



# Εφαρμογή φυτοφαρμάκων και διασπορά ψεκαστικού νέφους

**Η** χρήση των φυτοφαρμάκων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης γεωργίας και συμβάλλει στην παραγωγικότητα και στην ποιότητα των καλλιεργούμενων ειδών. Όμως, τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα μπορεί να έχουν ανεπιθύμητες επιδράσεις τόσο σε οργανισμούς μη-στόχους, όσο στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον.

Η εφαρμογή των φυτοφαρμάκων μπορεί να γίνει σε μορφή σκόνης (επιπάσεις), διαλύματος σε νερό (ψεκασμοί) και σε κοκκώδη μορφή (διανομή κοκκωδών). Στον αγρό το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτοπροστατευτικών προϊόντων εφαρμόζεται με ψεκασμό.

## Διασπορά ψεκαστικού νέφους

Ένας αποτελεσματικός ψεκασμός απαιτεί την ομοιόμορφη και τη μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη της ψεκαζόμενης επιφάνειας, ώστε να αυξηθούν οι πιθανότητες συνάντησης με το παράσιτο-στόχο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σταγονιδίων μικρής διαμέτρου. Από την άλλη πλευρά, όσο μικραίνουν τα σταγονίδια τόσο πιο δύσκολη γίνεται η εναπόθεση πάνω στο στόχο λόγω της μεταφοράς τους από τον αέρα, αλλά και την εξάτμιση του νερού στις μικρές σταγόνες κάτω από ξηρές και θερμές συνθήκες, με αποτέλεσμα η δραστική ουσία να παραμένει αιωρούμενη και αν εισπνευστεί από ανθρώπους είναι επικίνδυνη.

Η διασπορά του ψεκαστικού νέφους (spray drift) είναι ένα σημαντικό ζήτημα με κύριες συνέπειες:

- Ρύπανση των επιφανειακών υδάτων και του αέρα
- Υπολείμματα φυτοφαρμάκων στα προϊόντα
- Μείωση της αποτελεσματικότητας των φυτοφαρμάκων και σπατάλη
- Ζημιές σε ευαίσθητες γειτονικές καλλιέργειες
- Κίνδυνος για την υγεία του ψεκαστή αλλά και όσων βρίσκονται στην περιοχή

- Έκθεση των αγροτικών ζώων σε επικίνδυνες ουσίες

## Παράγοντες που επηρεάζουν τη διασπορά του ψεκαστικού νέφους

Αρκετοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη διασπορά του ψεκαστικού νέφους και πολλοί από αυτούς είναι αλληλένδετοι. Ορισμένοι βρίσκονται υπό τον έλεγχο των εφαρμοστών των φυτοφαρμάκων. Άλλοι δεν μπορούν να ελεγχθούν και πρέπει να παρακολουθούνται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, που μπορεί να αλλάξουν απροσδόκιστα κατά τη διάρκεια της εφαρμογής.

Οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στη διασπορά του ψεκαστικού νέφους είναι:

### i. Το μέγεθος των σταγονιδίων

Ο κίνδυνος της διασποράς είναι στενά συνδεδεμένος με το μέγεθος των σταγονιδίων ψεκασμού, ιδίως με το ποσοστό των λεπτών σταγονιδίων στο ψεκαστικό νέφος. Το μέγεθος των σταγονιδίων έχει μεγάλο αντίκτυπο στην εκτός-στόχου μετατόπιση και έχει βρεθεί να είναι πιο σημαντικό και από την ταχύτητα του ανέμου. Όσο μικρότερο είναι ένα σταγονίδιο, τόσο περισσότερο χρόνο παραμένει αερομεταφερόμενο και τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να μεταφερθεί μακριά από τον άνεμο.

Το μέγεθος των 100 μm θεωρείται σήμερα ως το κα-

ταλληλότερο μέγεθος για ψεκασμό.

## ii. Οι καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του ψεκασμού

Οι μετεωρολογικοί παράγοντες που κατά κύριο λόγο επηρεάζουν τη διασπορά, είναι η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, οι αναταράξεις και η ατμοσφαιρική σταθερότητα. Από τους παράγοντες αυτούς η ταχύτητα του ανέμου έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση. Γενικά θεωρείται ότι δεν πρέπει να εφαρμόζεται ο ψεκασμός αν οι ταχύτητες του ανέμου υπερβαίνουν τα 16 km/h (4,4 m/s), καθώς και σε συνθήκες απόλυτης άπνοιας, γιατί μπορεί να υποδηλώνουν την παρουσία θερμοκρασιακής αναστροφής. Ο ψεκασμός πρέπει να γίνεται με τον άνεμο κάθετα στην κατεύθυνση κίνησης του ψεκαστήρα για να αποφεύγεται η έκθεση του χειριστή στο ψεκαστικό νέφος και όταν η κατεύθυνση του ανέμου δεν είναι προς τη μεριά υδάτινων επιφανειών, κατοικημένων περιοχών ή ευαίσθητων καλλιεργειών. Η χαμηλή σχετική υγρασία και η υψηλή θερμοκρασία του αέρα μπορεί να ενισχύσουν την εξάτμιση, μειώνοντας έτσι το μέγεθος των σταγονιδίων, ιδιαίτερα των μικρών σταγονιδίων ψεκασμού, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα καθίζησής τους και να γίνονται περισσότερο επιρρεπή στη διασπορά. Κατά κανόνα εάν η σχετική υγρασία είναι πάνω από 70% (ιδιαίτερα επικίνδυνο αν είναι κάτω από 45%) και η θερμοκρασία μικρότερη των 28°C, οι συνθήκες είναι ιδανικές για ψεκασμό.

## iii. Ο εξοπλισμός ψεκασμού και οι τεχνικές εφαρμογής

Ο τύπος, το μέγεθος και η γωνία ψεκασμού των ακροφυσίων, καθώς και η πίεση ψεκασμού επηρεάζουν το μέγεθος των σταγονιδίων. Τα μεγάλα στόμια ακροφυσίων, με υψηλότερες παροχές, παράγουν μεγαλύτερες σταγόνες, ενώ οι υψηλές πιέσεις ψεκασμού οδηγούν σε μικρότερα σταγονίδια. Πρέπει να επιδιώκεται ο κατάλληλος συνδυασμός της πίεσης με το μέγεθος του ακροφυσίου, ώστε να επιτευχθεί η σωστή εκροή για τον απαιτούμενο όγκο εφαρμογής. Όπου είναι δυνατόν, ο ψεκασμός πρέπει να εφαρμόζεται με πιέσεις μικρότερες των 4 bar και γενικά να αποφεύγεται η χρήση πιέσεων μεγαλύτερων των 5 bar. Τα περισσότερα ακροφύσια έχουν γωνία ψεκασμού από 65° έως 120°. Μικρές γωνίες παράγουν πιο διεισδυτικά σταγονίδια, ενώ ακροφύσια που έχουν μεγαλύτερες γωνίες ψεκασμού παράγουν μικρότερα σταγονίδια στην ίδια πίεση. Ωστόσο, τα ευρείας γωνίας ακροφύσια μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά στο στόχο και μακρύτερα πάνω στον ιστό ψεκασμού και να παρέχουν καλύτερη επικάλυψη.

Στους ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών, το ύψος του ιστού ψεκασμού από την καλλιέργεια και το έδαφος επηρεάζει τη διασπορά του ψεκαστικού νέφους. Όσο αυξάνουν αυτές οι αποστάσεις, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στη διασπορά.

Συνίσταται η αποφυγή χαμηλών όγκων εφαρμογής, που έχουν ως αποτέλεσμα τη μεγάλη συγκέντρωση φυτοφαρμάκου στα σταγονίδια και απαιτούν μικρά ακροφύσια ή/και μεγάλη ταχύτητα ελκυστήρα, καθώς και η αποφυγή των πολύ μεγάλων όγκων εφαρμογής, που μπορούν να οδηγήσουν σε απορροή του φυτο-



Λανθασμένη εφαρμογή ψεκασμού - Ορθή εφαρμογή ψεκασμού

φαρμάκου από το φύλλωμα της καλλιέργειας.

Η ταχύτητα του ελκυστήρα πρέπει να διατηρείται στα ευλόγως χαμηλότερα επίπεδα. Αυξημένες ταχύτητες ελκυστήρα αυξάνουν το στροβιλισμό του αέρα πίσω από το γεωργικό ελκυστήρα και το υγρό που εκνεφώνεται από το ακροφύσιο βρίσκεται στις δίνες και μεταφέρεται πίσω από τον ψεκαστήρα, με αποτέλεσμα να παγιδεύονται μικρά σταγονίδια που μπορεί να συμβάλουν στη διασπορά.

## iv. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του ψεκαστικού υγρού

Η τυποποίηση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και τα πρόσθετα (adjuvant) έχουν άμεση σχέση με την ποιότητα ψεκασμού, καθώς επηρεάζουν το μέγεθος και τη συμπεριφορά των σταγόνων και τη διατήρησή τους στο χώρο δράσης. Το ιξώδες και η επιφανειακή τάση του ψεκαστικού υγρού αυξάνουν τις απαιτήσεις σε ενέργεια για την κατάτμησή του σε σταγονίδια. Αύξηση των τιμών αυτών των ιδιοτήτων οδηγεί σε μεγαλύτερης διαμέτρου σταγόνες. Τα πρόσθετα με βάση τα πολυμερή χρησιμοποιούνται συνήθως για τον έλεγχο της διασποράς του ψεκαστικού νέφους.

## v. Η καλλιέργεια-στόχος

Το ύψος της καλλιέργειας-στόχου, καθώς και η πυκνότητα και ο τύπος της κόμης, επηρεάζουν τη διασπορά του ψεκαστικού νέφους. Οι υψηλές καλλιέργειες επειδή απαιτούν ψεκασμό από μεγαλύτερη απόσταση από το έδαφος, είναι πιο επικίνδυνες για διασπορά ψεκαστικού νέφους. Η πυκνότητα και ο προσανατολισμός του φυλλώματος της καλλιέργειας επηρεάζουν τη συμπεριφορά απόθεσης του ψεκαστικού νέφους. Καλλιέργειες με πυκνά οριζόντια φυλλώματα π.χ. πατάτες, είναι πιο επιρρεπείς να εκτρέψουν τα σταγονίδια μακριά από την καλλιέργεια ή στο έδαφος, από ότι οι καλλιέργειες με πιο ανοιχτή κόμη, π.χ. σιτηρά. Ο ψεκασμός των καλλιεργειών οδηγεί σε υψηλότερη διασπορά από τον ψεκασμό σε γυμνό έδαφος, γιατί απαιτεί μεγαλύτερο ύψος απελευθέρωσης των σταγονιδίων.

## vi. Η μέριμνα του χειριστή, η υπευθυνότητα, η στάση και η ικανότητά του

Η ασφαλής και ορθολογική χρήση των γεωργικών φαρμάκων προϋποθέτει τη γνώση των απαραίτητων πρακτικών και αρχών. Οι χρήστες πρέπει να έχουν πλήρη συνείδηση των κινδύνων που συνεπάγεται η χρήση των φυτοφαρμάκων. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί, αφορά την αναγκαιότητα ύπαρξης της κατάλληλης επιμόρφωσης και πληροφόρησης του χρήστη, ως προς το χειρισμό του εξοπλισμού και τη χρήση των φυτοφαρμάκων.

## Μέτρα μείωσης της διασποράς του ψεκαστικού νέφους

Τα τελευταία χρόνια, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με την εφαρμογή των φυτοφαρμάκων, έχουν οδηγήσει στην υιοθέτηση μέτρων, με στόχο την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων από τη διανομή των φυτοφαρμάκων, που μπορεί να υπάρχουν σε οργανισμούς-μη στόχους. Ο έλεγχος της διασποράς του ψεκαστικού νέφους έχει γίνει όλο και πιο σημαντικός για την Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία προωθεί την ανάπτυξη στρατηγικών για την αειφόρο χρήση των φυτοφαρμάκων στη γεωργία. Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες έχουν σχεδιάσει μέτρα μείωσης της διασποράς, με πρωτοπόρες την Αγγλία, την Ολλανδία, τη Γερμανία και τη Σουηδία. Τα μέτρα αυτά ομαδοποιούνται σε κλάσεις αποτελεσματικότητας 25% έως 99%.

Τα μέτρα άμβλυνσης της διασποράς μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες και περιλαμβάνουν:

### **i. Χρήση ζωνών προστασίας με απαγόρευση του ψεκασμού ή ακόμη και της καλλιέργειας**

Μέχρι σήμερα η πρόληψη από τους κινδύνους της διασποράς του ψεκαστικού νέφους, βασίζεται κυρίως στην εισαγωγή των ζωνών προστασίας γύρω από τους ψεκαζόμενους αγρούς. Οι ζώνες προστασίας (ουδέτερες ζώνες – buffer zones) είναι αφέκαστες λωρίδες μεταξύ του αγρού και των γειτονικών περιοχών.

Υπάρχουν διάφορες εκτιμήσεις σχετικά με το εάν ή όχι οι ουδέτερες ζώνες προσφέρουν αρκετή προστασία για το περιβάλλον. Γενικά, ζώνες μεταξύ 3 m και 24 m έχουν αναφερθεί ως κατάλληλες για προστασία, μειώνοντας σημαντικά τη διασπορά του ψεκαστικού νέφους.

### **ii. Χρήση φυτικών ή τεχνητών ανεμοφρακτών**

Οι ανεμοφράκτες χρησιμοποιούνται με πολλούς τρόπους στη γεωργία, τη δασοκομία και την προστασία του περιβάλλοντος. Ένα σημαντικό στοιχείο στη λειτουργία των ανεμοφρακτών, είναι η παρακολούθηση και η σύλληψη της διασποράς του ψεκαστικού νέφους και ο περιορισμός της εξάπλωσής του σε μη-καλλιεργούμενες περιοχές. Για τη σύλληψη του μετακινούμενου ψεκαστικού νέφους τα δύο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του ανεμοφράκτη είναι:

1. το πορώδες (ποσοστό κενών), καθώς αυτό καθορίζει την ταχύτητα του ανέμου μέσω του ανεμοφράκτη, και
2. το μέγεθος του στοιχείου της βλάστησης εντός του ανεμοφράκτη, καθώς αυτό καθορίζει την ικανότητα σύλληψης των σταγόνων.

Ένας πολύ πυκνός ανεμοφράκτης θα αναστείλει τη ροή του αέρα μέσω αυτού, και ως εκ τούτου, το μεγαλύτερο μέρος του εισερχόμενου αέρα εκτρέπεται πάνω και πέρα από τον ανεμοφράκτη, με αποτέλεσμα οποιοδήποτε μεταφερόμενο νέφος μαζί του, να εναποτεθεί μακρύτερα κατάντη του ανέμου. Αντίθετα, ένας πολύ πορώδης ανεμοφράκτης δεν εμποδίζει υπερβολικά τη ροή του αέρα, αλλά και δεν έχει αρκετά στοιχεία βλάστησης για να συλλάβει το παρασυρόμενο ψεκαστικό νέφος και έτσι το μεγαλύτερο μέρος του μετακινούμενου νέφους θα περάσει μέσα από τον ανεμοφράκτη χωρίς να συλληφθεί. Οι μεσαίες πυκνότητας ανεμοφράκτες προσφέρουν μια βέλτιστη απορροφητικότητα και συνεπώς τη δυνατότητα για καλύτερη προστασία. Ένα εύρος πορώδους με τιμές στην περιοχή 25% έως 40% ανάλογα με τη δομή του ανεμοφράκτη, παρέχει τη βέλτιστη σύλληψη του ψεκαστικού νέφους. Η αποτελεσματικότητα μείωσης της διασποράς των ανεμοφρακτών ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τα είδη των φυτών και το στάδιο της βλάστησης. Οι καλύτεροι ανεμοφράκτες, όσον αφορά στη σύλληψη του ψεκαστικού νέφους, είναι εκείνοι με τα μικρότερα στοιχεία βλάστησης, όπως οι βελόνες του πεύκου με διαμέτρους της τάξης του 1 mm.

Η ικανότητα σύλληψης ενός ανεμοφράκτη εξαρτάται και από το μέγεθος των σταγονιδίων του ψεκαστικού νέφους. Για ένα τυπικό σενάριο ψεκασμού, τα σταγονίδια με διάμετρο της τάξης των 100 μm ή μεγαλύτερα συλλαμβάνονται πολύ αποτελεσματικά. Σταγονίδια μικρότερα από 20 μm σε διάμετρο, είναι ιδιαίτερα απίθανο να συλληφθούν και είναι επίσης ευαίσθητα στην εξάτμιση.

Πολλοί ερευνητές αναφέρουν μείωση της διασποράς φυτοφαρμάκων κατά 60% έως 90%, λόγω της παρουσίας ανεμοφρακτών και ότι οι φυσικοί ανεμοφράκτες είναι πολύ πιο αποτελεσματικοί στη μείωση της ταχύτητας του ανέμου και στο μετριασμό της διασποράς από τους τεχνητούς.

### **iii. Εφαρμογή τεχνολογιών μείωσης της διασποράς**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει αναπτυχθεί νέος τεχνικός εξοπλισμός και έχουν βελτιωθεί οι μέθοδοι εφαρμογής, για την ελαχιστοποίηση της διασποράς του ψεκαστικού νέφους και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Σε γενικές γραμμές, αυτό έχει επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- χρήση νέων ακροφυσίων μείωσης της διασποράς αντί των συμβατικών
- κατευθυνόμενη εκροή του ακροφυσίου

- μείωση της πίεσης ψεκασμού
- χρήση ειδικών ακραίων ακροφυσίων στο άκρο του αγρού
- χρήση τεχνολογίας υποβοήθησης της κίνησης των σταγόνων με αέρα
- χρήση μέσων προστασίας ή καλυμμάτων
- μείωση του ύψους του ιστού και της ταχύτητας ψεκασμού
- χρήση πρόσθετων στα φυτοπροστατευτικά προϊόντα που αυξάνουν το μέγεθος των σταγονιδίων
- εφαρμογή ψεκασμών σε λωρίδες
- χρήση ψεκαστικών εξοπλισμένων με αισθητήρες που μπορούν είτε να διακόπτουν την έξοδο του ψεκαστικού υγρού σε θέσεις χωρίς φυτά στόχους, είτε να προειδοποιούν το χειριστή όταν άνεμος, θερμοκρασία και σχετική υγρασία αέρα αυξάνουν τον κίνδυνο διασποράς
- χρήση συστημάτων ηλεκτροστατικού ψεκασμού
- μείωση της εφαρμοζόμενης δόσης των φυτοφαρμάκων εάν είναι αποδεκτό
- χρήση ενός άλλου φυτοφαρμάκου με μειωμένο τοξικολογικό προφίλ.

Πολλές από αυτές τις βελτιώσεις, π.χ. ακροφύσια χαμηλής διασποράς, είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες στη σύγχρονη γεωργική πρακτική, άλλες, π.χ. εξοπλισμός ψεκασμού με υποβοήθηση αέρα, μπορεί να αντιμετωπίσουν έλλειψη αποδοχής, λόγω περιορισμών στην εφαρμογή ή αυξημένου κόστους. Η συμβολή κάποιων τεχνολογιών στη μείωση της διασποράς, μέσω της αύξησης του μεγέθους των σταγονιδίων, έχει ως εξής:

- ο τύπος ακροφυσίου με αποτελεσματικότητα έως 90% στη μείωση της διασποράς
- η υποβοήθηση αέρα με αποτελεσματικότητα μεγαλύτερη του 50% και
- τα πρόσθετα στη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού με αποτελεσματικότητα 20% έως 50% στη μείωση της διασποράς.

## **Μέτρηση της διασποράς του ψεκαστικού νέφους**

Οι μετρήσεις της διασποράς μπορεί να αφορούν την εναπόθεση του ψεκαστικού νέφους σε οριζόντιες επιφάνειες έξω από την περιοχή εφαρμογής ή το προφίλ του αερομεταφερόμενου ψεκαστικού νέφους. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν στο πεδίο ή σε αεροσήραγγες υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Τα πρότυπα ISO 22866:2005 και ISO 22856:2008 περιγράφουν τις μεθόδους μέτρησης της διασποράς στο πεδίο και στο εργαστήριο, αντίστοιχα. Οι περισσότερες μέθοδοι μέτρησης περιλαμβάνουν την εφαρμογή μιας χρωστικής ως ανιχνευτή, τη χρήση συλλεκτών που χρησιμεύουν ως επιφάνειες παθητικής συλλογής και στη συνέχεια την ποσοτικοποίηση της διασποράς με τη βοήθεια κατάλληλων αναλυτικών τεχνικών. Τελευταία έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που χρησιμοποιούν δέσμες ακτινών Laser και διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιούν λογισμικό για τη μέτρηση της διασποράς του ψεκαστικού νέφους. ◀

#### **Ερευνητική ομάδα:**

Γεώργιος Μπουροδής, MSc, Τεχνολόγος Γεωπόνος-Μαθηματικός, Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών, Θεοφάνης Γέμτος, Καθηγητής Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

**Πληροφορίες:** Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών, Δημοκρατίας 61, 135 10 Άγιοι Ανάργυροι Αττικής, **τηλ.:** 210 2611011, **e-mail:** iamc@ath.forthnet.gr