

9

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΩΝ

Βασικές έννοιες

- *Αναγκαιότητα τυποποίησης ζιζανιοκτόνων*
- *Σκευάσματα και ιδιότητες σκευασμάτων*
- *Μέσα εφαρμογής ζιζανιοκτόνων*
- *Ρύθμιση ψεκαστικών μέσων*
- *Τρόποι βελτίωσης της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων*

9.1. Τυποποίηση και σκευάσματα

Τα ζιζανιοκτόνα είναι χημικές ουσίες, δραστικές σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Για το λόγο αυτό, πρέπει να εφαρμόζονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του αγρού, ώστε να αποφεύγονται σημεία με πολύ υψηλή (κίνδυνος φυτοτοξικότητας) και σημεία με πολύ χαμηλή (μικρή αποτελεσματικότητα) συγκέντρωση στον αγρό. Εφόσον η εφαρμογή των περισσότερων ζιζανιοκτόνων γίνεται με τη βοήθεια του νερού, πρέπει αυτά (ζιζανιοκτόνα) να καταστούν συμβατά με το νερό, ώστε να επιτευχθεί η διάλυσή τους ή η ομοιόμορφη διασπορά τους σε αυτό. Επιπλέον, πολλά ζιζανιοκτόνα είναι τοξικά για τον άνθρωπο και μη εκλεκτικά για τα καλλιεργούμενα φυτά, όταν βρίσκονται σε χημικώς καθαρή μορφή (100% δραστική ουσία) ή δεν μπορούν να εκδηλώσουν τη δράση τους, διότι δεν μπορούν να εισέλθουν και να μετακινηθούν στα φυτά. Τα παραπάνω μειονεκτήματα, που παρουσιάζουν οι δραστικές ουσίες αμέσως μετά την παρασκευή τους στα χημικά εργαστήρια, αντιμετωπίζονται με μία συμπληρωματική διεργασία, την τυποποίηση.

Τυποποίηση (packaging) ονομάζεται η διεργασία της επεξεργασίας και φυσικής ανάμειξης των ουσιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή των γεωργικών φαρμάκων (ζιζανιοκτόνων κ.ά.). Οι ουσίες αυτές συνήθως είναι: 1. η τεχνηώς καθαρή μορφή (περίπου 99% δραστική ουσία και 1% παραπροϊόντα παρασκευής) της δραστικής ουσίας, 2. διάφοροι διαλύτες, 3. γαλακτωματοποιητές, 4. φορείς, 5. αραιωτικές ουσίες και 6. βοηθητικές ουσίες.

Τα προϊόντα που προκύπτουν από τη διεργασία της τυποποίησης ονομάζονται **σκευάσματα** (formulations). Ειδικότερα, με τον όρο 'σκευάσματα' χαρακτηρίζονται τα μείγματα, αιωρήματα, γαλακτώματα ή διαλύματα που αποτελούνται από δύο ή περισσότερες ουσίες, από τις οποίες η μία τουλάχιστον είναι δραστική ουσία (ζιζανιοκτόνο, εντομοκτόνο κ.λ.π.), και προορίζονται να χρησιμοποιηθούν ως φυτοπροστατευτικά προϊόντα (Οδηγία 91/414/ΕΟΚ).

Η τεχνηώς καθαρή μορφή της δραστικής ουσίας είναι αυτή που χρησιμοποιείται αντί της χημικώς καθαρής μορφής στην τυποποίηση. Αυτό γίνεται για λόγους περιορισμού του κόστους παραγωγής, εφόσον η παραλαβή απολύτως καθαρής δραστικής ουσίας είναι πολυδάπανη διεργασία.

Οι φορείς που χρησιμοποιούνται στην τυποποίηση των γεωργικών φαρμάκων είναι αδρανή υλικά, στα οποία προσροφούνται ή με τα οποία αναμειγνύονται οι δραστικές ουσίες. Σύμφωνα με την Μενκίσογλου (1998) οι σπουδαιότεροι τύποι ορυκτών που χρησιμοποιούνται ως αδρανή υλικά στην τυποποίηση των γεωργικών φαρμάκων είναι 1. τα πυριτικά (βερμικουλίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, πυροφυλλίτης και τάλκης), 2. τα ανθρακικά (ασβεστίτης και δολομίτης), 3. τα θειικά (γύψος), 4. τα φωσφορικά (απατίτης) και 5. τα οξείδια ασβεστίου, μαγνησίου ή πυριτίου (γη διατόμων).

Οι βοηθητικές ουσίες μπορεί να είναι διαβρεκτικές, διασπαρτικές, εξαπλωτικές, διεισδυτικές και προσκολλητικές. Ακόμη, σε ορισμένα σκευάσματα προστίθενται ουσίες που αυξάνουν το ρυθμό μεταβολισμού των φυτοπροστατευτικών προϊόντων (κυρίως των ζιζανιοκτόνων) από τα καλλιεργούμενα φυτά και ονομάζονται **προστατευτικές ουσίες** (safeners). Γενικά, οι ουσίες αυτές (βοηθητικές) προστίθενται στα σκευάσματα με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους κατά την εφαρμογή (αύξηση της εκλεκτικότητας και αποτελεσματικότητας), τη μεταφορά και την αποθήκευση (σταθερότητα σκευασμάτων). Οι περισσότερες βοηθητικές ουσίες συμβάλλουν στη μείωση της επιφανειακής τάσης δύο επιφανειών και για το λόγο αυτό ονομάζονται **επιφανειοδραστικές ουσίες** (surfactants). Ακόμη, οι διασπαρτικές ουσίες μειώνουν τις δυνάμεις συνοχής των τεμαχιδίων που αιωρούνται στα σκευάσματα κατά την αποθήκευση και μετά την παρασκευή του ψεκαστικού υγρού κατά την εφαρμογή. Εκτενέστερη αναφορά στις βοηθητικές ουσίες και τις ιδιότητές τους έγινε στο πέμπτο κεφάλαιο του βιβλίου.

Ορισμένα ζιζανιοκτόνα περιέχουν ουσίες που προσδίδουν χρώμα ή οσμή στο σκεύασμα με σκοπό την αποτροπή της κατάποσης ή ακόμη περιέχουν ουσίες που προκαλούν εμετό, ώστε να απομακρυνθεί η μεγαλύτερη ποσότητα της δραστικής ουσίας σε περίπτωση ατυχήματος (λήψη από το στόμα).

Γενικά, ο σκοπός της τυποποίησης περιλαμβάνει την παρασκευή ζιζανιοκτόνων: 1. εύχρηστων, 2. αποτελεσματικών, 3. εκλεκτικών, 4. ασφαλών για το χρήστη, τους οργανισμούς μη στόχους και το περιβάλλον και 5. χαμηλού κόστους. Επιπλέον, μέσω της τυποποίησης μειώνονται οι απώλειες (κατά την εφαρμογή) των ζιζανιοκτόνων που είναι πολύ πτητικά ή ευαίσθητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο σκευάσματος στον οποίο θα τυποποιηθεί μία δραστική ουσία είναι: 1. οι φυσικοχημικές ιδιότητες της δραστικής ουσίας (υδατοδιαλυτότητα, πτητικότητα, ευαισθησία στην ηλιακή ακτινοβολία, ρυθμός υδρόλυσης), 2. η τοξικότητα σε οργανισμούς μη στόχους (θηλαστικά, ψάρια, μέλισσες κ.λ.π.), 3. ο τρόπος εφαρμογής (προσπαρτική, προφυτρωτική ή μεταφυτρωτική εφαρμογή), 4. οι συνήθειες καλλιεργητικές και κλιματολογικές συνθήκες κατά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου και 5. η πρόσδοδος, ως αποτέλεσμα της επιτυχούς αντιμετώπισης των ζιζανίων, εξαιτίας της εφαρμογής του.

9.1.1. Τύποι σκευασμάτων ζιζανιοκτόνων

Πολλές δραστικές ουσίες τυποποιούνται σε περισσότερους από έναν τύπους σκευασμάτων. Τα σκευάσματα αυτά χαρακτηρίζονται από διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά έχουν και διαφορετικό κόστος για τον παραγωγό (Πίνακας 9.1). Για το λόγο αυτό, η επιλογή του καταλληλότερου σκευάσματος καθορίζει, συχνά σε μεγάλο βαθμό, την αποτελεσματικότητα και το τελικό κόστος της εφαρμογής ενός ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 9.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κυριότερων σκευασμάτων που χρησιμοποιούνται στην τυποποίηση των ζιζανιοκτόνων

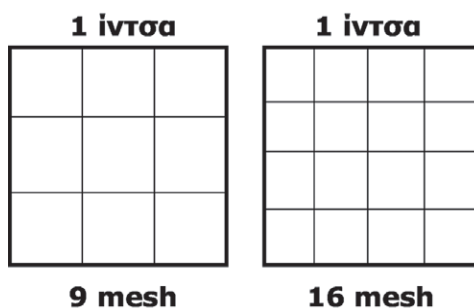
Τύπος σκευάσματος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Κοκκώδη	- Εφαρμογή δίχως νερό - Εφαρμογή δίχως ψεκαστικό μέσο - Μεγάλη υπολειμματική δράση	- Ανομοιόμορφη κατανομή - Δραστική ουσία <10% - Μεγάλη δόση σκευάσματος
Βρέξιμες σκόνες	Αξιοποίηση αδιάλυτων δραστικών ουσιών	- Δημιουργία σκόνης - Ζύγισμα δόσης - Απαιτήση συνεχούς ανάδευσης - Απόφραξη ακροφυσίων
Βρέξιμοι κόκκοι	- Λιγότερη σκόνη - Ογκομέτρηση δόσης	- Απαιτήση συνεχούς ανάδευσης - Απόφραξη ακροφυσίων
Συμπυκνωμένα αιωρήματα	- Λιγότερη σκόνη - Ογκομέτρηση δόσης	- Απαιτήση συνεχούς ανάδευσης - Απόφραξη ακροφυσίων
Υδατοδιαλυτοί κόκκοι	Δημιουργούν διάλυμα	- Ανάδευση αρχικά - Ζύγισμα δόσης
Υδατικά διαλύματα	- Δημιουργούν διάλυμα - Ογκομέτρηση δόσης	
Γαλακτωματοποιήσιμα	- Παρασκευάζονται εύκολα - Ογκομέτρηση δόσης	- Τοξικότητα διαλύτη - Ασταθή στην αποθήκευση
Αιωρήματα μικροκαψουλών	- Ασφαλέστερα στο χρήστη - Φιλικότερα στο περιβάλλον - Μεγαλύτερη υπολειμματική δράση - Μικρότερη έκπλυση - Ογκομέτρηση δόσης	- Υψηλότερο κόστος - Δραστική ουσία <50% - Παρασκευάζονται δύσκολα - Ασταθή στην αποθήκευση
Ελαιώδη	- Ογκομέτρηση δόσης - Απουσία διαλύτη - Εύκολη είσοδος στα φυτά	Ασταθή στην αποθήκευση

9.1.1.1. Στερεά σκευάσματα (dry formulations)

Κοκκώδη (G, Granular)

Για την παρασκευή των σκευασμάτων αυτών η δραστική ουσία διαλύεται σε διαλύτη και εμποτίζεται ή επενδύεται σε κόκκους αδρανών υλικών. Στη συνέχεια τα

αδρανή υλικά περνούν από μύλο, ώστε το μέγεθος των κόκκων να κυμαίνεται από 4 έως 80 mesh (Σχήμα 9.1). Τα αδρανή υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των κοκκωδών σκευασμάτων είναι ο καολινίτης και ο ατταπουλγκίτης. Τα σκευάσματα αυτά σπανίως περιέχουν βοηθητικές ουσίες, διότι η εφαρμογή τους γίνεται με διασπορά (χειρωνακτικά). Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε δραστική ουσία δεν υπερβαίνει το 25%, προκειμένου να αποφευχθούν τοξικότητες από τυχόν επαφή του δέρματος (χέρι) των χρηστών με το ζιζανιοκτόνο.



Σχήμα 9.1. Ο όρος mesh αναφέρεται στον αριθμό οπών ανά τετραγωνική ίντσα. Μεγαλύτερος αριθμός mesh υποδηλώνει μικρότερο μέγεθος κόκκων των σκευασμάτων αυτών. Τεμαχίδια μικρότερα από 80 mesh χαρακτηρίζονται ως σκόνες

Με τη χρήση σκευασμάτων σε κοκκώδη μορφή επιτυγχάνεται: 1. εκλεκτική εφαρμογή μη εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων, 2. αύξηση της υπολειμματικής δράσης και 3. μείωση της έκπλυσης της δραστικής ουσίας. Επιπλέον, η εφαρμογή αυτών των σκευασμάτων δεν απαιτεί δαπάνη αγοράς ψεκαστικού μηχανήματος, δεν προϋποθέτει ύπαρξη νερού (απαιτεί όμως άρδευση ή βροχή για την ενεργοποίηση στο έδαφος) και περιορίζει τη διασπορά της δραστικής ουσίας στο περιβάλλον και σε οργανισμούς μη στόχους.

Αντίθετα, τα σκευάσματα αυτά απαιτούν υψηλά έξοδα μεταφοράς, διότι εφαρμόζονται σε μεγάλες ποσότητες (μικρό ποσοστό δραστικής ουσίας) και είναι δύσκολο να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή αυτών (εφαρμογή με διασπορά). Εντούτοις, τα κοκκώδη σκευάσματα χρησιμοποιούνται με επιτυχία για την εκλεκτική εφαρμογή ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία (καλλωπιστικά φυτά)

Βρέξιμες σκόνες (WP, Wettable Powder)

Οι βρέξιμες σκόνες χρησιμοποιούνται κυρίως για δραστικές ουσίες που είναι αδιάλυτες στο νερό και στους οργανικούς διαλύτες. Τα σκευάσματα αυτά αποτελούνται από μικρά τεμαχίδια (5-44 μm) αδρανών υλικών, στα οποία βρίσκεται εμποτισμένη η δραστική ουσία (εάν παρασκευάζεται σε υγρή μορφή) ή είναι αναμεμειγμένη με αυτά (εάν παρασκευάζεται σε στερεή μορφή). Επιπλέον, τα σκευάσματα αυτά περιέχουν επιφανειοδραστικές, διαβρεκτικές και διασπαρτικές ουσίες. Οι διαβρεκτικές ουσίες συμβάλλουν στην καλή διαβροχή των τεμαχιδίων της δραστικής ουσίας, ενώ οι διασπαρτικές ουσίες παρεμποδίζουν τη συνένωση των τεμαχιδίων αυτών και κατά συνέπεια την καθίζησή τους, εξαιτίας της δημιουργίας συσσωματωμάτων.

Τα παραπάνω συστατικά αλέθονται, ώστε το σκεύασμα να αποκτήσει ομοιογένεια. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των τεμαχιδίων με μέγεθος μικρότερο ή ίσο από 5 μm , τόσο καλύτερης ποιότητας θεωρείται το σκεύασμα. Γενικά, η ποιότητα του σκευάσματος επηρεάζεται από: 1. τη διαβρεκτικότητα, 2. τη διασπαρτική ικανότη-

τα, 3. την αιωρητική ικανότητα, 4. τη ρευστότητα, 5. τον αφρισμό και 6. τη σταθερότητα του κατά την αποθήκευση.

Οι βρέξιμες σκόνες συνήθως περιέχουν ποσοστό δραστικής ουσίας μεταξύ 15 και 75%. Γενικά, αυτές (βρέξιμες σκόνες) συγκαταλέγονται στα σκευάσματα με τα μικρότερα προβλήματα φυτοτοξικότητας. Αυτό οφείλεται κυρίως στα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται ως μέσο. Τα υλικά αυτά όμως προκαλούν σε ορισμένες περιπτώσεις την απόφραξη των ακροφυσίων. Επιπρόσθετα, κατά την παρασκευή του ψεκαστικού υγρού δημιουργείται σκόνη, η οποία περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις της δραστικής ουσίας. Για το λόγο αυτό, η εισπνοή της σκόνης εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία των ψεκαστών και ορισμένες παρασκευάστριες εταιρίες, στην προσπάθειά τους να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της σκόνης, τυποποιούν τις βρέξιμες σκόνες σε υδατοδιαλυτούς φακέλους (water-soluble bags).

Βρέξιμοι ή εναιωρηματοποιήσιμοι κόκκοι (WG, Water Dispersible Granules ή DF, Dry Flowable)

Τα σκευάσματα αυτά περιέχουν τη δραστική ουσία προσροφημένη ή αναμεμιγμένη σε μικρούς κόκκους αδρανών υλικών. Ακόμη, περιέχουν βοηθητικές ουσίες (διαβρεκτικές, διασπαρτικές και επιφανειοδραστικές). Το ποσοστό της δραστικής ουσίας είναι συνήθως μεγαλύτερο από εκείνο στις βρέξιμες σκόνες.

Οι βρέξιμοι κόκκοι είναι ασφαλέστερα και ευκολότερα στη χρήση σκευάσματα από ό,τι οι βρέξιμες σκόνες, διότι δε δημιουργούν μεγάλη ποσότητα σκόνης κατά την ανάμιξη με το νερό και επιτρέπουν τον εύκολο υπολογισμό της δόσης εφαρμογής (με ογκομέτρηση όπως στα υγρά σκευάσματα) εξαιτίας του σταθερού βάρους στη μονάδα του όγκου. Επιπλέον, έχουν μεγαλύτερη ρευστότητα από τη συσκευασία.

Υδατοδιαλυτές σκόνες (WSP, Water Soluble Powder)

Στα σκευάσματα αυτά η δραστική ουσία, που είναι υδατοδιαλυτή, βρίσκεται υπό μορφή σκόνης. Τα σκευάσματα αυτά περιέχουν συνήθως και διαβρεκτικές ουσίες, ενώ η δημιουργία του ψεκαστικού διαλύματος απαιτεί ελάχιστη ανάδευση.

Υδατοδιαλυτοί κόκκοι (SG, Soluble Granules)

Στα σκευάσματα αυτά η δραστική ουσία βρίσκεται υπό μορφή υδατοδιαλυτών κόκκων, οι οποίοι περιλαμβάνουν επιπλέον τις βοηθητικές ουσίες. Με τη μορφή αυτή τυποποιούνται δραστικές ουσίες που είναι υδατοδιαλυτές. Τα σκευάσματα αυτά δε δημιουργούν σκόνη κατά την εφαρμογή, έχουν μεγάλη ρευστότητα από τη συσκευασία, αλλά απαιτούν ανάδευση, προκειμένου να παρασκευαστεί το ψεκαστικό υγρό.

9.1.1.2. Υγρά σκευάσματα (liquid formulations)

Υδατικά διαλύματα (AS, Aqueous Solution) ή διαλυτά συμπυκνώματα (SL, Soluble Concentrate)

Οι δραστικές ουσίες που μπορούν να διαλυθούν στο νερό τυποποιούνται συνήθως ως υδατικά διαλύματα. Τα σκευάσματα αυτά αποτελούνται από το πυκνό διάλυμα της

δραστικής ουσίας σε νερό και τις βοηθητικές ουσίες. Τα υδατικά διαλύματα είναι πολύ εύχρηστα, αλλά είναι ελάχιστα, διότι υπάρχει πολύ μικρός αριθμός υδατοδιαλυτών δραστικών ουσιών.

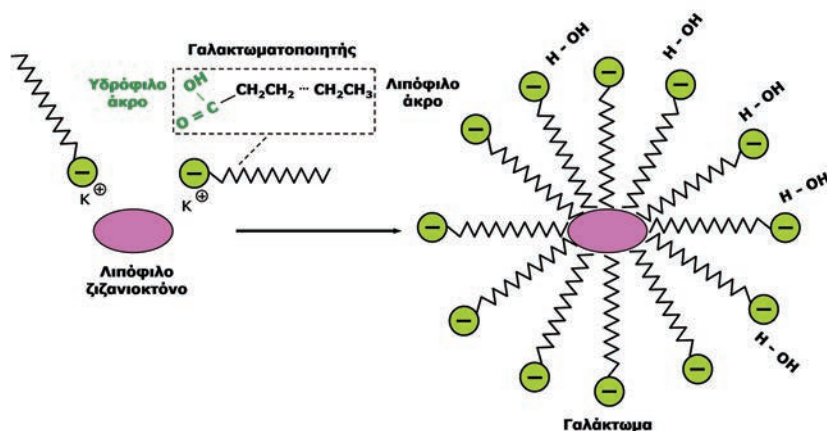
Εναιωρούμενα συμπυκνώματα (SC, Suspension Concentrate) ή συμπυκνωμένα αιωρήματα (FL, Flowable Concentrate)

Τα σκευάσματα αυτά περιέχουν μικρά τεμαχίδια της δραστικής ουσίας (1-2 μm) διασπαρμένα στο νερό υπό μορφή πυκνού αιωρήματος. Επιπλέον, περιέχουν και τεμαχίδια των βοηθητικών ουσιών (επιφανειοδραστικών, διαβρεκτικών και διασπαρτικών). Τα εναιωρούμενα συμπυκνώματα είναι ασφαλέστερα στη χρήση από ό,τι οι βρέξιμες σκόνες και τα γαλακτωματοποιήσιμα συμπυκνώματα, διότι δε δημιουργούν σκόνη κατά την εφαρμογή και δεν περιέχουν διαλύτη.

Γαλακτωματοποιήσιμα συμπυκνώματα (EC, Emulsifiable Concentrate)

Με μορφή γαλακτωματοποιήσιμων συμπυκνωμάτων τυποποιούνται οι δραστικές ουσίες που μπορούν να διαλυθούν σε κάποιο οργανικό διαλύτη, όπως το ξυλόλιο και η κυκλοεξανόνη. Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν μικρή φυτοτοξικότητα, να μην προσβάλλουν τα υλικά των ψεκαστικών μηχανημάτων και των δοχείων συσκευασίας και να μην είναι εύφλεκτοι.

Το πυκνό διάλυμα της δραστικής ουσίας (της οποίας η περιεκτικότητα στο σκεύασμα δεν υπερβαίνει το 50%) στον οργανικό διαλύτη αναμειγνύεται στο νερό με τη βοήθεια των γαλακτωματοποιητών. Οι ουσίες αυτές (γαλακτωματοποιητές) αποτελούνται από δύο φάσεις, την υδρόφιλη και την υδρόφοβη, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η ανάμιξη της δραστικής ουσίας-διαλύτη, αλλά και γενικότερα του σκευάσματος με το νερό. Τα σταγονίδια του ελαίου που σχηματίζονται στο σκεύασμα είναι μεγέθους μικρότερου από 8 μm (Σχήμα 9.2).



Σχήμα 9.2. Σχηματική απεικόνιση της δράσης των γαλακτωματοποιητικών ουσιών (τροποποιημένο από Monaco κ.ά., 2002)

Η σταθερότητα του γαλακτώματος επηρεάζεται από: 1. το μέγεθος των ενδοεπιφανειακών τάσεων των σταγονιδίων, 2. το pH του νερού, 3. τη θερμοκρασία και 4. τις φυσικοχημικές ιδιότητες των συστατικών του σκευάσματος. Σε περίπτωση αλλοίωσης του γαλακτωματοποιητή (λόγω παλαιότητας ή μεγάλων αυξομειώσεων της θερμοκρασίας) τα υδρόφοβα συστατικά αυτών των σκευασμάτων σχηματίζουν κρεμώδες στρώμα στην επιφάνεια του σκευάσματος (κρεμοποίηση). Ειδικότερα, οι μη ιονικοί γαλακτωματοποιητές σχηματίζουν σταθερότερα γαλακτώματα από τους ανιονικούς, τους κατιονικούς και τους αμφοτερικούς γαλακτωματοποιητές.

Κατά την εφαρμογή των γαλακτωματοποιήσιμων σκευασμάτων απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, διότι ορισμένοι διαλύτες είναι τοξικοί στον άνθρωπο (μπορούν να διαπεράσουν με ευκολία το δέρμα του ανθρώπου) και τα καλλιεργούμενα φυτά. Αυτοί οι διαλύτες συμβάλλουν επίσης στη φθορά των λαστιχένιων και πλαστικών εξαρτημάτων της ενδυμασίας των χρηστών, καθώς επίσης μπορούν να βλάψουν μερικά μέρη αντλιών και να διαβρώσουν τις χρωματισμένες επιφάνειες.

Αιωρήματα μικροκαψουλών (CS, Capsule Suspension ή ME, MicroEncapsulated ή MC, MicroCapsule Suspension)

Στα σκευάσματα αυτά η δραστική ουσία είναι προσροφημένη ή έγκλειστη σε μικροκάψουλες. Η άργιλος, τα φυσικά και συνθετικά ελαστικομερή, η γύψος, η λιγνίνη, το κερί μελισσών και τα πολυμερή είναι τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά για την παρασκευή των σκευασμάτων ελεγχόμενης απελευθέρωσης της δραστικής ουσίας (Tocker, 1990). Ειδικότερα, οι κηροί, τα λιπίδια, η ζελατίνη, το άμυλο, οι αλβουμίνες, οι πολυουρίες, οι πολυαμίνες, η πολυουρεθάνη, οι ρητίνες, τα ελαστικά σιλικόνης, ο πολυβινυλικός εστέρας και το πολυβινυλοχλωρίδιο είναι οι ουσίες που χρησιμοποιούνται για παρασκευή των τοιχωμάτων των μικροκαψουλών. Επιπλέον, τα σκευάσματα αυτά περιέχουν βοηθητικές και αραιωτικές ουσίες.

Οι μικροκάψουλες έχουν μορφή κοίλων σφαιρών (διαμέτρου 2 έως 100 μm) και περιέχουν έγκλειστη ή προσροφημένη τη δραστική ουσία, η οποία απελευθερώνεται από τις μικροκάψουλες με διάχυση (μέσω των τοιχωμάτων) ή με καταστροφή των τοιχωμάτων (Σχήμα 9.3). Ο ρυθμός απελευθέρωσης της δραστικής ουσίας από τις μικροκάψουλες επηρεάζεται από το μέγεθος, το πάχος και την ανθεκτικότητα των τοιχωμάτων (Tsuji, 1990). Ειδικότερα, είναι βραδύτερος σε συνθήκες υπερβολικής υγρασίας του εδάφους, ενώ αυξάνεται με την εναλλαγή ξηρασίας και υγρασίας. Η παρουσία αλάτων στο περιβάλλον των μικροκαψουλών μειώνει τη διάχυση της δραστικής ουσίας από αυτές και κατ'έπекταση τη δράση της.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης σκευασμάτων αιωρήματος μικροκαψουλών εί-



Σχήμα 9.3. Σχηματική απεικόνιση του εγκλεισμού της δραστικής ουσίας από τα τοιχώματα πολυμερών των μικροκαψουλών (τροποποιημένο από O' Connor-Marer, 2000)

ναι: 1. η μείωση της δόσης εφαρμογής, 2. η αύξηση της υπολειμματικής δράσης του ζιζανιοκτόνου (εξαιτίας της μείωσης των απωλειών από την επίδραση της εξάτμισης, έκπλυσης, χημικής διάσπασης, μικροβιακής αποδόμησης, φωτόλυσης), 3. η αύξηση της εκλεκτικότητας (λόγω της μικρότερης ποσότητας της δραστικής ουσίας που έρχεται σε επαφή με το καλλιεργούμενο φυτό), 4. η μείωση του κινδύνου κατά τη χρήση του σκευάσματος (απουσία διαλύτη και εγκλεισμός της δραστικής ουσίας στη μικροκάψουλα), 5. η μείωση της τοξικότητας στα θηλαστικά, τα ψάρια και τα πτηνά, 6. η μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος (εξαιτίας του περιορισμού της έκπλυσης, εξάτμισης και των απωλειών κατά την εφαρμογή), 7. η μείωση της ρύπανσης των προϊόντων από υπολείμματα ζιζανιοκτόνων, 8. ο περιορισμός της ανταγωνιστικής δράσης (μεταξύ δύο δραστικών ουσιών στο ίδιο σκεύασμα) και κατά συνέπεια η βελτίωση της αποτελεσματικότητας και 9. η μείωση της δυσάρεστης οσμής κατά την εφαρμογή.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η τεχνολογία των μικροκαψουλών εφαρμόζεται σε ζιζανιοκτόνα: 1. με μικρή υπολειμματική διάρκεια, 2. που εκπλύνονται εύκολα, 3. που είναι πτητικά, 4. που είναι ευαίσθητα στην ηλιακή ακτινοβολία, 5. με μεγάλη τοξικότητα και 6. με οριακή εκλεκτικότητα (Ελευθεροχωρινός, 2002). Εντούτοις, τα αιωρήματα μικροκαψουλών παρουσιάζουν μειωμένη αποτελεσματικότητα όταν εφαρμόζονται μεταφυτρωτικά (Vasilakoglou και Eleftherohorinos, 2003). Αυτό πιθανώς οφείλεται στον μερικό εγκλεισμό της δραστικής ουσίας, αμέσως μετά την εφαρμογή, και συνεπώς, στη μικρότερη ποσότητα του ζιζανιοκτόνου που έρχεται σε επαφή με το ζιζάνιο (ιδιαίτερα τα στενόφυλλα ζιζάνια). Αυτή η μειωμένη αποτελεσματικότητα αποτέλεσε και τον κυριότερο λόγο περιορισμού της χρήσης των αιωρημάτων μικροκαψουλών. Σήμερα, τα pendimethalin, clomazone και flurochloridone είναι οι κυριότερες δραστικές ουσίες που τυποποιούνται ως αιωρήματα μικροκαψουλών.

Ελαιώδη σκευάσματα ή εναιωρήματα (SEOF, Self-Emulsifying Oily Formulations ή OD, Oil Dispersion)

Τα ελαιώδη σκευάσματα ή εναιωρήματα (SEOF ή OD) είναι αυτο-γαλακτωματοποιούμενα και αποτελούνται από ένα λιπόφιλο μέσο και μία επιφανειοδραστική ουσία (surfactant). Ειδικότερα, τα SEOF περιλαμβάνουν ένα λιπόφιλο μεταφορέα που μπορεί να αποτελείται από μέσου ή μεγάλου μήκους τριγλυκερίδια και ένα παράγωγο λιπαρού οξέος. Επιπρόσθετα, τα SEOF περιλαμβάνουν ένα κατιονικό λιπίδιο. Η προσθήκη μίας λιπόφιλης αλκοόλης στο σκεύασμα είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτευχθούν σταγονίδια γαλακτώματος με μικρή διάμετρο. Η προσθήκη του σκευάσματος στο νερό δημιουργεί ψευδοεμulsion της μορφής 'λάδι σε νερό', το οποίο κατανέμεται ομοιόμορφα και σχηματίζει γαλάκτωμα (με την ανακίνηση, τα λιπόφιλα σταγονίδια του σκευάσματος σχηματίζουν γαλάκτωμα). Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των ελαιωδών σκευασμάτων είναι ότι τα σταγονίδια στο διαμορφωμένο γαλάκτωμα είναι θετικώς φορτισμένα, σε αντίθεση με τα αρνητικώς φορτισμένα των γαλακτωμάτων που είχαν δημιουργηθεί μέχρι πρόσφατα. Γενικά, ως ελαιώδη σκευάσματα μπορούν να τυποποιηθούν οι λιπόφιλες δραστικές ουσίες, όπως τυπο-

ποιήθηκαν τα ζιζανιοκτόνα foramsulfuron (εμπορικό σκεύασμα Equip), mesotrione + nicosulfuron (εμπορικό σκεύασμα Elumis), tembotrione (εμπορικό σκεύασμα Laudis) και penoxsulam (εμπορικό σκεύασμα Viper).

9.1.1.3. Άλλα σκευάσματα

Καπνογόνα (Fumigants)

Τα σκευάσματα αυτά περιέχουν πτητικές αέριες, υγρές ή στερεές (ξηρά καπνογόνα) ουσίες και τυποποιούνται σε μορφή αμπούλας ή κυλίνδρου. Η δραστική ουσία εκλύεται από αυτά τα σκευάσματα υπό μορφή ατμών (διάσπαση ή καύση δραστικού συστατικού). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές απολύμανσης εδάφους (αντιμετώπιση νηματωδών, εντόμων, μυκήτων και ζιζανίων) και γενικότερα εκεί, όπου δεν είναι δυνατή η πρόσβαση άλλου μέσου. Ορισμένα καπνογόνα εφαρμόζονται στο έδαφος με το σύστημα άρδευσης (στάγδην άρδευση).

Η αποτελεσματικότητα αυτών των σκευασμάτων στο έδαφος επηρεάζεται από: 1. τη θερμοκρασία, 2. την υγρασία και 3. τη μηχανική σύσταση του εδάφους, εξαιτίας του ότι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν τη δυνατότητα μετακίνησης στο έδαφος του αερίου που εκλύεται. Η προσθήκη νερού αμέσως μετά την εφαρμογή ή η κάλυψη με φύλλο πολυαιθυλενίου αυξάνουν την αποτελεσματικότητα αυτών των σκευασμάτων, διότι περιορίζουν τις απώλειες της δραστικής ουσίας λόγω εξάτμισης.

Η χρήση των καπνογόνων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και προφύλαξη, εξαιτίας της δυνατότητας διαφυγής της δραστικής ουσίας υπό μορφή ατμών και της υψηλής τοξικότητας των απολυμαντικών που συνήθως τυποποιούνται σε αυτή τη μορφή σκευάσματος.

9.1.2. Κριτήρια επιλογής κατάλληλου ζιζανιοκτόνου σκευάσματος

Πολλές δραστικές ουσίες ζιζανιοκτόνων τυποποιούνται και κυκλοφορούν σε περισσότερους από έναν τύπους σκευασμάτων. Η επιλογή του καταλληλότερου σκευάσματος σε κάθε περίπτωση προϋποθέτει το συνυπολογισμό κριτηρίων, όπως: 1. ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου, 2. η αποτελεσματικότητα κάθε σκευάσματος για την ίδια δραστική ουσία, 3. η εκλεκτικότητα αυτών των σκευασμάτων, 4. η τοξικότητά τους στον άνθρωπο και τα ζώα και 5. το συνολικό κόστος αγοράς και εφαρμογής (οικονομικότητα). Οι διαφορές αυτές μεταξύ των σκευασμάτων προκύπτουν κυρίως από τη διαφορά σε διαλύτες, γαλακτωματοποιητές, διαπαρτικές και επιφανειοδραστικές ουσίες. Επισημαίνεται ότι οι βοηθητικές ουσίες κάθε σκευάσματος δεν αναγράφονται στην ετικέτα και αποτελούν μη γνωστοποιημένο (αλλά ιδιαίτερα σημαντικό) παράγοντα της αποτελεσματικότητας και εκλεκτικότητάς τους.

Τα σκευάσματα αιωρημάτων μικροκαψουλών δε χρησιμοποιούνται για μεταφυτρωτικές εφαρμογές ζιζανιοκτόνων. Αυτό οφείλεται στη μειωμένη αποτελεσματικότητα των μεταφυτρωτικών εφαρμογών αυτών των σκευασμάτων, που είναι αποτέλεσμα του εγκλεισμού μέρους της δραστικής ουσίας στις μικροκάψουλες κατά τη διάρκεια του ψεκασμού και της εισόδου του ζιζανιοκτόνου στην εφυμενίδα των φύλλων (Vasilakoglou και Eleftherohorinos, 2003).

9.2. Μέσα εφαρμογής ζιζανιοκτόνων

Η αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων εξαρτάται, εκτός από τον τύπο σκευάσματος, από την ομοιομορφία κατανομής του ψεκαστικού υγρού στην επιφάνεια του εδάφους ή των φυτών. Η ομοιόμορφη κατανομή των ζιζανιοκτόνων στο έδαφος ή το φύλλωμα των ζιζανίων επιτυγχάνεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, με τη χρήση ψεκαστικών μέσων (ή μηχανημάτων), ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις η εφαρμογή γίνεται με διασπορά (κοκκώδη σκευάσματα που διασπείρονται με το χέρι). Το σύστημα της στάγδην άρδευσης χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις για την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων, όπως η *prometryn* και το *fluometuron* στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Γενικά, ο τρόπος αυτός δεν παρέχει πάντοτε την αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων που φυτρώνουν όψιμα στην καλλιέργεια, εξαιτίας της μη ομοιόμορφης κατανομής του ζιζανιοκτόνου και της αδυναμίας υπολογισμού της συνιστώμενης δόσης εφαρμογής.

9.2.1. Τύποι ψεκαστικών μηχανημάτων

Οι κυριότεροι τύποι ψεκαστικών μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων είναι: 1. ο ψεκαστήρας πλάτης (επινώτιος), 2. ο ψεκαστήρας ακριβείας (φορητός), 3. ο συμβατικός ψεκαστήρας (φερόμενος σε ελκυστήρα), 4. ο ψεκαστήρας ελεγχόμενου μεγέθους σταγονιδίων (C.D.A.) και 5. ο ψεκαστήρας φερόμενος σε μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα (drone). Η επιλογή του καταλληλότερου μέσου εφαρμογής συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ζιζανίων με τη μικρότερη δαπάνη, στο μικρότερο χρόνο και με τον ελάχιστο δυνατόν κόπο από μέρους του παραγωγού. Για το λόγο αυτό, τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μέσων εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 9.2.

Ψεκαστήρας πλάτης (backpack sprayer)

Ο ψεκαστήρας αυτός (επινώτιος) είναι μεταλλικός ή πλαστικός με χωρητικότητα 10-20 λίτρα νερού (Εικόνα 9.1). Μπορεί να μεταφερθεί σε επικλινείς εκτάσεις και διευκολύνει την εκλεκτική εφαρμογή μη εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων. Η ομοιομορφία της εφαρμογής με αυτόν τον ψεκαστήρα επηρεάζεται από το βηματισμό του χρήστη και από την πίεση που δημιουργείται μηχανικά μέσα στο δοχείο. Χρησιμοποιείται για εφαρμογή ζιζανιοκτόνων σε μικρές εκτάσεις, διότι είναι επίπονη και κουραστική μέθοδος. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων κατά κηλίδες. Ορισμένοι σύγχρονοι ψεκαστήρες πλάτης διαθέτουν αντλία που λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη μπαταρία και έτσι επιτυγχάνουν σταθερή πίεση κατά τον ψεκασμό. Εντούτοις, ο μηχανισμός (μπαταρίες και αντλία) προσθέτουν ένα σημαντικό βάρος στο μέσο, ενώ η ισχύς των μπαταριών διαρκεί για 5-7 ψεκαστήρες.

Πίνακας 9.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κυριότερων μέσων εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων

Μέσο εφαρμογής	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ψεκαστήρας πλάτης	• Εκλεκτική εφαρμογή μη εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων • Μικρό κόστος αγοράς • Ευκολία εφαρμογής	• Μεταβαλλόμενη πίεση ψεκασμού (σε τύπο δίκως μπαταρία) • Δυσκολία εφαρμογής, λόγω βάρους ψεκαστήρα και στήριξης ακροφυσίου • Αντίδραση με ορισμένα ζιζανιοκτόνα (μεταλλικοί ψεκαστήρες)
Ψεκαστήρας ακριβείας	• Μεγάλη ακρίβεια εφαρμογής • Ρύθμιση πίεσης ψεκασμού	• Υψηλό κόστος αγοράς • Δυσκολίας εφαρμογής, λόγω μεγάλου βάρους • Εφαρμογή μόνο σε μικρές εκτάσεις • Εισπνοή προπανίου κατά την αλλαγή φιαλών και κίνδυνος ανάφλεξης (μόνο στον τύπο προπανίου)
Συμβατικός ψεκαστήρας	• Εφαρμογή ζιζανιοκτόνων σε μεγάλες εκτάσεις • Ρύθμιση πίεσης ψεκασμού • Δυνατότητα άμεσης αντικατάστασης ακροφυσίων (σύγχρονα ψεκαστικά)	• Υψηλό κόστος αγοράς • Απαραίτητη η χρήση γεωργικού ελκυστήρα • Χρονοβόρος έλεγχος ακροφυσίων
Ψεκαστήρας ελεγχόμενου μεγέθους σταγονιδίων	• Εκλεκτική εφαρμογή μη εκλεκτικού ζιζανιοκτόνου (glyphosate)	• Αδυναμία εφαρμογής άλλων ζιζανιοκτόνων • Αδυναμία ελέγχου ψεκαζόμενης επιφάνειας
Ψεκαστήρας φερόμενος σε μη επανδρωμένο πτητικό όχημα	• Δεν καταστρέφεται μέρος της καλλιέργειας • Αποφυγή διπλοψεκασμών (καθοδήγηση από GPS)	• Αδυναμία εφαρμογής υπό άνεμο • Ακατάλληλο για ζιζανιοκτόνα επαφής • Μικρή αυτονομία
Σχοινοδιαβρέκτης	• Εκλεκτική εφαρμογή μη εκλεκτικού ζιζανιοκτόνου (glyphosate)	• Αδυναμία εφαρμογής άλλων ζιζανιοκτόνων • Προβλήματα φυτοτοξικότητας από διαφυγή σταγόνων ζιζανιοκτόνου • Εφαρμογή μόνο σε ζιζάνια μεγάλης ανάπτυξης



Εικόνα 9.1. Ψεκαστές πλάτης. Α: με μπαταρία, Β: απλός

Ψεκαστήρας ακριβείας (*precision sprayer*)

Ο ψεκαστήρας ακριβείας χρησιμοποιείται κυρίως για πειραματικούς σκοπούς (Εικόνα 9.2). Διαθέτει προωθητικό αέριο (πεπιεσμένο αέρα ή βουτάνιο) και μανόμετρο, ώστε να ρυθμίζεται η πίεση. Ο ιστός διαθέτει 3 έως 8 ακροφύσια και το πλάτος της ψεκαζόμενης επιφάνειας κυμαίνεται από 1,5 έως 3 m. Τα ακροφύσια απέχουν το ένα από το άλλο περίπου 50 cm, ενώ από την ψεκαζόμενη επιφάνεια 40-50 cm, ανάλογα με το είδος και τις συνθήκες ψεκασμού. Η παρασκευή του ψεκαστικού υγρού γίνεται σε μπρούτζινες φιάλες που συνήθως έχουν χωρητικότητα 3 λίτρα. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψεκασμό μεγάλων εκτάσεων εξαιτίας του μεγάλου βάρους του και του υψηλού συντελεστή δυσκολίας κατά την εφαρμογή. Επιπρόσθετα, έχει υψηλό κόστος αγοράς.



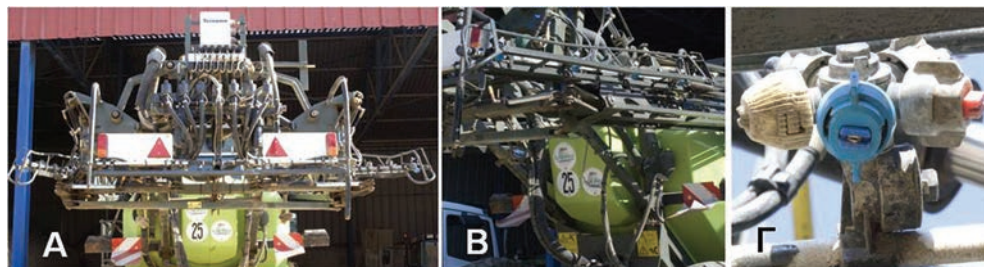
Εικόνα 9.2. Ψεκαστήρας ακριβείας

Συμβατικός ψεκαστήρας (tractor sprayer)

Ο ψεκαστήρας αυτός (φερόμενος σε ελκυστήρα) είναι το σπουδαιότερο μέσο που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των γεωργικών φαρμάκων στους αγρούς. Ο ιστός συνήθως έχει μήκος 10-12 μέτρα και περιλαμβάνει 20-24 ακροφύσια. Ο ψεκαστήρας αυτού του τύπου διαθέτει ηλεκτροβάνες για τη ρύθμιση της πίεσης (Εικόνα 9.3Α), αντλία για τη συνεχή ανάμιξη του ψεκαστικού υγρού και βοηθητικό δοχείο ανάμειξης των ζιζανιοκτόνων με μικρή ποσότητα νερού (Εικόνα 9.3Β). Το δοχείο του ψεκαστικού υγρού είναι πλαστικό και η χωρητικότητά του κυμαίνεται, ανάλογα με τον τύπο του ελκυστήρα που χρησιμοποιεί, από 100 έως 1200 λίτρα. Τα σύγχρονα ψεκαστικά διαθέτουν ακροφύσια τριών θέσεων, τα οποία εξασφαλίζουν την αντικατάσταση του τύπου ακροφυσίου, ανάλογα με τις συνθήκες ψεκασμού, σε μικρό χρονικό διάστημα (Εικόνα 9.3Γ). Το μέσο αυτό χρησιμοποιείται σε όλα τα φυτά μεγάλης καλλιέργειας, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων σε μικρές εκτάσεις (ορισμένες λαχανοκομικές καλλιέργειες) και στις δενδροκομικές καλλιέργειες.

Ψεκαστήρας ελεγχόμενου μεγέθους σταγονιδίων (C.D.A., Controlled Droplet Applicator)

Ο ψεκαστήρας αυτός είναι φορητός και η λειτουργία του βασίζεται σε έναν περιστρεφόμενο πλαστικό δίσκο στον οποίο προσκρούουν οι σταγόνες του ζιζανιοκτόνου και αποκτούν μέγεθος μικρότερο από 100 μm (Εικόνα 9.4). Το πλάτος ψεκασμού είναι 1,1 - 1,2 m. Λειτουργεί με κοινές μπαταρίες. Χρησιμοποιείται κυρίως για υδατοδιαλυτά και όχι τοξικά στον άνθρωπο ζιζανιοκτόνα, τα οποία χρησιμοποιούνται (σχεδόν) δίχως αραίωση



Εικόνα 9.3. Ψεκαστήρας φερόμενος σε ελκυστήρα (συμβατικός)

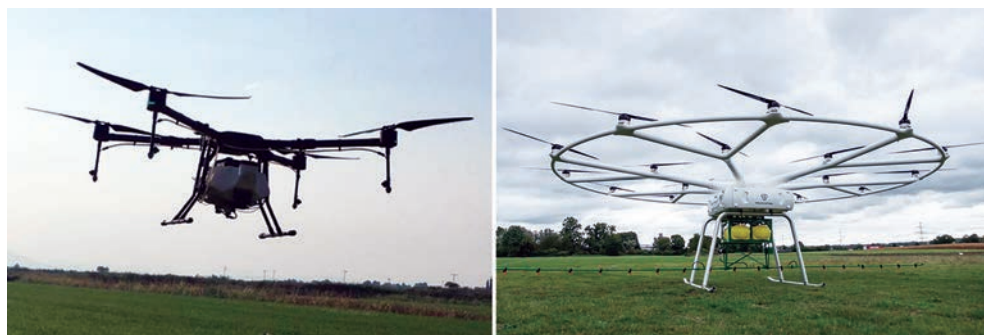


Εικόνα 9.4. Ψεκαστήρες ελεγχόμενου μεγέθους σταγονιδίων

με νερό. Συνήθως χρησιμοποιείται διάλυμα που περιέχει 90% σκεύασμα ζιζανιοκτόνου και 10% νερό, ώστε να αποφεύγονται πιθανά προβλήματα διακοπής λειτουργίας λόγω αδυναμίας άντλησης του διαλύματος από τα δοχεία. Με αυτό το μέσο δεν επιτρέπεται η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων τοξικών του αναπνευστικού συστήματος, όπως το ζιζανιοκτόνο paraquat, διότι χρησιμοποιείται δίχως αραίωση του σκευάσματος και τα σταγονίδια που δημιουργούνται είναι πολύ μικρά και δε γίνονται αισθητά με την όραση. Επιπλέον, η χρήση αυτού του μέσου δεν μπορεί να επιτύχει κάλυψη των ζιζανίων, αλλά μόνο την επαφή αυτών με μικρό αριθμό σταγονιδίων. Για τους παραπάνω λόγους το μόνο ζιζανιοκτόνο που βρίσκει επιτυχή εφαρμογή με αυτό το μέσο είναι το glyphosate, το οποίο είναι ταυτόχρονα υδατοδιαλυτό και ισχυρά διασυστηματικό (μετακίνηση μέσω των ηθμών).

Ψεκαστήρας φερόμενος σε μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα

Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (drones) που φέρουν ψεκαστικό δοχείο χωρητικότητας περίπου 20-50 λίτρων και ιστό με 4-18 ακροφύσια χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή μεταφυτρωτικών και διασυστηματικών ζιζανιοκτόνων (Εικόνα 9.5). Τα οχήματα αυτά κατευθύνονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή και δορυφορικό σύστημα πλοήγησης. Εφαρμόζουν περίπου 800 ml ψεκαστικού υγρού ανά στρέμμα. Συνεπώς, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ζιζανιοκτόνα επαφής, ενώ το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η πολύ μικρή αυτονομία της μπαταρίας του φέρουν (αρκεί για ψεκασμό περίπου 15 – 25 στρεμμάτων). Εντούτοις, με τη χρήση τους αποφεύγονται 1. η καταστροφή μέρους της καλλιέργειας, λόγω διέλευσης του ελκυστήρα και 2. οι πιθανή φυτοτοξικότητα, λόγω διπλοψεκασμού.



Εικόνα 9.5. Μη επανδρωμένα πτητικά ψεκαστικά μηχανήματα

9.2.2. Σχοινοδιαβρέκτης (wiper applicator)

Ο σχοινοδιαβρέκτης αποτελείται από ένα μεγάλο φυτίλι ή από αριθμό μικρότερων φυτιλιών που διαβρέχονται από το ζιζανιοκτόνο (Εικόνα 9.6). Χρησιμοποιείται μόνο με υδατοδιαλυτά και διασυστηματικά ζιζανιοκτόνα, τα οποία εφαρμόζονται σε ζιζάνια που εξέχουν (υψηλότερα) από τα καλλιεργούμενα φυτά. Υπάρχουν φορητοί και φερόμενοι σε ελκυστήρα (rope-wick applicator) σχοινοδιαβρέκτες. Και σε αυτή την περίπτωση το μόνο ζιζανιοκτόνο που βρίσκει επιτυχή εφαρμογή είναι το glyphosate, το οποίο τοποθετείται στο δοχείο του σχοινοδιαβρέκτη σε αναλογία 2:1 με νερό.



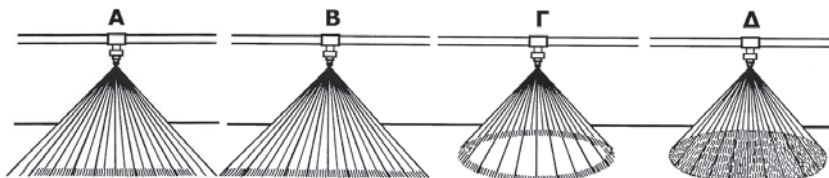
Εικόνα 9.6. Σχοινοδιαβρέκτες

9.2.3. Κριτήρια επιλογής ψεκαστικών μέσων (μηχανημάτων) για εφαρμογή ζιζανιοκτόνων

Η επιλογή του καταλληλότερου ψεκαστικού μηχανήματος προϋποθέτει τη γνώση: 1. του είδους της καλλιέργειας στην οποία θα γίνουν οι εφαρμογές, 2. των χαρακτηριστικών της περιοχής (κλίση εδάφους), 3. του τύπου των σκευασμάτων που θα χρησιμοποιηθούν, 4. της έκτασης ψεκασμού, 5. της συχνότητας ψεκασμού, 6. της απαιτούμενης ταχύτητας ψεκασμού, 7. της ευκολίας χρήσεως του κάθε ψεκαστικού μηχανήματος, 8. της ύπαρξης εργατικών χεριών, 9. της ύπαρξης νερού, 10. της απαιτούμενης επένδυσης κεφαλαίου για την αγορά κάθε ψεκαστικού μηχανήματος, 11. της αντοχής υλικού κατασκευής και 12. του κόστους λειτουργίας κάθε ψεκαστικού μηχανήματος.

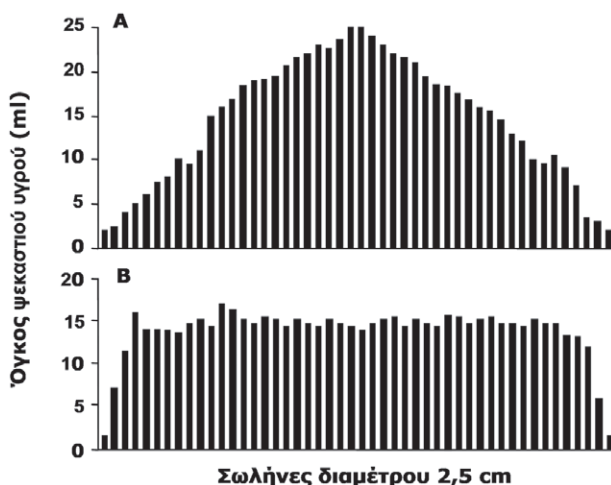
9.2.4. Είδη ακροφυσίων και τεχνική ρύθμισης ψεκαστικών μηχανημάτων

Ο τύπος των ακροφυσίων (μπεκ) που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής του ψεκαστικού υγρού στην ψεκαζόμενη επιφάνεια. Επομένως, η αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων επηρεάζεται σημαντικά από τον παράγοντα αυτό (τύπο ακροφυσίων). Τα ακροφύσια που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων είναι αυτά τύπου **ριπιδίου** ή **σκούπας** (flat fan nozzles) τα οποία επιτυγχάνουν κατανομή του ψεκαστικού υγρού σε σχήμα τριγώνου (Σχήμα 9.4). Τα ακροφύσια αυτά διακρίνονται σε **συμβατικά** (regular nozzles, VS), τα οποία εφαρμόζουν στο μέσο της βάσης του τριγώνου μεγαλύτερη ποσότητα ψεκαστικού υγρού από ό,τι στις πλευρές του και σε **ομοιόμορφης κατανομής** (even nozzles, EVS), τα οποία εφαρμόζουν την ίδια ποσότητα ζιζανιοκτόνου κατά μήκος της βάσης του τριγώνου (Σχήμα 9.5, Εικό-

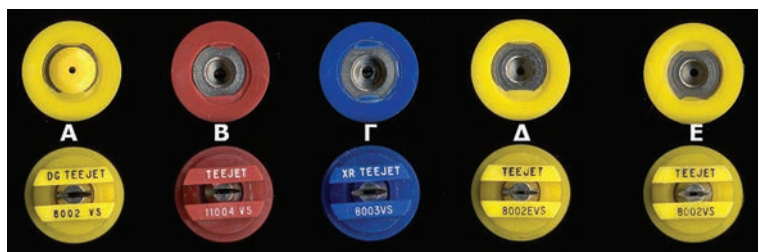


Σχήμα 9.4. Είδη ακροφυσίων που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή των γεωργικών φαρμάκων. **Α:** τύπου ριπιδίου (σκούπας) κανονικής κατανομής, **Β:** τύπου ριπιδίου ομοιόμορφης κατανομής, **Γ:** τύπου κοίλου κώνου, **Δ:** τύπου συμπαγούς κώνου

να 9.7). Τα ακροφύσια τύπου κώνου (hollow or solid cone nozzles) χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές των υπόλοιπων φυτοπροστατευτικών προϊόντων, αλλά όχι για τις εφαρμογές των ζιζανιοκτόνων (Σχήμα 9.4). Γενικά, υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε τύπους ακροφυσίων, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τη γωνία ψεκασμού, την παροχή και το μέγεθος των σταγονιδίων που επιτυγχάνουν στις διάφορες διακυμάνσεις της πίεσης (Εικόνα 9.7). Επιπλέον, υπάρχουν ακροφύσια διπλού ριπιδίου και ακροφύσια που περιορίζουν τις απώλειες, λόγω περιορισμού των παρασυρθέντων σταγονιδίων του ψεκαστικού υγρού (Εικόνα 9.8). Ειδικότερα, ο Jensen (2007) βρήκε ότι η χρήση ακροφυσίων που εφαρμόζουν το ψεκαστικό υγρό με γωνία 60° ως προς την κάθετη διεύθυνση των αγρωστωδών ζιζανίων αύξησε την αποτελεσματικότητα του haloxyfor εναντίον της πολυετούς ήρας (*Lolium perenne*).



Σχήμα 9.5. Κατανομή ψεκαστικού υγρού από δύο ακροφύσια τύπου ριπιδίου, ένα συμβατικό (Α) και ένα ομοιόμορφης κατανομής (Β) (τροποποιημένο από Matthews, 2000)



Εικόνα 9.7. Είδη ακροφυσίων τύπου ριπιδίου της εταιρίας TeeJet: **Α:** γωνία ψεκασμού 80° , παροχή 0,2 του αμερικάνικου γαλονιού (3,785 λίτρα), κανονική κατανομή (VS), διατήρηση σταθερού μεγέθους σταγονιδίων (Drift Guard), **Β:** γωνία ψεκασμού 110° , παροχή 0,4 του αμερικάνικου γαλονιού, κανονική κατανομή (VS), **Γ:** γωνία ψεκασμού 80° , παροχή 0,3 του αμερικάνικου γαλονιού, κανονική κατανομή (VS), **Δ:** γωνία ψεκασμού 80° , παροχή 0,2 του αμερικάνικου γαλονιού, ομοιόμορφη κατανομή (EVS) και **Ε:** γωνία ψεκασμού 80° , παροχή 0,2 του αμερικάνικου γαλονιού, κανονική κατανομή (VS)



Εικόνα 9.8. Είδη ακροφυσίων τύπου ριπιδίου της εταιρίας TeeJet: **A:** διπλού ριπιδίου, γωνία ψεκασμού 110° και 80°, αντίστοιχα, παροχή 0,2 του αμερικάνικου γαλονιού, κανονική κατανομή (VS) και **B:** ελέγχου παρασυσρόμενων σταγονιδίων, γωνία ψεκασμού 110°, παροχή 0,2 του αμερικάνικου γαλονιού, κανονική κατανομή (VS)

9.3. Η τεχνική του ψεκασμού

Η αποτελεσματικότητα ενός ζιζανιοκτόνου επηρεάζεται από τη ομοιομορφία κατανομής του στην ψεκαζόμενη επιφάνεια. Η ομοιόμορφη κατανομή προϋποθέτει: 1. την επιλογή του καταλληλότερου ψεκαστικού μηχανήματος, 2. τη σωστή ρύθμισή του, 3. το σωστό υπολογισμό της δόσης εφαρμογής, 4. την προσεκτική και με τη σωστή σειρά ανάμειξη των ζιζανιοκτόνων και των βοηθητικών ουσιών, 5. την ομοιόμορφη κατανομή του σκευάσματος στο δοχείο του ψεκαστικού υγρού, 6. το σωστό χειρισμό του ψεκαστικού μηχανήματος (σταθερή ταχύτητα κίνησης, σταθερή πίεση ψεκασμού, αποφυγή διπλού ψεκασμού), 7. τον έλεγχο της ακρίβειας ψεκασμού κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, 8. την άμεση επιδιόρθωση των προβλημάτων που πιθανώς θα προκύψουν κατά τον ψεκασμό, 9. την ομαλότητα του εδάφους και 10. τις κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες (απουσία ανέμου ή βροχόπτωσης).

Τα ψεκαστικά μέσα πρέπει να ελέγχονται περιοδικά, ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη κατανομή των ζιζανιοκτόνων, γεγονός που οδηγεί στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων και στην ελαχιστοποίηση των προβλημάτων φυτοτοξικότητας στα καλλιεργούμενα φυτά, μεγάλης υπολειμματικής διάρκειας στο έδαφος και ρύπανσης του περιβάλλοντος (προβλήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή μεγαλύτερης της συνιστώμενης δόσης). Τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών σχετικά με την ομοιομορφία κατανομής των ζιζανιοκτόνων με τη χρήση διαφόρων ψεκαστικών μέσων (53 στο σύνολο) έδειξαν ότι μόνο το 15% των μέσων που αξιολογήθηκαν πέτυχε αποδεκτή εφαρμογή με απόκλιση 5%. Τα υπόλοιπα ψεκαστικά μέσα επέτυχαν εφαρμογή ποσότητας ζιζανιοκτόνου που κυμαίνονταν από το 83% έως το 177% της αναμενόμενης (συνιστώμενης) ποσότητας. Σύμφωνα με τους ερευνητές οι ελαττωματικοί μετρητές πίεσης και τα εσφαλμένα χαρακτηριστικά των ακροφυσίων ήταν οι παράγοντες που συνέβαλαν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην ανομοιομορφία κατανομής των ζιζανιοκτόνων. Επίσης, διάφοροι άλλοι ερευνητές (Grisso κ.ά., 1989; Ozkan, 1987; Rider και Dickey, 1982), που μελέτησαν την ακρίβεια κατανομής του ψεκαστικού υγρού με τη χρήση μεγάλου αριθμού ψεκαστικών μέσων στις Η.Π.Α., βρήκαν ότι μόνο το 20 έως 30% των μέσων πέτυχε την αποδεκτή απόκλιση του 5% στην ποσότητα του ζιζανιοκτόνου που εφαρμόστηκε. Εντούτοις, το πρόβλημα αυτό μπορεί να περιοριστεί στο ελάχιστο με την κατάλληλη και συχνή ρύθμιση των ψεκαστικών μέσων. Γενικά, τα ψεκαστικά μέσα πρέπει να ρυθμίζονται συχνά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ οι αλλαγές των χαρακτηριστικών

ψεκασμού (πλάτος ψεκασμού, ύψος ακροφυσίων, είδος ακροφυσίων, όγκος ψεκαστικού υγρού ανά μονάδα επιφάνειας) πρέπει να συνοδεύονται και από νέα ρύθμιση του ψεκαστικού μηχανήματος.

Τα τελευταία έτη έχουν αναπτυχθεί δορυφορικά συστήματα (GPS, Global Positioning Systems) τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Με τα συστήματα αυτά αποφεύγονται οι διπλοψεκασμοί και ρυθμίζεται η δόση εφαρμογής, ανάλογα με την πυκνότητα και την ανάπτυξη των ζιζανίων. Συνεπώς, επιτυγχάνεται 1. αποτελεσματικότερη διαχείριση των ζιζανίων, 2. μείωση του κόστους εφαρμογής και 3. αποφυγή φυτοτοξικότητας στα καλλιεργούμενα φυτά.

9.3.1. Έλεγχος ψεκαστικού μέσου πριν τον ψεκασμό

Ο οπτικός έλεγχος του σχήματος των ριπιδίων και ο έλεγχος της παροχής των ακροφυσίων πρέπει να γίνονται σχολαστικά πριν από κάθε ψεκασμό, προκειμένου να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή του ψεκαστικού υγρού. Ο έλεγχος της παροχής γίνεται με τη βοήθεια ποτηριών ζέσεως ή πλαστικών κυλίνδρων που τοποθετούνται σε κάθε ακροφύσιο. Κατόπιν, τίθεται σε λειτουργία το ψεκαστικό μέσο και χρονομετρείται ένα λεπτό. Στο τέλος του χρόνου αυτού γίνεται σύγκριση της ποσότητας του υγρού σε κάθε ποτήρι (ή κύλινδρο) και καθαρίζονται ή αντικαθίστανται τα ελαττωματικά ακροφύσια. Ψεκασμός μικρής ποσότητας σε αγροτικό δρόμο και ο έλεγχος της εξάτμισης του ψεκαζόμενου υγρού αποτελούν μία ερασιτεχνική μέθοδο για τον έλεγχο παροχής των ακροφυσίων, αλλά δεν μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τον έλεγχο με τα ποτήρια ζέσεως. Επίσης, η ομοιόμορφη κατανομή του ψεκαστικού υγρού από τα ακροφύσια μπορεί να ελεγχθεί και με τη χρήση κάμερας και ειδικού προγράμματος ανάλυσης εικόνων.

9.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ομοιόμορφη κατανομή του ψεκαστικού υγρού κατά τον ψεκασμό

Είδος, διάταξη και κατάσταση των ακροφυσίων του ψεκαστήρα

Τα συμβατικά ακροφύσια χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που απαιτείται ομοιόμορφη κάλυψη του αγρού ή της φυλλικής επιφάνειας (καθολικός ψεκασμός). Αντίθετα, στις περιπτώσεις γραμμικών εφαρμογών χρησιμοποιούνται τα ακροφύσια ομοιόμορφης κατανομής (Εικόνα 9.6). Ανάλογα με τον τύπο ακροφυσίων που χρησιμοποιείται και τη γωνία ψεκασμού αυτών, ρυθμίζεται η μεταξύ τους απόσταση επάνω στον ιστό του ψεκαστικού μηχανήματος. Επιπλέον, λαμβάνεται μέριμνα ώστε τα ακροφύσια να βρίσκονται στην ίδια ευθεία, να μην υπάρχουν ξένα σώματα στην οπή και στις περιπτώσεις φθοράς (μεγαλύτερη διάμετρος οπής) να γίνεται αντικατάσταση του ακροφυσίου. Η απόσταση μεταξύ των ακροφυσίων επάνω στον ιστό κυμαίνεται από 45 έως 60 cm.

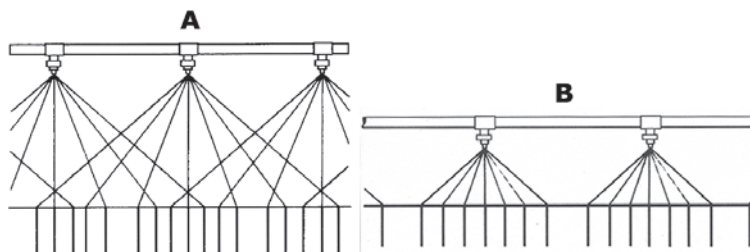
Απόσταση των ακροφυσίων από την ψεκαζόμενη επιφάνεια

Η απόσταση που πρέπει να έχουν τα ακροφύσια από την ψεκαζόμενη επιφάνεια καθορίζεται από τον τύπο των ακροφυσίων, τη γωνία ψεκασμού και την μεταξύ τους

απόσταση επάνω στον ιστό του ψεκαστικού μηχανήματος (Πίνακας 9.3). Όταν χρησιμοποιούνται συμβατικά ακροφύσια, πρέπει να γίνεται επικάλυψη στις άκρες του ψεκαστικού υγρού, ώστε να εφαρμόζεται η ίδια ποσότητα ζιζανιοκτόνου σε όλη την ψεκαζόμενη επιφάνεια. Αντίθετα, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ακροφύσια ομοιόμορφης κατανομής, δεν πρέπει να γίνεται επικάλυψη (Σχήμα 9.6). Τα ακροφύσια με μεγάλη γωνία ψεκασμού επιτρέπουν τη μεγαλύτερη προσέγγιση του ιστού στην ψεκαζόμενη επιφάνεια και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που επικρατεί μέτριας έντασης άνεμος κατά την εφαρμογή και επιβάλλεται η μείωση της απόστασης των ακροφυσίων από την ψεκαζόμενη επιφάνεια.

Πίνακας 9.3. Συνιστώμενες αποστάσεις συμβατικών ακροφυσίων από ψεκαζόμενη επιφάνεια ανάλογα με τη γωνία ψεκασμού και την απόσταση των ακροφυσίων στον ιστό (Ozkan, 1995)

Γωνία ψεκασμού (°)	Απόσταση ακροφυσίων στον ιστό (cm)	
	51	76
Απόσταση από ψεκαζόμενη επιφάνεια (cm)		
65	56 - 61	84 - 89
73	51 - 56	69 - 74
80	43 - 48	61 - 66
110	25 - 30	33 - 38



Σχήμα 9.6. Κατανομή ψεκαστικού υγρού ανάλογα με την απόσταση των ακροφυσίων από την ψεκαζόμενη επιφάνεια: Α: ψεκασμός με επικάλυψη ακροφυσίων, Β: ψεκασμός δίχως επικάλυψη ακροφυσίων

Όγκος ψεκαστικού υγρού

Η αύξηση του όγκου του ψεκαστικού υγρού που χρησιμοποιείται για την κάλυψη μιας επιφάνειας προκαλεί και την αύξηση της ομοιομορφίας κατανομής του ψεκαστικού υγρού. Το γεγονός αυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις, αυξάνει την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων. Οι Brown κ.ά. (2007) βρήκαν ότι η αποτελεσματικότητα του ζιζανιοκτόνου bromoxynil εναντίον των ζιζανίων λουβουδιά, βλήτο και αγριομπαμπакιά αυξήθηκε με το διπλασιασμό του όγκου του ψεκαστικού υγρού. Εντούτοις, η αύξηση του όγκου του ψεκαστικού υγρού δεν επηρέασε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων glufosinate και dicamba. Η αύξηση αυτή του όγκου του νερού επιτυγχάνεται με τη μείωση της ταχύτητας του ψεκαστικού μηχανήματος ή την

αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων. Μείωση της ταχύτητας στο μισό ή αύξηση της διαμέτρου στο διπλάσιο διπλασιάζει την ποσότητα του ψεκαστικού υγρού που εφαρμόζεται σε δεδομένη επιφάνεια. Η αύξηση του όγκου του νερού με την αύξηση της πίεσης (τριπλασιασμός της πίεσης διπλασιάζει περίπου τον όγκο του ψεκαστικού υγρού) πρέπει να αποφεύγεται, διότι δημιουργούνται πολύ μικρά σταγονίδια ($< 100 \mu\text{m}$) που παρασύρονται από τον άνεμο (Εικόνα 9.9) και δημιουργούν προβλήματα σε διπλανές καλλιέργειες. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με τη χρήση ακροφυσίων χαμηλής πίεσης (low pressure nozzles) τα οποία επιτυγχάνουν την επιθυμητή παροχή ψεκαστικού υγρού με μικρότερη πίεση και κατά συνέπεια μεγαλύτερο μέγεθος σταγονιδίων.

Μέγεθος σταγονιδίων ψεκασμού

Η μείωση της διαμέτρου των σταγονιδίων του ψεκαστικού υγρού συνεπάγεται την αύξηση του αριθμού τους σε δεδομένο όγκο, με αποτέλεσμα την αύξηση της ομοιομορφίας ψεκασμού (Πίνακας 9.4). Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την αύξηση της πίεσης ψεκασμού, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 3,2 Atm. Σε αυτή την περίπτωση το μέγεθος των σταγονιδίων είναι πολύ μικρό, με αποτέλεσμα να παρασύρονται εύκολα από τον άνεμο (drift).

Πίνακας 9.4. Επίδραση του τύπου ακροφυσίου και της πίεσης ψεκασμού στο μέσο μέγεθος των σταγονιδίων κατά τον ψεκασμό (Ross και Lembi, 1999)

Τύπος ακροφυσίου	Γωνία ψεκασμού (°)	Πίεση ψεκασμού (kPa ή $\times 10^{-2}$ atm)		
		105	280	420
		Διάμετρος σταγονιδίων (μm)		
4005	40	900	810	780
6505	65	600	550	530
8005	80	530	470	450
11005	110	410	380	360

Παροχή ακροφυσίων 0,5 gal (1892,5 ml)/min σε πίεση 280 kPa

Ομαλότητα του εδάφους

Η ομοιομορφία κατανομής του ψεκαστικού υγρού είναι μεγαλύτερη σε ομαλό έδαφος από ό,τι σε μη ομαλό. Αυτό συμβαίνει, διότι η ταχύτητα του μηχανήματος και η απόσταση των ακροφυσίων από την ψεκαζόμενη επιφάνεια διατηρούνται σταθερές.