



ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Πρόβλημα ή ευκαιρία για τη γεωργία;

Στο συγκεκριμένο άρθρο παρουσιάζονται οι αναμενόμενες επιπτώσεις στη γεωργία από την κλιματική αλλαγή, η οποία οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην γήινη ατμόσφαιρα και στην, ως εκ τούτου, συνεπαγόμενη άνοδο της θερμοκρασίας. Επίσης, αναφέρονται και δράσεις μετριασμού της μεταβολής του κλίματος και προσαρμογής της γεωργίας.

ΗΛΙΑΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΧΩΡΙΝΟΣ

Ομότιμος καθηγητής Γεωπονίας, ΑΠΘ
Μέλος της Ελληνικής Γεωργικής Ακαδημίας



Η κλιματική αλλαγή, δηλαδή η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και η συνεπαγόμενη μικρή άνοδος της θερμοκρασίας, αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές επιδράσεις στη γεωργία. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα πειραματικά δεδομένα που δείχνουν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ θα ευνοήσει τη φωτοσύνθεση και θα αυξήσει την απόδοση των C₃ καλλιεργειών (π.χ. σιτάρι, ρύζι, σόγια, ζαχαρότευτλα, βαμβάκι, ελαιοκράμβη, ηλίανθος, καννός, πατάτα, τομάτα, άλλα κηπευτικά, θαμνώδη και δενδρώδη σπρωφόρα), ενώ θα μειώσει την περιεκτικότητα των περισσότερων προϊόντων σε πρωτεΐνες, μαγνήσιο, σίδηρο και ψευδάργυρο. Επίσης, ο συνδυασμός της αύξησης CO₂ και θερμοκρασίας θα αυξήσει την ανταγωνιστική ικανότητα των C₃ ζιζανίων έναντι των καλλιεργειών με αποτέλεσμα την πρόκληση μεγαλύτερης ζημιάς, αλλά θα επηρεάσει και τη δυνατότητα εισβολής - μετατόπισης ορισμένων ειδών

ζιζανίων σε ψυχρότερες περιοχές, τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, την ικανότητα αναπαραγωγής, τη μακροβιότητα των οργάνων αναπαραγωγής, το λήθαργο και το φύτρωμα των σπόρων. Επιπρόσθετα, ο χρόνος έναρξης της δραστηριοποίησης των εντόμων, η διάρκεια και ο συγχρονισμός του βιολογικού τους κύκλου με τα φυτά ξενιστές και τους φυσικούς εχθρούς, η δυνατότητα επιβίωσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο αριθμός γενεών, η δυνατότητα εισβολής-μετατόπισης ορισμένων ειδών σε νέες περιοχές, η δυναμική πληθυσμών και η σύνθεση των ειδών μπορεί να επηρεαστούν σημαντικά από την κλιματική αλλαγή. Διαφοροποιήσεις αναμένονται να υπάρξουν στη διάρκεια του βιολογικού κύκλου των φυτοπαθογόνων, στην ικανότητα προσβολής, στον ρυθμό εξέλιξης ανθεκτικών φυλών μυκήτων σε μυκητοκτόνα, στην αντοχή των φυτών σε ασθένειες, καθώς και στη βιολογία των ανταγωνιστικών τους μικροοργανισμών. Η θρέψη φυτών μπορεί να επη-

ρεαστεί από την επίδραση της μεταβολής του κλίματος στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, ενώ η φυτοπροστασία από την επίδρασή της στην απόκριση των καλλιεργειών έναντι των εχθρών, καθώς και στη δράση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η εκτίμηση όμως των προαναφερθεισών επιδράσεων εμπεριέχει μεγάλη αβεβαιότητα, διότι βασίζεται σε εικαζόμενο εύρος αύξησης CO₂ και θερμοκρασίας, ενώ δεν λαμβάνει υπόψη τις πολλαπλές δυσερμηνευτές αλληλεπιδράσεις μεταξύ άλλων παραγόντων του κλίματος, εδάφους, φυτών και γεωργικών πρακτικών. Όλα αυτά καθιστούν αναγκαία τη λήψη μέτρων μετριασμού ή αναχαίτισης της συντελούμενης μεταβολής του κλίματος, καθώς και την ανάληψη δράσεων προσαρμογής των κοινωνιών στις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις (πρόβλημα) αλλά και αξιοποίησης των ευεργετικών επιδράσεων (ευκαιρία) στη γεωργία.



1. Τι συμβαίνει με την κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή - η αλλαγή του κλίματος που οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου (υδρατμίς, CO₂, CH₄, O₃, N₂O, HFC, HCFC, PFC) στην ατμόσφαιρα, η οποία μεταβάλλει τη σύσταση και τη δομή της και επάγει, ως εκ τούτου, την άνοδο της θερμοκρασίας - σε συνδυασμό με τα ακραία καιρικά φαινόμενα της ξηρασίας, των πλημμυρών και του καύσωνα, θεωρούνται ως τα σημαντικότερα προ-

Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΘΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

ρες διεργασίες των φυτών που αναμένεται να επηρεαστούν από την κλιματική αλλαγή είναι η φωτοσύνθεση, η διαπνοή, η αναπνοή, ο μεταβολισμός, η δράση γονιδίων (υπερέκφραση ή μείωση έκφρασης ή σίγηση) λόγω γενετικής ή επιγενετικής τροποποίησης και η καταλυτική δράση των κωδικοποιούμενων ενζύμων. Η προαναφερθείσα διαπίστωση, σε συνδυασμό με τις αντιφατικές εκτιμήσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία λόγω της χρήσης διαφορετικών κλιματικών μοντέλων και κλιματικών σεναρίων, αποτέλεσε τον κυριότερο λόγο για τη συγγραφή του παρόντος άρθρου, στο οποίο αναφέρονται αποτελέσματα από τη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις άμεσες, έμμεσες, θετικές και αρνητικές επιδράσεις της συντελούμενης αύξησης του CO₂ και της συνεπαγόμενης άνοδου της θερμοκρασίας στη βιολογία των καλλιεργειών, ζιζανίων, εντόμων και μυκήτων, στη θρέψη των φυτών, στη δράση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και γενικότερα στον πλανήτη. Η γνώση αυτή μπορεί να συμβάλει στην πληρέστερη κατανόηση των επιπτώσεων της μεταβολής του κλίματος στη γεωργία, αλλά κυρίως στην ανάληψη δράσεων μετριασμού ή αναχαίτισης των αιτίων που την προκαλούν, προσαρμογής στις αρνητικές επιδράσεις και αξιοποίησης των θετικών επιδράσεων.

2. Επίδραση της αύξησης του CO₂ της ατμόσφαιρας στα φυτά

Η αναμενόμενη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι εξαιρετικού ενδιαφέροντος από γεωπονικής άποψης, διότι θα επηρεάσει διαφορετικά την αύξηση και την ανάπτυξη των C₃ καλλιεργειών και ζιζανίων [έχουν, ως πρώτο προϊόν φωτοσύνθεσης, οργανικό οξύ με τρία άτομα άνθρακα (φωσφογλυκερικό οξύ-C₃H₇O₇P)] σε σύγκριση με τα αντίστοιχα C₄ είδη [έχουν, ως πρώτο προϊόν φωτοσύνθεσης, οργανικό οξύ

με τέσσερα άτομα άνθρακα (οξαλοξικό οξύ-C₄H₄O₅)]. Συγκεκριμένα, η αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τη φωτοσύνθεση και κατ' επέκταση τον ρυθμό ανάπτυξης των C₃ ειδών, αλλά όχι και των αντίστοιχων C₄ ειδών. Αυτό θα συμβεί διότι τα C₃ είδη επιτυγχάνουν το μέγιστο της φωτοσύνθεσης σε συγκέντρωση CO₂ μεγαλύτερη από 700 ppm (αναμενόμενη), ενώ τα C₄ είδη σε συγκέντρωση 200-300 ppm CO₂, δηλαδή πολύ χαμηλότερη από την τρέχουσα συγκέντρωση των 400-420 ppm CO₂ στην ατμόσφαιρα. Βέβαια, υπό τις τρέχουσες συγκεντρώσεις του CO₂, τα C₄ είδη φυτών έχουν ταχύτερο ρυθμό φωτοσύνθεσης (διότι επιτυγχάνουν το μέγιστο της φωτοσύνθεσης) και αποτελεσματικότερη αξιοποίηση νερού από ό,τι τα C₃ είδη.

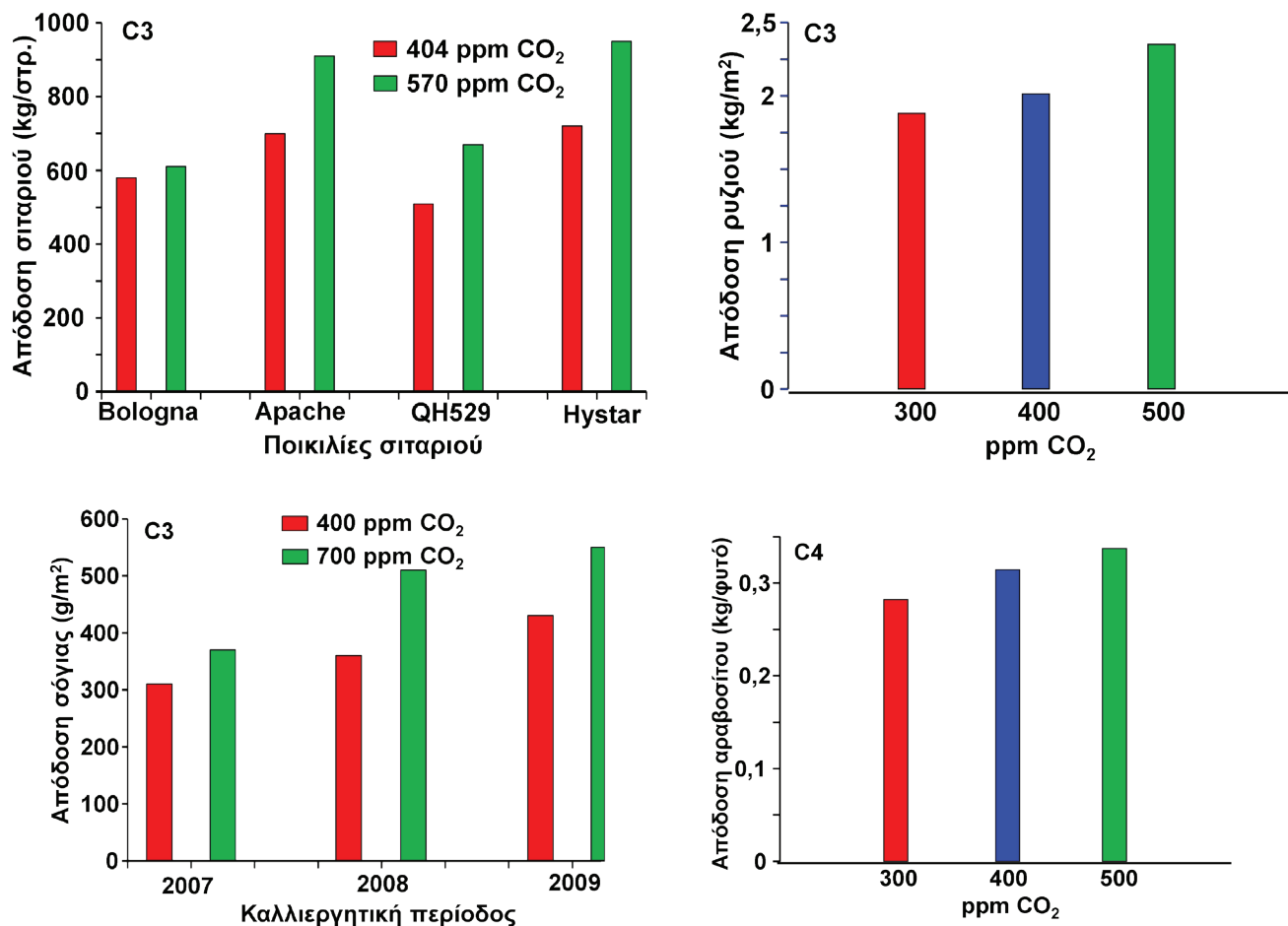
Τα κυριότερα C₃ καλλιεργούμενα είδη είναι το σπάρι, το κριθάρι, τα χειμερινά ψυχανθή, η ελαιοκράμβη, το ρύζι, η σόγια, το βαμβάκι, το ζαχαρότευτλο, ο καπνός, ο ηλιάνθος, η πατάτα, η τομάτα, άλλα λαχανοκομικά, καθώς και τα οπωροφόρα, τα οποία καλύπτουν περισσότερο από το 65% των αναγκών επιβίωσης της ανθρωπότητας. Ο αραβόσιτος, το σόργο, το ζαχαροκάλαμο, το κεχρί και ο μίσχανθος ανήκουν στα C₄ καλλιεργούμενα είδη. Όσον αφορά τα ζιζάνια, τα σημαντικότερα C₃ χειμερινά είδη είναι η αγριοβρώμη, η λεπτή ήρα, η φάλαρη, η αλεπονουρά, ο βρόμος, η παπαρούνα, το άγριο σινάπι, η κολλητσίδα (μικρόκαρπη, μεγαλόκαρπη) και το κίρσιο, ενώ τα κυριότερα C₃ θερινά είδη είναι η αγριοτομάτα, η λουβουδιά, η αγριοβαμβάκιά, η αγριομελιτζάνα, ο τάτοουλας και η περικοκλάδα. Τέλος, τα σημαντικότερα C₄ είδη ζιζανίων (όλα είναι θερινά) είναι το βλίτο, η γλιστρίδα, η μουχρίτσα, η σετάρια, το αιματόχορτο, η ελευσίνη, ο βέλιουρας, η αγριάδα και η κύπερη.

Η αναμενόμενη αύξηση του CO₂, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, θα ευνοήσει περισσότερο τη φωτοσύνθεση και, ως εκ τούτου, την απόδοση των C₃ καλλιεργειών, χωρίς όμως να αποκλείεται και κάποια θετική επίδραση σε C₄ καλλιέργειες. Αυτό τεκμαίρεται από τα δεδομένα του Σχήματος 1, τα οποία δείχνουν ότι η αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα προκάλεσε σημαντική αύξηση στην απόδοση των C₃ καλλιεργειών σιταριού, ρυζιού και σόγιας, αλλά και στη C₄ καλλιέργεια αραβοσίτου λόγω της επίδρασης άλλων παραγόντων.

Το CO₂, εκτός από την απόδοση των καλλιεργειών, αναμένεται να επηρεάσει και τη θρεπτική αξία των παραγόμενων προϊόντων. Αυτό επιβεβαιώνεται από τη μετανάλυση 57 εργασιών των Dong κ.ά.



βλήματα παγκοσμίως για τη γεωργία, την επισιτιστική ασφάλεια, τη διατροφή, την υγεία, την ευημερία και το περιβάλλον. Ειδικότερα η γεωργία, αν και έχει μικρή συμμετοχή (9-12%) παγκοσμίως στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου και, ως εκ τούτου, μικρή επίδραση στη συντελούμενη μεταβολή του κλίματος, αναμένεται να υποστεί τις σημαντικότερες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, διότι η σταθερότητα του συστήματος γεωργικής παραγωγής, το είδος, η απόδοση, η ποιότητα, η διαθεσιμότητα, η προσβασιμότητα και τελικώς η χρήση γεωργικών προϊόντων-τροφίμων και πρώτων υλών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα. Αυτό οφείλεται στο ότι η μεταβολή των παραγόντων του κλίματος επηρεάζει ανατομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά, καθώς και φυσιολογικές, βιοχημικές και γενετικές διεργασίες των οργανισμών, οι οποίες προκαλούν αλλαγές στην ικανότητα προσαρμογής, φαινοτυπικής πλαστικότητας, ομοιόστασης και, τελικώς, στην εξέλιξή τους. Οι κυριότε-

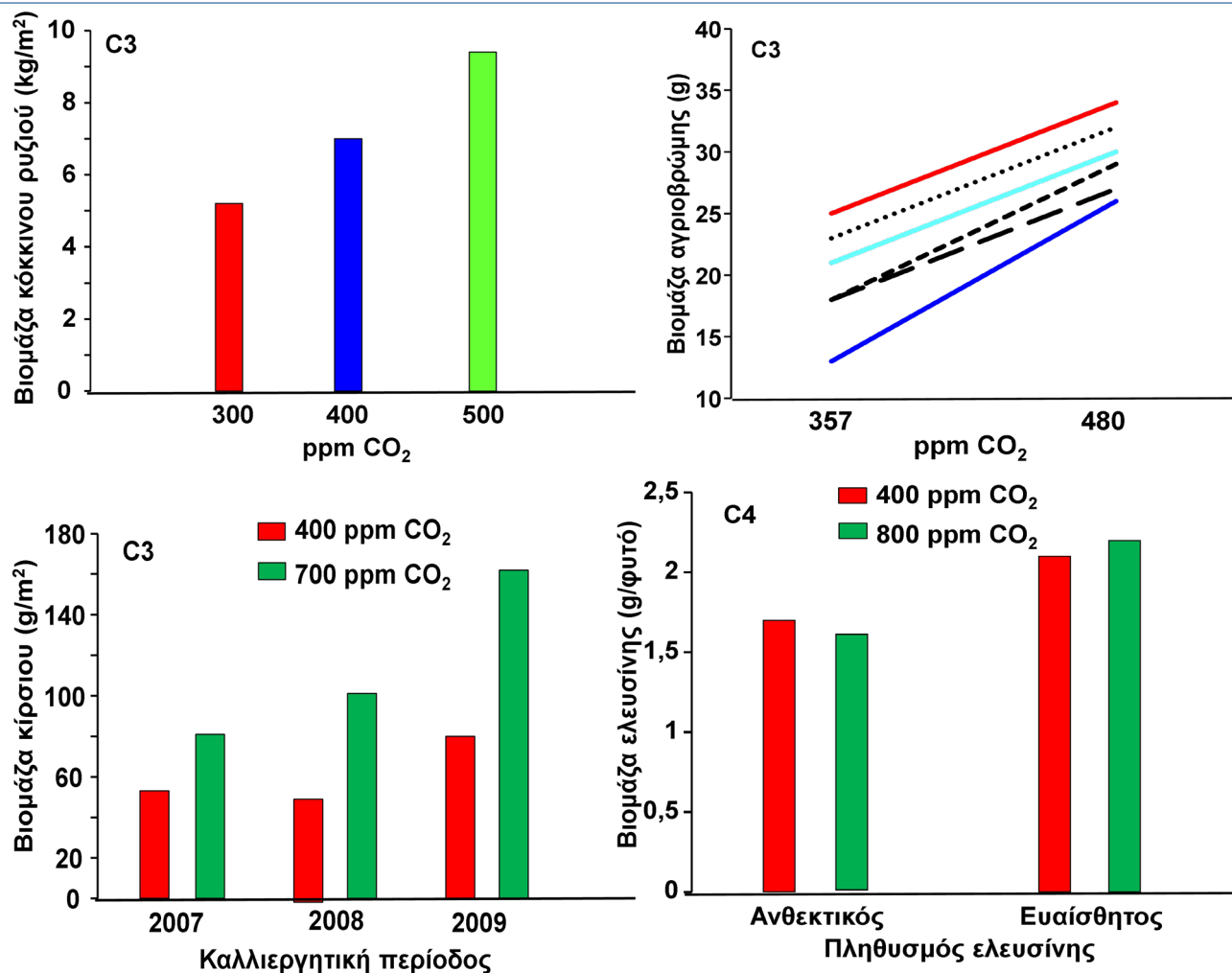


Σχήμα 1. Επίδραση της αύξησης του CO₂ στην απόδοση τεσσάρων ποικιλιών σιταριού (Blandino κ.ά., 2020), ρυζιού (Ziska κ.ά., 2010b), σόγιας (Ziska, 2010a) και αραβοσίτου (Meng κ.ά., 2014).

(2018), η οποία έδειξε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα αύξησε την περιεκτικότητα διαφόρων λαχανικών (φράουλα, πατάτα, καρότο, ραπανάκι, γογγύλι, μπρόκολο, σέλινο, τζίντζερ, κρεμμύδι, λάχανο, μαρούλι, σπανάκι, αγγούρι, πιπεριά, τομάτα) σε φρουκτόζη, γλυκόζη, συνολικά διαλυτά σάκχαρα, συνολική αντιοξειδωτική δράση, συνολικές φαινόλες, συνολικά φλαβονοειδή, ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) και ασβέστιο κατά 14,2, 13,2, 17,5, 59, 8,9, 45,5, 9,5 και 8,2%, αντιστοίχως. Αντιθέτως, μείωσε την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, νιτρικά, μαγνήσιο, σίδηρο και ψευδάργυρο κατά 9,5, 18, 9,2, 16 και 9,4%, αντιστοίχως, ενώ δεν επηρέασε την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, καροτενοειδή, λυκοπένιο, ανθοκυανίνες, φωσφόρο, κάλιο, θείο, χαλκό και μαγγάνιο. Μείωση της περιεκτικότητας πρωτεϊνών (λόγω αύξησης της συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα) σε σιτάρι, κριθάρι, ρύζι, πατάτα και σόγια κατά 10, 15, 10, 14 και 1,4%, αντιστοίχως, έδειξε και η μετα-ανάλυση των Taub κ.ά. (2008), ενώ, σύμφωνα με τη μετα-ανάλυση των Myers κ.ά. (2014), η αντίστοιχη μείωση

πρωτεϊνών σε σιτάρι, ρύζι, σόγια, μπιζέλι, αραβόσιτο και σόργο ήταν 6,3, 7,8, 0, 2,1, 4,6 και 0%. Επιπρόσθετα, μείωση ψευδαργύρου κατά 9,3, 3,3, 5,1, 6,8, 5,2 και 1,3% παρατηρήθηκε στα έξι προαναφερθέντα προϊόντα, όπως και σιδήρου κατά 5,1, 5,2, 4,1, 4,1, 5,8 και 0%. Τέλος, οι Zhu κ.ά. (2018) βρήκαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ μείωσε την περιεκτικότητα 18 ποικιλιών ρυζιού σε βιταμίνη B1 (θειαμίνη), βιταμίνη B2 (ριβοφλαβίνη), βιταμίνη B5 (παντοθενικό οξύ), βιταμίνη B9 (φολικό ή φυλλικό οξύ), πρωτεΐνες, ψευδάργυρο και σίδηρο κατά 17,1, 16,6, 12,7, 30,3, 10,3, 5,1 και 8%, αντιστοίχως, ενώ αύξησε τη βιταμίνη E (α-τοκοφερόλη). Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂, εκτός από τις C₃ καλλιέργειες, αναμένεται να ευνοήσει περισσότερο τη φωτοσύνθεση και κατ' επέκταση την αύξηση και την ανάπτυξη των C₃ ειδών ζιζανίων σε σύγκριση με τα C₄ είδη. Αυτό τεκμαίρεται από τα δεδομένα του **Σχήματος 2**, τα οποία δείχνουν ότι η αύξηση του CO₂ (σε σύγκριση με την τρέχουσα συγκέντρωση) αύξησε τη βιομάζα των C₃ ζιζανίων αγριοβρώμης, κόκκινου ρυζιού

και κίρσιου, ενώ δεν επηρέασε σημαντικά την αντίστοιχη βιομάζα δύο πληθυσμών (ευαίσθητου και ανθεκτικού στο glyphosate) του C₄ ζιζανίου ελευσίνης. Η αύξηση του CO₂, εκτός από την αύξηση της βιομάζας των C₃ ειδών ζιζανίων, αυξάνει και την ανταγωνιστική τους ικανότητα έναντι των C₃ και C₄ καλλιεργειών, με αποτέλεσμα την πρόκληση μεγαλύτερης ζημιάς. Αυτό ενισχύεται από τα δεδομένα του **Σχήματος 3**, τα οποία δείχνουν ότι η μείωση της απόδοσης της σόγιας (C₃) εξαιτίας του ανταγωνισμού των ζιζανίων λουβουδιά (C₃) και τραχύ βλίτο (C₄) ήταν 28 και 45%, αντιστοίχως, υπό συνθήκες 370 ppm CO₂, ενώ, με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ σε 700 ppm, η αντίστοιχη μείωση της απόδοσης της σόγιας από λουβουδιά και βλίτο ήταν 39 και 30%. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του CO₂ αύξησε την ανταγωνιστική ικανότητα της C₃ λουβουδιάς κατά 11% (39-28%), ενώ μείωσε την αντίστοιχη του C₄ βλίτου κατά 15% (45-30%) εξαιτίας της αύξησης της ανταγωνιστικής ικανότητας της C₃ σόγιας. Σχετικά με το C₄ σόργο, η μείωση της απόδοσης εξαιτίας του ανταγωνισμού των ζιζανίων αγριοβαμβακιά



Σχήμα 2. Επίδραση της αύξησης του CO₂ στη βιομάζα τριών C₃ ειδών ζιζανίων (ενός πληθυσμού κόκκινου ρυζιού, έξι πληθυσμών αγριοβρώμης, ενός πληθυσμού κίρσιου) (O'Donnell κ.ά., 2001; Ziska, 2010a, b) και δύο πληθυσμών (ανθεκτικού και ευαίσθητου στο glyphosate) του C₄ είδους ζιζανίου-ελευσίνης (Zhang κ.ά., 2015).

(C₃) και τραχύ βλίτο (C₄) ήταν 1 και 11%, αντιστοίχως, υπό τις τρέχουσες συνθήκες CO₂, ενώ, με την αύξησή του κατά 250 ppm, η αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του σόργου από αγριοβαμβακιά και βλίτο ήταν 16 και 23%. Αυτό δείχνει ότι η αύξηση του CO₂ αύξησε την ανταγωνιστική ικανότητα της C₃ αγριοβαμβακιάς και του C₄ βλίτου κατά 15% (16-1%) και 12% (23-11%), αντιστοίχως, εξαιτίας της μείωσης της ανταγωνιστικής ικανότητας του C₄ σόργου.

Τα όσα προαναφέρθηκαν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του CO₂ αναμένεται να αυξήσει την απόδοση των C₃ καλλιεργούμενων ειδών αλλά και την ανταγωνιστική ικανότητα των C₃ ειδών ζιζανίων έναντι αμφοτέρων των C₃ και C₄ καλλιεργειών. Αυτό σημαίνει ότι η αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων στο μέλλον θα είναι ακόμη περισσότερο αναγκαία προκειμένου να αποφευχθούν μεγαλύτερες μειώσεις των αποδόσεων των καλλιεργειών. Βέβαια, εκτός από το CO₂, το οποίο θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας για τη φωτοσύνθεση και την αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργει-

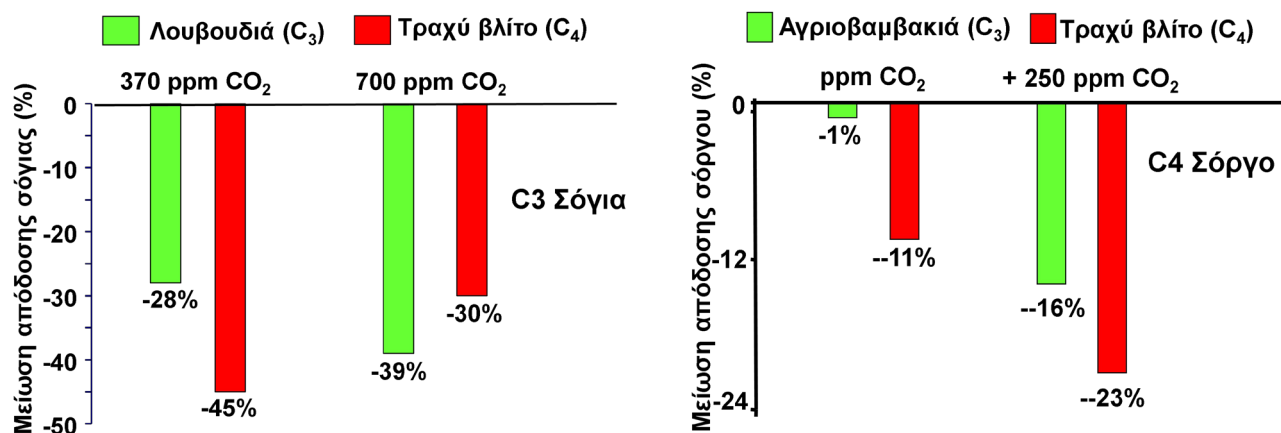
ών, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η γονιμότητα του εδάφους, η επάρκεια νερού (άρδευση, βροχόπτωση) και η διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων (λίπανση) στο έδαφος, η ηλιακή ακτινοβολία, το είδος και η ποικιλία της καλλιέργειας, η προστασία των φυτών από εχθρούς με τη χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων (γεωργικών φαρμάκων) και μη χημικών μέσων, καθώς και οι άλλες καλλιεργητικές φροντίδες είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες για την αύξηση και την ανάπτυξή τους.

3. Επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας στα φυτά

Η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη, ως συνέπεια της παγίδευσης-εγκλωβισμού από αέρια του θερμοκηπίου της ανακλώμενης από τη γη μεγαλύτερου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία), υπήρχε στο παρελθόν, υπάρχει στο παρόν και θα υπάρχει και στο μέλλον, αφού είναι γεωφυσικό φαινόμενο που επηρεάζεται από πολλά και δυσκόλως προσδιοριζόμενα ανθρωπογενή και φυσικά αίτια. Το φαινόμενο του

εγκλωβισμού της ανακλώμενης από τη γη ακτινοβολίας, γνωστό και ως «φαινόμενο του θερμοκηπίου» (greenhouse effect), είναι πολύ ουσιαστικό διότι διατηρεί τη μέση θερμοκρασία στον πλανήτη σε κατάλληλα όρια, τα οποία είναι απαραίτητα για την ύπαρξη, τη διατήρηση και την εξέλιξη της ζωής.

Η επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας στη γεωργία θεωρείται εξίσου σημαντικός παράγοντας με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂, αφού καθορίζει τη γεωγραφική κατανομή και επηρεάζει τη βιολογία και την οικολογία των καλλιεργειών, των ζιζανίων, των εντόμων, των φυτοπαθογόνων και των άλλων οργανισμών. Γενικώς, η μελλοντική άνοδος της θερμοκρασίας σε λιγότερο θερμές ή σχετικώς ψυχρότερες περιοχές (π.χ. χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης), αναμένεται να ευνοήσει την απόδοση των C₃ καλλιεργειών, ενώ στις θερμότερες περιοχές, όπου ήδη καλλιεργούνται C₄ και C₃ είδη, η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να ευνοήσει περισσότερο την απόδοση των C₄ καλλιεργειών σε σύγκριση με την απόδοση των C₃ ειδών.



Σχήμα 3. Επίδραση της αύξησης του CO₂ στον ανταγωνισμό μεταξύ σόγιας (C₃) και λουβουδιάς (C₃) ή βλίτου (C₄) (Ziska, 2000), καθώς και μεταξύ σόργου (C₄) και αγριοβαμβακιάς (C₃) ή βλίτου (C₄) (Ziska κ.ά., 2003).

Η άνοδος της θερμοκρασίας, ανάλογα με την εποχή, την ένταση, τη διάρκεια και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών κατά την έκθεση, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου όλων των φυτών, την εαρινοποίηση ορισμένων καλλιεργειών (μείωση διάρκειας-συνόλου χαμηλών θερμοκρασιών που είναι απαραίτητες για την άνθισή τους), τον συγχρονισμό μεταξύ ανθοφορίας και εμφάνισης επικονιαστών, την παραγωγή σπόρων και καρπών, καθώς και τον χρόνο συγκομιδής. Επίσης, μέσω της επίδρασής της στην αύξηση του ρυθμού διαπνοής, η άνοδος της θερμοκρασίας μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού, την παραγωγή βιομάζας και την απόδοση διαφόρων καλλιεργειών, αλλά και μέσω της επίδρασης στην αύξηση της αναπνοής (μεταβολισμός βιομορίων) μπορεί επίσης να προκαλέσει παρόμοιες αρνητικές επιδράσεις.

Η ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και του CO₂ αναμένεται να επηρεάσει διαφορετικά την αύξηση των καλλιεργειών από ό,τι η αύξηση μόνο της θερμοκρασίας ή του CO₂. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα δεδομένα των Qiao κ.ά. (2019), τα οποία δείχνουν ότι η συνδυασμένη επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 2,1 °C και της αύξησης του CO₂ από 400 σε 700 ppm αύξησε την απόδοση της σόγιας (C₃ είδος) σε σύγκριση με την επίδραση μόνο της ανόδου της θερμοκρασίας ή του μάρτυρα (ανάπτυξη φυτών υπό τις τρέχουσες συνθήκες θερμοκρασίας και CO₂), ενώ, στον αραβόσιτο, η άνοδος μόνο της θερμοκρασίας αύξησε την απόδοση κατά παρόμοιο τρόπο με τη συνδυασμένη επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας και της αύξησης του CO₂. Αντιθέτως, στη C₃ καλλιέργεια του ρυζιού, η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ κατά 200 ppm αύξησε την απόδοση σε σύγκριση με τον μάρτυρα, την άνοδο μόνο της θερμοκρασίας κατά 1°C και τη

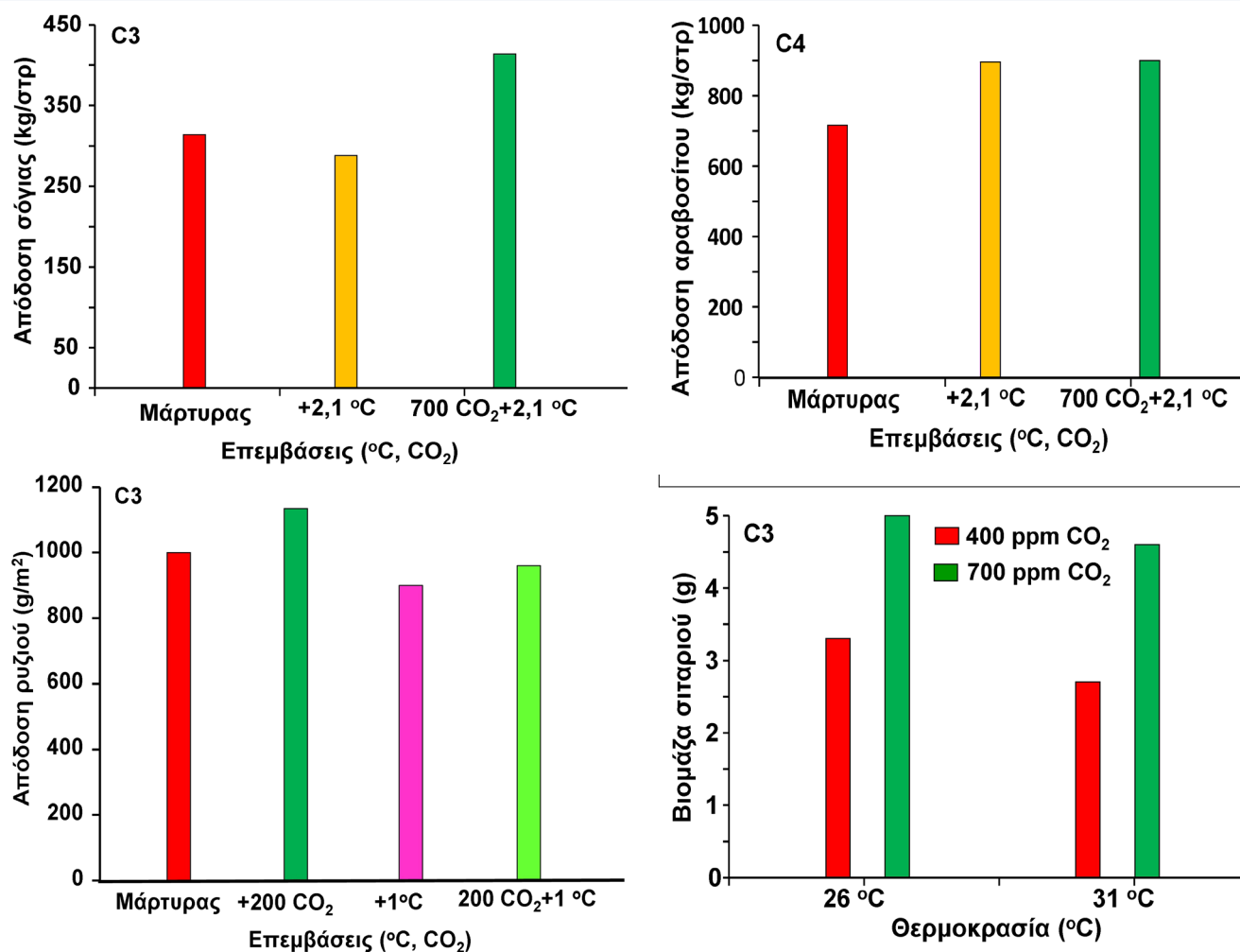


συνδυασμένη επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας και της αύξησης του CO₂ (Σχήμα 4). Τέλος, στη C₃ καλλιέργεια του σιταριού, η αύξηση του CO₂ σε 700 ppm αύξησε τη βιομάζα σε σύγκριση με τη συγκέντρωση των 400 ppm και στα δύο επίπεδα θερμοκρασίας των 26°C και 31°C. Τα δεδομένα αυτά ενισχύουν την άποψη ότι η αύξηση του CO₂ είναι σημαντικότερος παράγοντας για τις C₃ καλλιέργειες σόγια, ρύζι και σιτάρι από ό,τι η άνοδος της θερμοκρασίας, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τον C₄ αραβόσιτο.

Η ταυτόχρονη αύξηση CO₂ και θερμοκρασίας, σύμφωνα με τους Ortiz κ.ά. (2008), αναμένεται να αυξήσει την απόδοση των χειμερινών σιτηρών (C₃ είδη) σε περιοχές του Βορειοδυτικού Μεξικού με χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ μπορεί να τη μειώσει σε ζώνες όπου ήδη επικρατούν βέλτιστες θερμοκρασίες. Επίσης, στις πεδιάδες της Βόρειας Αμερικής (χαμηλές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις), η απόδοση του σιταριού (C₃ είδος) αναμένεται να αυξηθεί κατά 25% το 2030 και κατά 36% το 2095, αλλά και στη νότια Σουηδία, όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις, η απόδο-

ση αναμένεται να αυξηθεί κατά 10-20% το 2050. Αντιθέτως, στη νότια Αυστραλία, η απόδοση του σιταριού θα μειωθεί κατά 13,5-32% εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της ξηρασίας. Όσον αφορά την καλλιέργεια του αραβοσίτου (C₄ είδος), η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί κατά 17% το 2095 στη ζώνη αραβοσίτου των ΗΠΑ (Δυτική Ιντιάνα, Ιλλινόις, Αϊόβα, Μιζούρι, ανατολική Νεμπράσκα και ανατολικό Κάνσας), ενώ αναμένεται να μειωθεί κατά 9 και 6% στις πεδιάδες της Βόρειας και Νότιας Αμερικής, αντιστοίχως. Τέλος, η ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ από 400 σε 950 ppm και η άνοδος της θερμοκρασίας από 25 °C σε 30 °C βελτίωσε την ποιότητα των καρπών δύο ποικιλιών φράουλας μέσω της αύξησης της περιεκτικότητάς τους σε πολυφαινόλες, φλαβονοειδή, ανθοκυανίνες και συνολικά αντιοξειδωτικά, σε σύγκριση με εκείνη των καρπών των φυτών που καλλιεργούνταν υπό τις τρέχουσες συνθήκες CO₂ και θερμοκρασίας.

Η ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και του CO₂, εκτός από τις καλλιέργειες, μπορεί να επηρεάσει διαφορετικά την αύξηση και την ανάπτυξη των ζιζανίων.



Σχήμα 4. Επίδραση της αύξησης θερμοκρασίας (°C) και CO₂ στην απόδοση σόγιας (C₃) και αραβοσίτου (C₄) (Qiao κ.ά., 2019), στην απόδοση ρυζιού (C₃) (Li κ.ά., 2017) και στη βιομάζα σιταριού (C₃) (Jayawardena κ.ά., 2020).

Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των Jabran και Dogan (2018), οι οποίοι βρήκαν ότι το νωπό βάρος και η φυλλική επιφάνεια των C₃ ειδών ζιζανίων βρόμου, αγριοκρίθου και αγριομάρουλου αποκρίθηκαν διαφορετικά στην άνοδο της θερμοκρασίας από ό,τι στην αύξηση του CO₂, ή στο συνδυασμό τους. Πάντως η επίδραση του CO₂ ήταν μεγαλύτερη από εκείνη της θερμοκρασίας. Παρόμοιες αποκρίσεις φυτών στη συνδυασμένη αύξηση CO₂ και θερμοκρασίας διαπιστώθηκαν και σε πειράματα ανταγωνισμού μεταξύ της C₃ καλλιέργειας του ρυζιού και του C₄ ζιζανίου μouxρίτσας, όπου η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ ευνόησε την καλλιέργεια του ρυζιού σε θερμοκρασίες ημέρας/νύχτας 27/21 °C, αντιστοίχως, ενώ το αντίθετο συνέβη (ευνοήθηκε περισσότερο το ζιζάνιο μouxρίτσα) με την αύξηση των θερμοκρασιών ημέρας/νύχτας σε 37/29 °C. Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και του CO₂ ευνοεί περισσότερο τα C₃ και C₄ είδη ζιζανίων από ό,τι τις αντίστοιχες C₃ και C₄ καλλιέργειες, διότι τα ζιζάνια διαθέτουν μεγαλύτερη ικανότητα προ-

σαρμογής, μεγαλύτερη γονιδιακή παραλλακτικότητα, μεγαλύτερη φαινοτυπική πλαστικότητα (ικανότητα απόκρισης των φυτών σε περιβαλλοντικές διακυμάνσεις) και περισσότερους μηχανισμούς ομοίωσης (ικανότητας των φυτών να διατηρούν σταθερούς τους βιολογικούς μηχανισμούς παρά τις μεταβολές του περιβάλλοντος) έναντι των καλλιεργειών.

4. Επίδραση της μεταβολής του κλίματος στη θρέψη φυτών

Η θρέψη καλλιεργειών και ζιζανίων αναμένεται να επηρεαστεί μέσω της επίδρασης της μεταβολής του κλίματος στη βιολογία (φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες, όπως φωτοσύνθεση, διαπνοή, αναπνοή, μεταβολισμός) των φυτών αλλά και στη βιολογική διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Ειδικότερα, η διαθεσιμότητα και η, ως εκ τούτου, πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά μπορεί να επηρεαστεί από τον τύπο, τη δόση, τον χρόνο και τον τρόπο εφαρμογής λιπασμάτων, τη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος, τον τύπο, τη μηχανική σύσταση, το pH και

την οργανική ουσία του εδάφους, την προσθήκη εδαφοβελτιωτικών, τη μικροβιακή δραστηριότητα, γνωστή και ως “επιφυτικό και ενδοφυτικό μικροβίωμα (epiphytic and endophytic microbiome)”, την πανίδα του εδάφους και τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές. Όλα αυτά δείχνουν ότι η αποτελεσματική αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά είναι δύσκολος στόχος προσέγγισης, αφού επηρεάζεται από πολλαπλές και δυσερμήνευτες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των προαναφερθέντων παραγόντων. Αυτό όμως που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι η λίπανση με άζωτο, μαγνήσιο, σίδηρο και ψευδάργυρο, αφού, όπως προαναφέρθηκε, η περιεκτικότητα των περισσότερων προϊόντων σε πρωτεΐνες, νιτρικά, μαγνήσιο, σίδηρο και ψευδάργυρο μειώνεται όταν οι καλλιέργειες αναπτύσσονται υπό συνθήκες αύξησης CO₂. Σχετικώς με το άζωτο, το οποίο θεωρείται ως το σημαντικότερο θρεπτικό στοιχείο (ποιοτικά και ποσοτικά), η ορθή εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων είναι αναγκαία όχι μόνο για την αποτελεσματικότερη αξιοποίησή τους, αλλά και για τη μείωση των απωλειών αζώτου



Η ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΘΑ ΦΕΡΕΙ ΕΙΣΒΟΛΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ, ΕΝΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΥΚΗΤΩΝ ΣΕ ΨΥΧΡΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

λόγω έκπλυσης των νιτρικών (NO_3^-) ή και λόγω απονιτροποίησης τους σε μονοξείδιο του αζώτου (NO), υποξείδιο του αζώτου (N_2O) ή μοριακό άζωτο (N_2). Επίσης, η ορθή εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων είναι αναγκαία και για τα αμμωνιακά (NH_4^+), τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν από το έδαφος μέσω της μετατροπής τους σε αέριο αμμωνία (NH_3). Οι προαναφερθείσες απώλειες μπορούν να περιοριστούν μόνο μέσω του προσδιορισμού των κατάλληλων δόσεων εφαρμογής των αζωτούχων λιπασμάτων βάσει αναλύσεων του εδάφους και εκτιμήσεων της αξιοποίησης των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, αλλά και μέσω του ορθού χρόνου και τρόπου εφαρμογής τους ή και της χρήσης λιπασμάτων βραδείας ή ελεγχόμενης απελευθέρωσης. Αυτό όμως που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των απαιτήσεων των καλλιεργειών σε θρεπτικά στοιχεία (λιπάσματα) είναι και οι απαιτήσεις των ζιζανίων σε περίπτωση μη αποτελεσματικής αντιμετώπισής τους, διότι τα επιβιώσαντα ζιζάνια ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα φυτά για τα ίδια θρεπτικά στοιχεία και, μάλιστα, τα προσλαμβάνουν από το έδαφος με μεγαλύτερη ευκολία και σε μεγαλύτερες ποσότητες. Επομένως, η αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων είναι αναγκαία διότι, εκτός από την αποφυγή της αύξησης του κόστους παραγωγής από τη χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων λιπασμάτων, αυξάνει και την απόδοση των καλλιεργειών μέσω της εξάλειψης του ανταγωνισμού.

5. Επίδραση της μεταβολής του κλίματος στη φυτοπροστασία

Η συντελούμενη αύξηση του CO_2 και η συνεπαγόμενη άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, σε συνδυασμό με τη μεταβολή της έντασης και της διάρκειας της ηλιακής ακτινοβολίας, της



νέφωσης, της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας, της έντασης, της διάρκειας, της χωρικής και χρονικής κατανομής των βροχοπτώσεων, καθώς και της θερμοκρασίας και υγρασίας του εδάφους, αναμένεται να επηρεάσουν ποικιλοτρόπως την ευαισθησία των καλλιεργειών, την ικανότητα ανταγωνισμού των ζιζανίων, την ικανότητα προσβολής των εντόμων και των φυτοπαθογόνων (μυκήτων, βακτηρίων και ιών), καθώς και τη δράση και εκλεκτικότητα των φυτοπροστατευτικών προϊόντων.

Η αλλαγή του κλίματος αναμένεται να επηρεάσει τη δυνατότητα εισβολής-μετάτοπισης ορισμένων ειδών ζιζανίων σε ψυχρότερες περιοχές, την ανταγωνιστική τους ικανότητα έναντι των καλλιεργειών, τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, τους μηχανισμούς επιβίωσης (αναπαραγωγική ικανότητα, μακροβιότητα οργάνων αναπαραγωγής, λήθαργο, φύτρωμα, διασπορά), τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά, την ευαισθησία ή ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα, τη συχνότητα εμφάνισης, την αφθονία των ειδών (βιοποικιλότητα), και, τελικώς, τη διαχείρισή τους. Επίσης, αλλαγές θα παρατηρηθούν στον χρόνο έναρξης της δραστηριοποίησης των εντόμων, στη διάρκεια (μείωση) και στον συγχρονισμό του βιολογικού τους κύκλου με τα φυτά ξενιστές και τους φυσικούς εχθρούς, στη δυναμική πληθυσμών, στη δυνατότητα επιβίωσης κατά τον χειμώνα, στον αριθμό (αύξηση) γενεών, στην εισβολή-μετάτοπιση εντόμων σε άλλες περιοχές, στην αλλαγή της σύνθεσης των ειδών, καθώς και στην ευαισθησία ή ανθεκτικότητα σε εντομοκτόνα. Επιπρόσθετα, η προαναφερθείσα μείωση της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών των καλλιεργειών σε άζωτο (πρωτεΐνες, νιτρικά), λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης του CO_2 στην

ατμόσφαιρα, μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση τροφής (μεγαλύτερη προσβολή σε καλλιέργειες) από τα φυτοφάγα έντομα προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες τους σε άζωτο λόγω της χαμηλής συγκέντρωσής του στους ιστούς, αλλά μπορεί να αυξήσει και τη θνησιμότητά τους από φυσικούς εχθρούς λόγω του βραδύτερου ρυθμού ανάπτυξής τους. Τέλος, η μεταβολή του κλίματος μπορεί να επηρεάσει την επιβίωση, την ανάπτυξη και τη διάρκεια (μείωση) του βιολογικού κύκλου των φυτοπαθογόνων, την ικανότητα (αύξηση) προσβολής, τον ρυθμό (επιτάχυνση) εξέλιξης ανθεκτικών φυλών μυκήτων σε μυκητοκτόνα, την ευαισθησία των καλλιεργούμενων φυτών σε φυτοπαθογόνα λόγω μείωσης της έκφρασης γονιδίων κωδικοποίησης προϊόντων άμυνας, αλλά και την ανάπτυξη των ανταγωνιστικών μικροοργανισμών (επιφυτικό και ενδοφυτικό μικροβίωμα) των φυτοπαθογόνων.

Η δράση και η εκλεκτικότητα των φυτοπροστατευτικών προϊόντων αναμένεται να επηρεαστεί από τις άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των συνεχώς μεταβαλλόμενων παραγόντων του κλίματος (CO_2 , θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, νέφωση, άνεμος) στις διεργασίες απομάκρυνσής τους από το έδαφος (προσρόφηση στα κolloειδή του εδάφους, έκπλυση, απορροή-διάβρωση, εξάτμιση ή εξάχνωση, απορρόφηση από τα φυτά, φωτοχημική διάσπαση, χημική διάσπαση, μικροβιακή αποδόμηση) ή/και από τα φύλλα (εξάτμιση ή εξάχνωση, φωτοχημική διάσπαση). Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με την επαρκή υγρασία, μπορεί να επιταχύνει τη χημική διάσπαση και τη μικροβιακή αποδόμηση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων στο έδαφος, με αποτέλεσμα τη μείωση της



υπολειμματικής δράσης τους και της δυνατότητας ρύπανσης του περιβάλλοντος. Αντιθέτως, η αύξηση της πίεσης των καλλιεργειών από την παρουσία ζιζανίων, εντόμων και φυτοπαθογόνων εξαιτίας της αυξανόμενης διάρκειας της καλλιεργητικής περιόδου και των θερμότερων χειμώνων, αναμένεται να έχει ως συνέπεια την αύξηση της χρήσης φυτοπροστατευτικών προϊόντων και ως εκ τούτου την αύξηση ρύπανσης του περιβάλλοντος. Οι σημαντικότερες όμως επιδράσεις στη δράση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων μπορεί να προκληθούν από τις αλλαγές των μορφολογικών, φυσιολογικών, βιοχημικών και γενετικών χαρακτηριστικών των ζιζανίων, των εντόμων και των φυτοπαθογόνων. Ειδικότερα, ο αναμενόμενος ταχύτερος ρυθμός αύξησης και ανάπτυξης των ζιζανίων, των εντόμων και των φυτοπαθογόνων μπορεί να μειώσει το χρονικό διάστημα ευαισθησίας τους στην εφαρμογή μεταφytρωτικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, με αποτέλεσμα τη μείωση της δράσης τους λόγω μη έγκαιρης εφαρμογής. Επίσης, η δράση των διασυστηματικών ζιζανιοκτόνων αναμένεται να μειωθεί λόγω μειωμένης απορρόφησης και μετακίνησης ή και ταχύτερου μεταβολισμού εντός των ζιζανίων. Τέλος, ο ταχύτερος ρυθμός αύξησης των καλλιεργειών μπορεί να επιταχύνει τον ρυθμό μεταβολισμού και αραίωσης των φυτοπροστατευτικών προϊόντων εντός των φυτών και να μειώσει ως εκ τούτου τα υπολείμματά τους σε προϊόντα-τρόφιμα. Είναι προφανές από τα προαναφερθέντα ότι η εκτίμηση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στη φυτοπροστασία είναι εξαιρετικά δύσκολη και, ως εκ τούτου, εμπεριέχει μεγάλη αβεβαιότητα. Η διαπίστωση αυτή καθιστά αναγκαία την αύξηση του επιπέδου ετοιμότητας των ειδικών, τη βελτίωση παρακολούθησης και ταχύτητας απόκρισης στην εμφάνιση προβλημάτων, τη δημιουργία βάσης δεδομένων, την ανάπτυξη στρατηγικών μη χημικών ελέγχων, τον σχεδιασμό στοχευμένου ελέγχου εισβολικών ζιζανίων, εντόμων και φυτοπαθογόνων, καθώς και την αξιοποίηση εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας στη διαχείρισή τους.

6. Δράσεις μετριασμού της μεταβολής του κλίματος και προσαρμογής της γεωργίας

Οι προαναφερθείσες διαπιστώσεις, σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα και την αντιφατικότητα των εκτιμήσεων των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή λόγω της χρήσης διαφορετικών κλιματικών μοντέλων και κλιματικών σεναρίων, επιβάλλουν την ανάληψη δράσεων μετριασμού ή αναχαίτισης της συντελούμενης κλιματικής αλλαγής, καθώς και προσαρμογής

των κοινωνιών στις αναπόφευκτες περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις στη γεωργία και γενικότερα στον πλανήτη.

Οι δράσεις μετριασμού της συντελούμενης μεταβολής του κλίματος πρέπει να εστιάζονται στη μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ή στην αύξηση των δυνατοτήτων απορρόφησης, δέσμευσης και αποθήκευσής τους.

Οι κυριότερες γεωργικές δράσεις μετριασμού της κλιματικής αλλαγής είναι: 1) η αποτελεσματικότερη αξιοποίηση ορυκτών καυσίμων για γεωργικές εργασίες, μεταφορές, θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια, 2) η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, ενέργεια από βιομάζα και απόβλητα, συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ή μηχανικής και θερμικής ενέργειας), 3) η δέσμευση-απομάκρυνση CO₂ από την ατμόσφαιρα και αποθήκευση-ενσωμάτωση στο έδαφος, στα προϊόντα, στα φυτικά υπολείμματα και στους ωκεανούς, 4) η μείωση της κατεργασίας του εδάφους, 5) η βελτίωση των σκευασμάτων των λιπασμάτων και των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, 6) η ορθή χρήση των λιπασμάτων (ειδικότερα των αζωτούχων που αποτελούν πηγή N₂O) και των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, 7) η αμειψισπορά με καλλιέργειες ψυχανθών που δεσμεύουν άζωτο, 8) η ανακύκλωση φυτικών υπολειμμάτων ως υλικό εδαφοβελτίωσης και θρέψης φυτών, 9) η αποφυγή καύσης φυτικών υπολειμμάτων, 10) η κλωρή λίπανση και η χρήση οργανικών λιπασμάτων, 11) η αξιοποίηση κατάλληλα επεξεργασμένων αποβλήτων ως εδαφοβελτιωτικό, 12) η βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης κόπρου, 13) η μετατροπή κόπρου και φυτικών υπολειμμάτων σε βιοαέριο, 14) η βελτίωση της διατροφής των μηρυκαστικών ζώων με σκοπό τη μείωση εκπομπής μεθανίου (CH₄), 15) η αποφυγή αποψίλωσης δασών για γεωργική χρήση, 16) η δάσωση οριακών γεωργικών γαιών, 17) η αύξηση της καλλιέργειας φυτών που αφομοιώνουν μεγάλες ποσότητες CO₂ της ατμόσφαιρας και το αποθηκεύουν στο έδαφος υπό μορφή οργανικής ουσίας ή παραγόμενης βιομάζας για ζωτροφή και πηγή ενέργειας, 18) η καλλιέργεια ποικιλιών C₃ φυτών με μειωμένη φωτοαναπόληση και 19) η προστασία της βιοποικιλότητας.

Οι δράσεις προσαρμογής στις αναμενόμενες επιδράσεις της συντελούμενης μεταβολής του κλίματος στη γεωργία πρέπει να περιλαμβάνουν ενέργειες και παρεμβάσεις στα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα που αποσκοπούν στον περιορισμό του βαθμού διακινδύνευσης της ανθρωπότητας από την κλιματική αλ-

ΧΡΕΙΑΖΟΝΤΑΙ ΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ & ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

λαγή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της:

- 1) Βελτίωσης της ικανότητας προσαρμογής των οργανισμών στις επερχόμενες αντίξοες συνθήκες.
- 2) Βελτίωσης του επιπέδου ετοιμότητας της κοινωνίας.
- 3) Αύξησης της δυνατότητας άμβλυνσης/μείωσης/μετριασμού των αναπόφευκτων αρνητικών επιδράσεων στον άνθρωπο, στη γεωργία και γενικότερα στον πλανήτη.

- 4) Αξιοποίησης των ευεργετικών επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής.

Ορισμένες δράσεις, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην προσέγγιση των προαναφερθέντων στόχων, είναι οι παρακάτω:

- 1) Η δημιουργία ποικιλιών με: α) αντοχή/ανθεκτικότητα σε αβιοτικές (ξηρασία, πλημμύρα, καύσωνας, ψύχος, παγετός, υψηλή ένταση φωτός, αλατότητα, τοξικότητα ιχνοστοιχείων) και βιοτικές καταπονήσεις (έντομα, ακάρεα, νηματώδεις, μύκητες, βακτήρια, ιοί, ζιζάνια), β) αποτελεσματικότερη ικανότητα αξιοποίησης νερού και λιπασμάτων, και γ) μειωμένες απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες για εαρινοποίηση.
- 2) Η ανάπτυξη συστήματος έγκαιρων εποχικών ή/και ετήσιων προγνώσεων για ακραία καιρικά φαινόμενα (περιβαλλοντικούς κινδύνους) που διευκολύνει τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό των απωλειών της παραγωγικότητας των καλλιεργειών και της τρωτότητας της γεωργίας.
- 3) Η αύξηση του διαθέσιμου νερού μέσω της κατασκευής έργων άντλησης υπόγειων υδροφορέων, έργων συλλογής επιφανειακών υδάτων σε λεκάνες απορροής ή σε ταμειυτήρες νερού ή σε τεχνητές λίμνες, ώστε να είναι διαθέσιμο σε περιόδους ξηρασίας.
- 4) Η αποδοτικότερη χρήση του νερού άρδευσης μέσω της ανακατανομής



- των καλλιεργειών και της χρήσης υψηλής τεχνολογίας αρδευτικών συστημάτων, της κατασκευής σύγχρονων αρδευτικών δικτύων και της συντήρησης των έργων μεταφοράς και διανομής νερού.
- 5) Η βελτίωση της ικανότητας των εδαφών για συγκράτηση νερού και αποστράγγιση.
 - 6) Η βελτίωση του εξοπλισμού κατεργασίας εδάφους, σποράς και συγκομιδής, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης των καλλιεργητικών επεμβάσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα.
 - 7) Η χρήση σύγχρονου εξοπλισμού εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων (ελκυστήρες αυτόματης πλοήγησης με λιπασματοδιανομείς και ψεκαστικά μηχανήματα εφαρμογής μεταβλητής δόσης των δύο εισροών).
 - 8) Η εισροή κεφαλαίων για άσκηση επιχειρηματικής γεωργίας.
 - 9) Η αύξηση της κρατικής και ιδιωτικής χρηματοδότησης σε ερευνητικά προγράμματα προσαρμογής της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή και σε συμβουλευτικές υπηρεσίες.
 - 10) Η ενίσχυση της έρευνας για την κατανόηση των μηχανισμών συμπεριφοράς-απόκρισης καλλιεργειών, ζιζανίων, εντόμων και φυτοπαθογόνων σε συνθήκες έλλειψης νερού, αυξημένης θερμοκρασίας και αυξημένης συγκέντρωσης CO₂.
 - 11) Η διάδοση των πορισμάτων της έρευνας και της τεχνολογίας στους εκπαιδευτές, κοινωνικούς εταίρους, κέντρα λήψης αποφάσεων, επαγγελματίες του αγροτικού χώρου.
 - 12) Η συνεχής επιμόρφωση, εκπαίδευση και κατάρτιση του εξαρτώμενου πληθυσμού από τη γεωργία σε θέματα κλιματικής αλλαγής.
 - 13) Η οικονομική ενίσχυση για παραγωγή ποιοτικών προϊόντων με μειωμένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου
 - 14) Η εγκατάσταση νέων δενδρωδών και θαμνωδών ποικιλιών, οι οποίες θα είναι προσαρμοσμένες στο μεταβαλλόμενο κλίμα, στα εδάφη και στις γεωργικές πρακτικές κάθε περι.οχής.
 - 15) Η εφαρμογή προγραμμάτων αιεφόρου εντατικοποίησης της γεωργίας, τα οποία θα βασίζονται: α) στην καλλιέργεια ποικιλιών φυτών με υψηλό δείκτη παραγωγικότητας και αποτελεσματικότερη αξιοποίηση εισροών (νερού, λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών προϊόντων), β) στη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών (εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία, γνωστή και ως ψηφιακή γεωργία ή ευφυής γεωργία ή γεωργία ακριβείας),

- γ) στην εφαρμογή νέων γεωργικών πρακτικών διαχείρισης του εδάφους (μηδενική ή ελάχιστη ή μειωμένη κατεργασία, βελτίωση γονιμότητας, προστασία από διάβρωση και συμπίεση), δ) στην αξιοποίηση μη χημικών μέσων στη φυτοπροστασία, και ε) στη διεπιστημονική προσέγγιση σχεδιασμού, οργάνωσης και άσκησης της γεωργίας.
- 16) Η δημιουργία βάσης δεδομένων με τα πορίσματα της έρευνας σχετικά με τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία και τις δράσεις προσαρμογής σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.
 - 17) Η θεσμοθέτηση εθνικού συστήματος καταγραφής 1) φυτοπαθογόνων οργανισμών, εντόμων και ζιζανίων, 2) επιπέδων επάρκειας επιφανειακών υδάτων και υπόγειων υδροφορέων, 3) απειλούμενων ή υπό εξαφάνιση ειδών του φυτικού και ζωικού βασιλείου (βιοποικιλότητα), και 4) βαθμού υποβάθμισης βοσκοτόπων και ερημοποίησης των ελληνικών εδαφών.
 - 18) Η ανάπτυξη εύχρηστων και αξιόπιστων περιβαλλοντικών δεικτών καθώς και μεθοδολογικών εργαλείων ελέγχου της εφαρμογής των προαναφερθεισών δράσεων.

7. Συμπεράσματα

Η συντελούμενη μεταβολή του κλίματος είναι αδιαμφισβήτητο γεωφυσικό φαινόμενο που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες και από φυσικά αίτια, ενώ οι άμεσες, έμμεσες, θετικές και αρνητικές επιδράσεις της στον πλανήτη, και ειδικότερα στη γεωργία, είναι αναπόφευκτες. Η διαπίστωση αυτή καθιστά αναγκαία την απόκτηση γνώσεων για την εκτίμηση του μεγέθους και της έκτασης των συνεπαγόμενων επιπτώσεων στη γεωργία (φυτική παραγωγή) από την κλιματική αλλαγή και κυρίως για την ανάληψη των απαραίτητων δράσεων προσαρμογής και αντιμετώπισής τους. Ειδικότερα, απαιτούνται γνώσεις που σχετίζονται με την απόκριση (βιολογία και οικολογία) των διαφόρων ποικιλιών των καλλιεργειών, των ζιζανίων, των εντόμων και των φυτοπαθογόνων στη συνδυασμένη επίδραση:

- 1) Της μεταβολής του CO₂, της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας, των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, δρόσος, βροχοομίχλη, χαλάζι, χιόνι, πάχνη) και των ακραίων καιρικών φαινομένων της ξηρασίας, των πλημμυρών και του καύσωνα.
- 2) Της γονιμότητας του εδάφους.
- 3) Του γεωγραφικού αναγλύφου-μικροκλίματος της περιοχής.
- 4) Της λίπανσης, της άρδευσης και των

άλλων γεωργικών πρακτικών (π.χ. κατεργασία εδάφους, προετοιμασία σποροκλίνης, σπορά, συγκομιδή).

- 5) Των δυσκόλων να προσδιοριστούν και να ερμηνευτούν πολλαπλών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των προαναφερθέντων παραγόντων κλίματος, φυτού, εδάφους και γεωργικών πρακτικών.

Η αναμενόμενη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα έως και 700 ppm, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, θα ευνοήσει περισσότερο τη φωτοσύνθεση και κατ' επέκταση τη βιομάζα των C₃ καλλιεργειών (π.χ. σπάρη, κριθάρι, ρύζι, σόγια, όσπρια, ζαχαρότευτλα, βαμβάκι, καπνός, ελαιοκράμβη, ηλίανθος, πατάτα, τομάτα, άλλα κηπευτικά, θαμνώδη και δενδρώδη οπωροφόρα) και των C₃ ζιζανίων από ό,τι των αντίστοιχων C₄ καλλιεργειών (π.χ. αραβόσιτος, ζαχαρόκαλαμο, σόργο). Αντιθέτως, η άνοδος της θερμοκρασίας έως και 2°C αναμένεται να ευνοήσει τις αποδόσεις των περισσότερων καλλιεργειών σε λιγότερο θερμές ή σχετικώς ψυχρότερες περιοχές (υπό την προϋπόθεση επαρκών βροχοπτώσεων ή δυνατότητας άρδευσης), ενώ η ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και του CO₂ θα αυξήσει περισσότερο την απόδοση των C₃ καλλιεργειών από ό,τι η αύξηση μόνο της θερμοκρασίας (ευνοεί περισσότερο τα C₄ είδη). Η φυτοπροστασία μπορεί να επηρεαστεί μέσω της επίδρασης της αλλαγής του κλίματος στην απόκριση των καλλιεργειών έναντι των ζιζανίων, των εντόμων και των φυτοπαθογόνων, αλλά και στη δράση και εκλεκτικότητα των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, ενώ η θρέψη καλλιεργειών και ζιζανίων θα επηρεαστεί μέσω της επίδρασης της μεταβολής του κλίματος στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και στην ικανότητα αξιοποίησής τους από τα φυτά.

Τα όσα προαναφέρθηκαν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η επακριβής εκτίμηση των μελλοντικών επιπτώσεων στη γεωργία από την κλιματική αλλαγή εμπεριέχει μεγάλη αβεβαιότητα, διότι τα χρησιμοποιούμενα κλιματικά μοντέλα για την εκτίμηση βασίζονται σε εικαζόμενο εύρος μελλοντικής μεταβολής CO₂ και θερμοκρασίας που μπορεί να μην επαληθευθεί, αλλά και δεν λαμβάνουν υπόψη ότι η απόκριση των φυτών και των άλλων οργανισμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από δυσκόλως να προβλεφθούν και να προσδιοριστούν πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων παραγόντων του κλίματος, των φυτών, του εδάφους και των γεωργικών πρακτικών. Η διαπίστωση αυτή καθιστά αναγκαία την ανάληψη δράσεων μετριασμού ή αναχαίτισης της συντελούμενης μεταβολής του κλίματος και προσαρμογής στις αναπόφευ-



ΚΤΕΣ επιπτώσεις στη γεωργία, αλλά και δράσεις αξιοποίησης των ευεργετικών επιδράσεων που είναι εξίσου απαραίτητες, διότι μπορούν να βελτιώσουν τη δυνατότητα της γεωργίας για κάλυψη των αναγκών σε τρόφιμα και πρώτες ύλες (επισιτιστική ασφάλεια) του μελλοντικού αυξανόμενου πληθυσμού.

Η προσέγγιση των προαναφερθέντων στόχων της γεωργίας καθιστά απολύτως αναγκαία την χάραξη αγροτικής πολιτικής στην εφαρμογή μέτρων μετριασμού των ανθρωπογενών-γεωργικών αιτίων της κλιματικής αλλαγής αλλά και δράσεων προσαρμογής στις αναπόφευκτες επιδράσεις. Αυτό όμως δεν είναι εύκολο, διότι, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή εμπειρία, η υιοθέτηση από τους γεωργούς νέων γεωργικών πρακτικών και κυρίως φιλικότερων προς το περιβάλλον δεν ήταν η αναμενόμενη ακόμη και μετά από χορήγηση οικονομικών ενισχύσεων-επιδότησεων. Αυτό επιβεβαιώνεται από την περιορισμένη επιτυχία εφαρμογής επιδοτούμενων προγραμμάτων της ΕΕ για άσκηση “ελκυστικών” σε τίτλους μορφών γεωργίας, όπως αειφόρος γεωργία, βιώσιμη γεωργία, πράσινη γεωργία, βιολογική ή οργανική γεωργία, ολοκληρωμένη γεωργία, ολοκληρωμένη διαχείριση φυτικής παραγωγής ή ολοκληρωμένη παραγωγή, καθώς και δράσεων όπως πολλαπλή συμμόρφωση ή εφαρμογή αρ-

χών ορθής γεωργικής πρακτικής ή χρήσης καινοτόμων τεχνολογιών στη γεωργία ακριβείας ή στην ψηφιακή γεωργία ή στη γεωργία της προηγμένης τεχνολογίας ή στη γεωργία της τεχνητής νοημοσύνης. Βέβαια, η μειωμένη επιτυχία εφαρμογής μέτρων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της γεωργίας δεν περιορίζεται μόνο στην Ευρώπη αλλά αποτελεί παγκόσμιο φαινόμενο, το οποίο οφείλεται κυρίως στην αδυναμία ελέγχου των επιδράσεων των γεωργικών δραστηριοτήτων στο κλίμα εξαιτίας της μη ύπαρξης ευκόλως προσδιοριζόμενων παραμέτρων και δεικτών ποσοτικοποίησης των αιτίων που μεταβάλλουν το κλίμα. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2016), λαμβάνοντας υπόψη τις διαπιστώσεις αυτές, προτείνει, για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, τον σχεδιασμό κατάλληλης στρατηγικής που θα περιλαμβάνει: 1) διεπιστημονική έρευνα για την πληρέστερη κατανόηση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και κυρίως των αναπόφευκτων επιπτώσεων ανά είδος, τομέα και δραστηριότητα, 2) αντικειμενική και πλήρη ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων φορέων της παραγωγής, της οικονομίας και γενικότερα της κοινωνίας, 3) μακρόχρονη και στενή συνεργασία μεταξύ φορέων και κρατών, και κυρίως 4) συνεχή παρακολούθηση της εφαρμογής της στρατηγικής μέσω

ειδικού μηχανισμού επιστημονικής υποστήριξης εθνικών, περιφερειακών και τοπικών προσαρμογών, αλλά και χρήσης κατάλληλων περιβαλλοντικών δεικτών και μεθοδολογικών εργαλείων ποσοτικοποίησης των αιτίων πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής.

Επιπρόσθετα, για την προσαρμογή της χώρας στην κλιματική αλλαγή, προτείνει ως κατευθυντήριες γραμμές:

- 1) Τη συμβατότητα στις στρατηγικές και προτεραιότητες της γενικότερης περιβαλλοντικής πολιτικής.
- 2) Την επιστημονική ορθότητα (τεκμηρίωση) και πληρότητα μέτρων και δράσεων.
- 3) Τη συμμετοχή και διαβούλευση όλων των εμπλεκόμενων (διοίκηση, επιστημονική κοινότητα, παραγωγικοί φορείς, κοινωνία πολιτών),
- 4) Την κοινωνική αποδοχή.
- 5) Τον σχεδιασμό που τεκμηριώνει αναπτυξιακές προοπτικές.

Ευχαριστώ τους καθηγητές Πανεπιστημίου κ. Ανδρέα Καραμάνο (ομότιμος), κ. Σπύρο Κουτρούμπα και κ. Δημήτριο Μπουράνη για τη συμβολή τους στη βελτίωση του άρθρου.

Η σχετική βιβλιογραφία βρίσκεται στη διεύθυνση: bibliography.agrotypos.gr έτος 2021 τεύχος 05. ■

terpeki®

για αφίδες και λύγκο* στο βαμβάκι

K&NE
EARTH MATTERS

Καλλιεργούμε αξία
Δημιουργούμε φυτοπροστασία

K&N ΕΥΘΥΜΙΑΔΗΣ Μ. ΑΒΕΕ ΒΙΛΙΤΕ Θ ΣΙΝΔΟΣ Τ.Θ. 48, 570 22 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Τηλ.: 2310 568656, Fax: 2310 798423
ΥΠΟΚ/ΜΑ ΑΘΗΝΩΝ: Το κλπ. οδού Ολυμπιακού Σκασσιγέριου, Τ.Θ. 13, 190 03 Μαρόνοπουλο Αττικής, Τηλ.: 22990 63830, Fax: 22990 63346
E-mail: info@efthymiadis.gr

ISK
Iskhara Company Kabha Ltd

K&N Efthymiadis
www.efthymiadis.gr

*ΚΗΕ (Χρήση Πιστοσίου Σημείωσης): Δεν έχει τεκμηριωθεί η αποτελεσματικότητα στο λόγο από τη χρήση του σκευάσματος.
Αρ. Άδειας διανομής στην Αγορά (ΑΑΔΑ): 14511/29-05-2015

ΠΡΟΟΡΙΖΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΓΙΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ ΧΡΗΣΤΕΣ
Το φυτοπροστατευτικό προϊόντα να χρησιμοποιούνται με σφράγισ-
τό χρόνο. Να διαβάσετε πάντα την ετικέτα και τη πληροφορία που είναι
με το προϊόν πριν από τη χρήση, καθώς και τις προειδοποιητικές
φράσεις και σύμβολα.