MS/MS, Food Chemistry (2013)
- Anastassiades, M. et al., QuEChERS — A Sample Preparation Method for Pesticide Residue Analysis (2003)
- Niessen, W. M. A., Liquid Chromatography–Mass Spectrometry (2017)
- Skoog, D. A., Holler, F. J., Crouch, S. R., Principles of Instrumental Analysis (2014)
- Food and Agriculture Organization (FAO), <https://www.fao.org>
- U.S. Food and Drug Administration (FDA), <https://www.fda.gov>
- European Environment Agency (EEA), <https://www.eea.europa.eu>

16. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Φύλλο Συνέντευξης

Σχολείο:

Ομάδα:

Ημερομηνία Συνέντευξης:

Εξωτερικός Συνεργάτης: Γενικό Χημείο του Κράτους

Όνομα αναλυτή:

Εργαστήριο Υπολειμμάτων Φυτοφαρμάκων και POPs (Εργ. 8)

1. Ποιοι παράγοντες καθορίζουν ποια φυτοφάρμακα επιλέγονται για ανίχνευση σε ένα συγκεκριμένο τρόφιμο;
2. Πώς πραγματοποιείται η δειγματοληψία των τροφίμων και κάθε πότε λαμβάνονται δείγματα για ανάλυση;
3. Ποια είναι τα βασικά στάδια προετοιμασίας του δείγματος πριν από την ανάλυση και γιατί θεωρούνται κρίσιμα;
4. Ποιες αναλυτικές τεχνικές (π.χ. χρωματογραφία, φασματομετρία) χρησιμοποιούνται και ποιες θεωρούνται πιο αξιόπιστες;
5. Ποιες χημικές ουσίες και διαλύτες χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία ανάλυσης;
6. Ποια είναι τα πιο συχνά φυτοφάρμακα που εντοπίζονται στα τρόφιμα που αναλύετε;
7. Πώς διασφαλίζεται η ακρίβεια, η επαναληψιμότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων στο εργαστήριο;
8. Πώς αξιολογείται αν η ανιχνευθείσα ποσότητα ενός φυτοφαρμάκου αποτελεί κίνδυνο για τον καταναλωτή;
9. Ποιος είναι ο ρόλος της νομοθεσίας και των επιτρεπτών ορίων (MRLs) στη διαδικασία αξιολόγησης;
10. Πώς αντιμετωπίζονται περιπτώσεις όπου εντοπίζονται απαγορευμένα ή υπερβολικά υψηλά επίπεδα φυτοφαρμάκων;
11. Υπάρχουν διαφορές στα επίπεδα υπολειμμάτων μεταξύ βιολογικών και συμβατικών τροφίμων;
12. Πώς επηρεάζει η αποθήκευση ή η επεξεργασία των τροφίμων (πλύσιμο, μαγείρεμα) τα επίπεδα των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων;
13. Ποιοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης;
14. Για ποιο σκοπό πραγματοποιούνται οι αναλύσεις φυτοφαρμάκων στα τρόφιμα;
15. Τι εκπαίδευση και ποιες δεξιότητες απαιτούνται για να εργαστεί κάποιος σε εργαστήριο ανάλυσης φυτοφαρμάκων;
16. Πώς εξελίσσονται οι μέθοδοι ανίχνευσης φυτοφαρμάκων τα τελευταία χρόνια με την πρόοδο της τεχνολογίας;

2. Φωτογραφίες

