

## Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ CO<sub>2</sub> ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑ

X. Ευλογιάννης, B. Dichio, G. Montanaro, G. Celano

Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università degli Studi della Basilicata – Viale dell'Ateneo Lucano, 10 – 85100 Potenza (Italy)

### Περίληψη

Το CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον αυξάνει περίπου κατά 1,5 – 2,0 ppm ανά έτος. Στα τελευταία 40 χρόνια από 330 ppm έφτασε στα σημερινά 380 ppm. Σε αυτή την αύξηση ο γεωργικός τομέας συνέβαλλε κατά 20-25 % περίπου ενώ σήμερα συμβάλλει με 8-10 %. Το αρνητικό ισοζύγιο του άνθρακα στις δενδροκομικές εκμεταλλεύσεις οφείλεται βασικά στην έντονη μηχανοποίηση (συνεχής καλλιέργεια του εδάφους), στις χημικές λιπάνσεις και στη μη χρησιμοποίηση των οργανικών λιπασμάτων (κοπριά, κομπόστας, κλπ). Η οργανική ουσία στα καλλιεργήσιμα εδάφη κυμαίνεται μεταξύ 0,8-1,3%, παραμένει δηλαδή στο έδαφος μόνο το μέρος της οργανικής ουσίας που δεν χρησιμοποιείται για τη συντήρηση και τον πολλαπλασιασμό της μικροβιολογικής βιομάζας του εδάφους. Πολλά από τα καλλιεργούμενα εδάφη θεωρούνται νεκρά από μικροβιολογικής άποψης εξ αιτίας του χαμηλού ποσοστού της οργανικής ουσίας, με σοβαρές συνέπειες όχι μόνο όσον αφορά τη σχέση εδάφους-δένδρου αλλά και από υδρολογικής πλευράς (ικανότητας απορρόφησης και αποθήκευσης του νερού των βροχοπτώσεων). Το ερώτημα που τίθεται είναι αν είναι δυνατόν με μια σωστή διαχείριση των πόρων στη δενδροκομία να χρησιμοποιήσουμε το έδαφος για την αποθήκευση μέρους του άνθρακα που απελευθερώνεται στο περιβάλλον.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα πολυετών πειραματικών εργασιών όπου γίνεται σύγκριση μεταξύ δύο συστημάτων 1) Συνεχής καλλιέργεια εδάφους, μόνο χημικές λιπάνσεις και απομάκρυνση των κλαδεμάτων από το κτήμα. 2) Οργανική λίπανση (κομπόστα) με ελάχιστες επεμβάσεις με χημικό άζωτο (υδρολίπανση), η μη καλλιέργεια του εδάφους και καταστροφή των κλαδεμάτων μέσα στο κτήμα. Έγιναν μετρήσεις της συγκέντρωσης του άνθρακα στα δυο συστήματα και της απώλειας διαμέσου της διαπνοής (αναπνοή των ριζών και της μικροβιολογικής βιομάζας). Από τα αποτελέσματα τεσσάρων χρόνων προκύπτει πως ότι το πρώτο σύστημα συνεχίζει να παρουσιάζει ένα ισοζύγιο του άνθρακα αρνητικό (ελευθερώνει στην ατμόσφαιρα CO<sub>2</sub>) ενώ το δεύτερο σύστημα παρουσιάζει ένα ισοζύγιο θετικό (15 τόνους CO<sub>2</sub> ανά εκτάριο το χρόνο που αποθηκεύεται στο έδαφος υπό μορφή άνθρακα).

### Εισαγωγή

Τα τελευταία 50 χρόνια η παραγωγή ανά εκτάριο στη δενδροκομία διπλασιάστηκε περίπου, κυρίως λόγω της βελτίωσης στις καλλιεργητικές φροντίδες (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία, μηχανοποίηση, κλπ) και τη γενετική βελτίωση. Σήμερα είναι πια φανερό πως το αποτέλεσμα αυτό επιτεύχθηκε σε βάρος του οικοσυστήματος με απώλεια της γονιμότητας του εδάφους από χημικής και μικροβιολογικής πλευράς, ρύπανση του εδάφους, της ατμόσφαιρας, των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, απώλειας γενετικού υλικού, κλπ. (Barton and Farmer, 1997; Sherwood and Uphoff, 2000; Buck *et al.*, 2004). Η αειφόρος διαχείριση των πόρων στη δενδροκομία είναι αναγκαία προϋπόθεση για παραγωγή υψηλής ποιότητας προϊόντων, για την προστασία του περιβάλλοντος, οικονομία νερού και αναπλήρωσης της γονιμότητας του εδάφους. Το υγιές και γόνιμο έδαφος είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, για την καλύτερευση της αντοχής των δένδρων σε ορισμένα

βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις, στις καλύτερες σχέσεις μεταξύ ριζών - εδάφους - δένδρων - ατμόσφαιρας (Kirchmann and Thorvaldsson, 2000). Το καλλιεργήσιμο έδαφος από αποθήκη, έγινε πηγή εκπομπής στην ατμόσφαιρα του CO<sub>2</sub> και συνέβαλε, τα τελευταία 50 χρόνια, με ποσοστό της τάξης του 20-25 % περίπου της ολικής αύξησης, ενώ σήμερα συμβάλει με ποσοστό 8-10 %.

Το πρόβλημα της συνεχούς αύξησης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα είναι πολύ σοβαρό και ο γεωργικός τομέας έχει την υποχρέωση να συμβάλλει στην εξεύρεση μελλοντικών λύσεων. Το 1957 διοχετεύονταν στην ατμόσφαιρα περίπου 2 δις. τόνοι CO<sub>2</sub> το χρόνο ενώ σήμερα φθάσαμε τα 8 δις, με τάση τη συνεχή αύξηση ειδικά από χώρες (Κίνα και Ινδία), που μέχρι σήμερα οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα ανά άτομο είναι ελάχιστες (περίπου 2 τόνους) σε σχέση με τους 11 τόνους ανά άτομο της Ευρώπης και τους 20 τόνους των ΗΠΑ. Η Ιταλία εκπέμπει ανά έτος 581 εκατ. τόνους CO<sub>2</sub> εκ των οποίων το 9,4% περίπου από τον γεωργικό τομέα (Βιομηχανία το 50,6%, Μεταφορές, κατοικίες κλπ. 40,0%). Υπόγραψε το πρωτόκολλο του Κιότο που προβλέπει μέσα στο 2012 εκπομπές της τάξης των 486 εκατ. τόνων. Στον υπολογισμό του ισοζυγίου του CO<sub>2</sub> της Ιταλίας δεν ελήφθησαν υπόψη τα γεωργικά συστήματα λόγω έλλειψης στοιχείων αλλά τα δυο τελευταία χρόνια ανελήφθησαν πρωτοβουλίες για να δοθούν κίνητρα στους γεωργούς για την αποθήκευση του ατμοσφαιρικού άνθρακα στο έδαφος διαμέσου της αειφορικής διαχείρισης των πόρων.

### Υλικά και Μέθοδοι

Τα πειράματα έγιναν στη Νότιο Ιταλία με στόχο τη σύγκριση δύο συστημάτων (αειφόρο και συμβατικό) σε διαφορετικά δενδροκομικά είδη (νεκταρίνι, βιομηχανικό ροδάκινο, βερίκοκο, ακτινίδιο και ελιά). Στο ίδιο κτήμα (αναφέρονται μόνο τα πειράματα του νεκταρινιού) σε ένα εκτάριο η διαχείριση (αειφόρος) έγινε υπό την επίβλεψη της ομάδας του πανεπιστημίου της Basilicata Ιταλίας ενώ στο άλλο εκτάριο η διαχείριση (συμβατική) έγινε από τον ιδιοκτήτη του κτήματος που βασικά αντιπροσωπεύει την τεχνική που χρησιμοποιείται από το μεγαλύτερο μέρος των αγροτών της περιοχής. Τα διαφορετικά συστήματα διαχείρισης δίδονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Συστήματα διαχείρισης καλλιέργειας που εφαρμόστηκαν.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από χαμηλές βροχοπτώσεις (500-530 mm) το χρόνο, με υψηλό ετήσιο υδατικό έλλειμμα (850 mm) και με χαμηλή οργανική ουσία (0,8-1,2%), περίπου στο όριο της ερημοποίησης των εδαφών από μικροβιολογικής άποψης.

### Αποτελέσματα - Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία αναφέρονται τα αποτελέσματα τεσσάρων ετών της διαφορετικής διαχείρισης στην καλλιέργεια της νεκταρινιάς (Supercrimson/GF677), ηλικίας 12 ετών με πυκνότητα φύτευσης 500 δένδρα ανά εκτάριο. Η μη καλλιέργεια του εδάφους επέτρεψε την παραγωγή τριών (3) τόνων ανά εκτάριο ξηράς ουσίας, που έμεινε στο κτήμα (Xiloyannis and Godini, 2005), για την παραγωγή της οποίας απαιτήθηκαν περίπου 6 τόνοι ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>, που τα φυτά δια μέσου της φωτοσύνθεσης απορροφήσανε από την ατμόσφαιρα. Η καταστροφή μέσα στο κτήμα των κλαδεμάτων επέτρεψε την ανακύκλωση 3 τόνων περίπου ξηράς ουσίας και όλων των περιεχομένων σε αυτά θρεπτικών στοιχείων. Η ξηρά ουσία που περιεχόταν στα κλαδέματα αντιστοιχεί σε 6 τόνους ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> που τα δένδρα χρειάστηκαν για τη φωτοσύνθεση.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της κομπόστας (% Ξ.Ο.).

Υγρασία	24,8%
pH	7,98
Ολικό Άζωτο	1,52%
Οργανικό άνθρακα	33,8%
Οργανική ουσία	58,27%
Humus	10,4
C/N	22,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,68
K <sub>2</sub> O	1,4

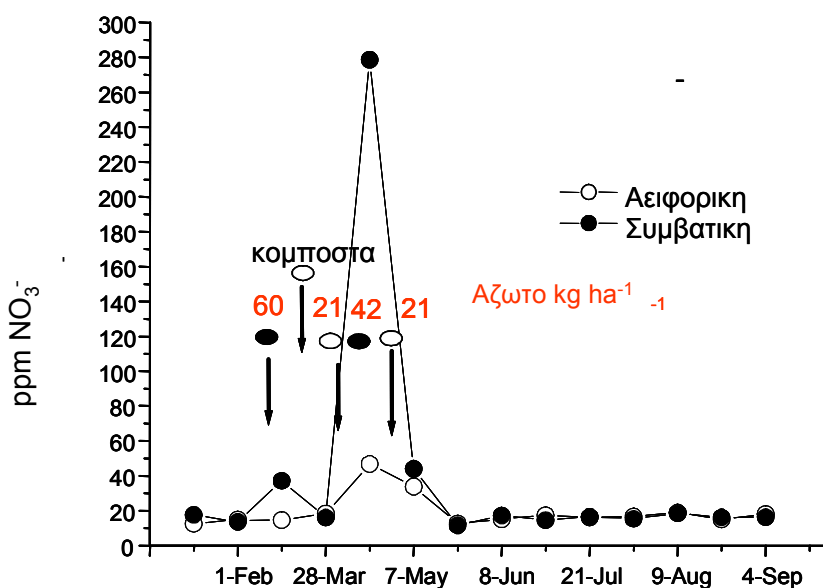
Η εφαρμογή 15 τόνων κομπόστας ανά εκτάριο (Πίν. 1) το χρόνο κατά μήκος των γραμμών των δένδρων, όπου το έδαφος αρδευόταν με τη στάγδην άρδευση, επέτρεψε να μεταφερθούν στο κτήμα όχι μόνο τα θρεπτικά στοιχεία που περιείχε η κομπόστα, αναγκαία για το δένδρο, αλλά και άνθρακα που αντιστοιχεί σε 15 τόνους CO<sub>2</sub>. Υπολογίζοντας τα μικροστοιχεία που περιείχε η κομπόστα και το κόστος (8 € ανά τόνο) το κόστος της κάθε μονάδας θρεπτικού στοιχείου αντιστοιχούσε σε 0,19 € σε σχέση με 0,57 € των χημικών λιπασμάτων. Λαμβάνοντας υπόψη τα θρεπτικά στοιχεία που κάθε έτος το δένδρο απορροφά από το έδαφος και την κατανομή τους στα διάφορα όργανα, υπολογίστηκαν στα δύο συστήματα διαχείρισης οι ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονταν και εισέρχονταν στο κτήμα (νερό άρδευσης, λιπάνσεις, κομπόστα κλπ). Για τον υπολογισμό των λιπασμάτων στην αειφόρο διαχείριση ελήφθησαν υπόψη (για όλα τα θρεπτικά στοιχεία εκτός του αζώτου) οι ανάγκες των δένδρων και το ισοζύγιο (εξερχόμενα – εισερχόμενα – ανακύκλωση) (Πίν. 2). Για το άζωτο επειδή ήταν αναγκαίο να γνωρίζουμε τις ποσότητες νιτρικού αζώτου στο έδαφος (εξαρτάται από τις ποσότητες του οργανικού αζώτου -φύλλων, κλαδεμάτων, χόρτων και κομπόστας - που μετατρέπεται σε νιτρικό), γίνανε μετρήσεις, κάθε 15 ημέρες, και υπολογίστηκαν οι ποσότητες του νιτρικού αζώτου στα πρώτα 40 cm του εδάφους με τη μέθοδο του NITRACHEK. Καθορίστηκε ένα ελάχιστο όριο περιεκτικότητας (του αρδευόμενου εδάφους και σε βάθος 40cm) αζώτου σε νιτρική μορφή (10 ppm) για τις επεμβάσεις αζώτου με την υδρολίπανση. Η συμβατική διαχείριση των λιπάνσεων έγινε σε βάση της εμπειρίας του ιδιοκτήτη του κτήματος και που αντιπροσωπεύει το τρόπο διαχείρισης στην περιοχή. Η αειφόρος διαχείριση μας επέτρεψε να ελαττώσουμε τη εισροή λιπασμάτων να συγκρατήσουμε τη βλάστηση των δένδρων και να κρατήσουμε μια σωστή ισορροπία μεταξύ βλάστησης και παραγωγής. Η προσθήκη του αζώτου με την

υδρολίπανση έγινε στην αρχή της βλαστικής περιόδου όταν η μεταλλοποίηση του οργανικού αζώτου είναι ακόμα χαμηλή (χαμηλές θερμοκρασίες) και όταν ο ανταγωνισμός μεταξύ δένδρων και βλάστησης στη απορρόφηση του αζώτου ήταν πιο ευνοϊκός για την βλάστηση και οι ποσότητες του νιτρικού αζώτου στο έδαφος ήταν κάτω από το όριο των 10 ppm (Σχ. 2).

Πίνακας 2. Ποσότητες ορισμένων θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα όργανα των δένδρων νεκταρινιάς (Supercrimson/GF677 26 τόνους ανα εκτάριο).

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Καρπός	30,5	15,3	50,1	1,5	4,3
Κλαδέματα	19,5	2,7	4,5	26,2	2,7
Φύλλα	49,5	7,6	43,1	64,3	13,3
Σύνολο	99,5	25,6	97,7	92,0	20,3

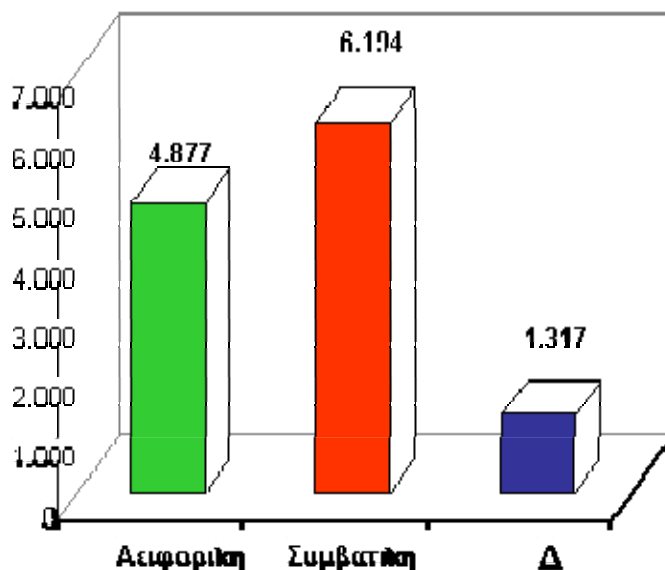
Ο αγροτικός τομέας στην Ν. Ιταλία καταναλώνει περίπου το 65% της συνολικής κατανάλωσης νερού και συνήθως γίνεται μεγάλη σπατάλη λόγω της χαμηλής αποτελεσματικότητας του αρδευτικού συστήματος και της μη σωστής του διαχείρισης. Ειδικά στις περιοχές όπου το νερό χρεώνεται, στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα, με βάση την αρδευόμενη έκταση και όχι με βάση τον καταναλισκόμενο όγκο η σπατάλη είναι ακόμη μεγαλύτερη γιατί δεν υπάρχει το βασικό κίνητρο (οικονομικό) που βασικά “αναγκάζει” τον αγρότη να εφαρμόσει την τεχνολογία και τις γνώσεις που υπάρχουν για την ορθολογική διαχείριση του νερού στο κτήμα του.



Σχήμα 2. Ποσότητες νιτρικού αζώτου στο έδαφος (40 cm) και διανομή αζωτούχων λιπασμάτων κατά τη διάρκεια του έτους στα δυο συστήματα.

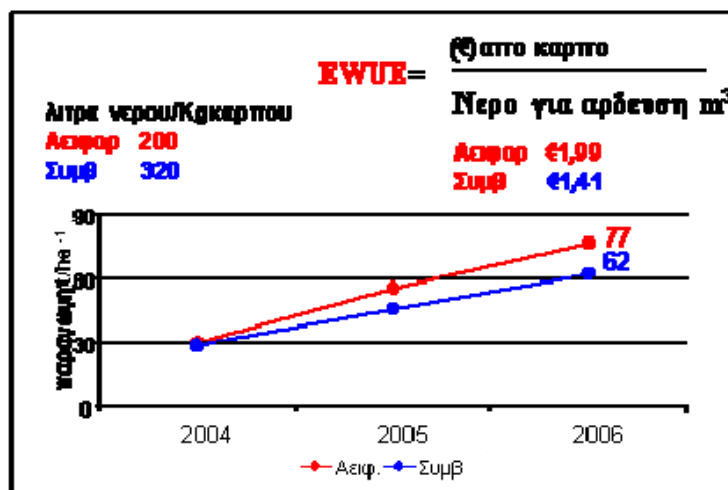
Η διαχείριση του νερού στο αειφόρο σύστημα έγινε με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα (ΕΤο – εξατμισοδιαπνοή, βροχοπτώσεις, συντελεστές της καλλιέργειας) και εφαρμόστηκε το ελεγχόμενο υδατικό στρες αμέσως μετά τη συγκομιδή (50% του συντελεστή καλλιέργειας) αναγκάζοντας το δένδρο να απορροφήσει το αποθηκευμένο νερό των βροχοπτώσεων από τα βαθιά στρώματα του εδάφους (Dichio *et al.* 2004). Με την αειφόρο διαχείριση επιτεύχθηκε μια μέση οικονομία νερού 1317 m<sup>3</sup> ανά εκτάριο (Σχ. 3), πολύ σημαντική για τα δεδομένα της περιοχής όπου το νερό αποτελεί

αναγκαίο συντελεστή για την ποιότητα, την οικονομική βιωσιμότητα και την επέκταση των δενδροκομικών καλλιεργειών.



Σχήμα. 3. Ποσότητες νερού (Μ.Ο. 4 ετών) για την άρδευση των δύο συστημάτων (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

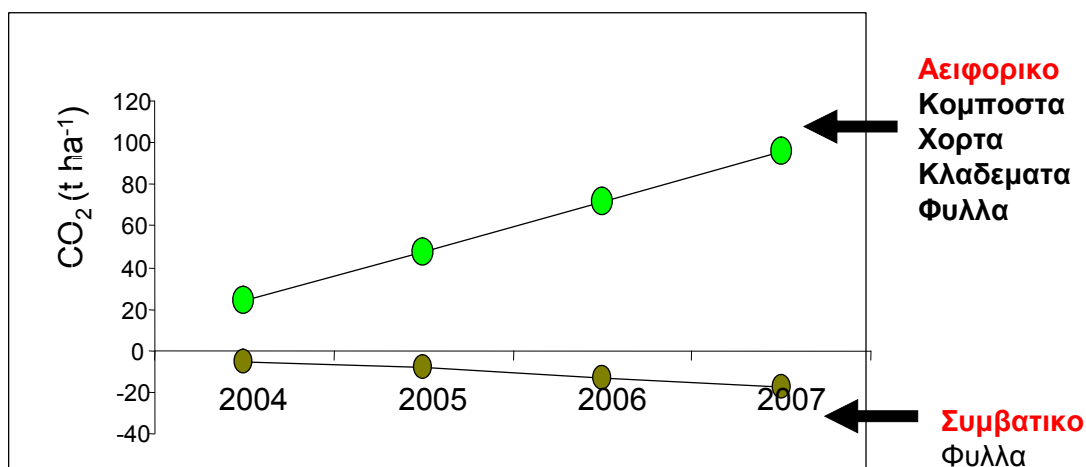
Το μέσο υδατικό κόστος (υπολογίζοντας μόνο το νερό της άρδευσης) για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος στα δύο συστήματα ήταν 200 και 320 λίτρα νερό για το αειφόρο και συμβατικό αντίστοιχα (Σχ. 4). Επίσης, η οικονομική απόδοση του κάθε κυβικού νερού στα δύο συστήματα ήταν 1,99 και 1,41 ευρώ για το αειφόρο και το συμβατικό σύστημα αντίστοιχα (Σχ. 4).



Σχήμα 4. Ποσότητες νερού, άρδευση για τη παραγωγή ενός κιλού καρπού και οικονομική αποδοτικότητα του νερού, στα δύο συστήματα.

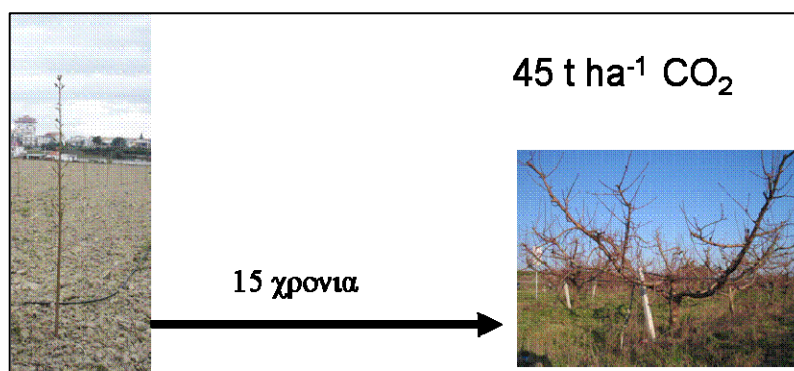
Για τον υπολογισμό του άνθρακα που απορροφήθηκε από την ατμόσφαιρα με τη φωτοσύνθεση έγιναν μετρήσεις της ξηράς ουσίας των φύλλων Norby *et al.*, 2004), κλαδεμάτων, καρπών, χόρτων και εκτιμήθηκε εκείνο του ριζικού συστήματος (Sofa *et al.*, 2005). Με ειδικά εξαρτήματα έγιναν μετρήσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου (10-15 ημέρες το μήνα) της αναπνοής του εδάφους (αναπνοή ριζών, μικροοργανισμών και μεταλλοποίησης της οργανικής ουσίας). Για τη μέτρηση της αναπνοής του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν 8 μετρητές τοποθετημένες σε διαφορετικές αποστάσεις από το

δένδρο για να καλυφτούν τα διάφορα μικροπεριβάλλοντα που υπήρχανε μεταξύ δύο σειρών δένδρων κατά τη διάρκεια της χρονιάς (ειδικά για τις αλλαγές στην υγρασία του εδάφους που συμβάλλει σημαντικά στην αναπνοή).



Σχήμα 5. Καθαρές εισροές CO<sub>2</sub> υπό μορφή άνθρακα στο έδαφος των δύο συστημάτων (SUPERCRIMSON/GF677, 500 φυτά ha<sup>-1</sup>).

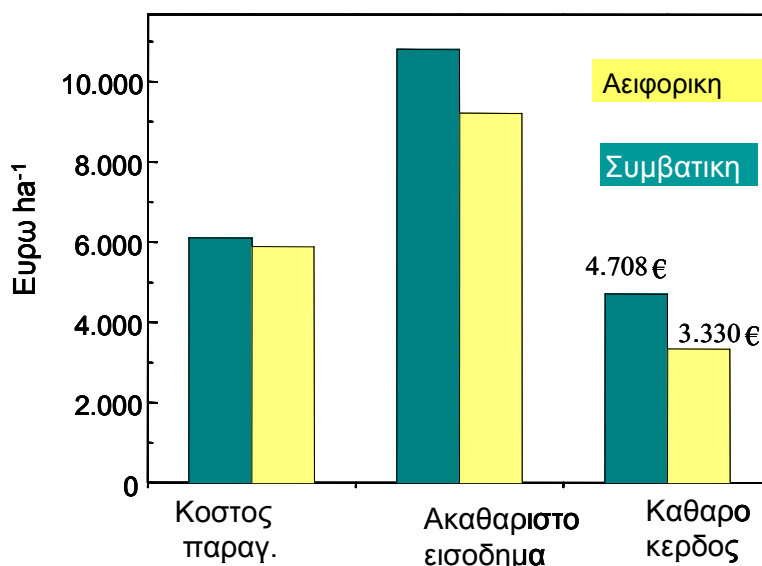
Το αειφόρο σύστημα παρουσίασε ένα ισοζύγιο άνθρακα θετικό, δηλαδή η ποσότητα του άνθρακα που αποθηκεύτηκε στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη σε σχέση εκείνη της αναπνοής (Σχ. 5) ενώ το συμβατικό σύστημα παρουσίασε αρνητικό ισοζύγιο δηλαδή συνεχίζει να μολύνει το περιβάλλον συμβάλλοντας στην αύξηση του CO<sub>2</sub> με εκπομπές της τάξης των 5-6 τόνων ανά εκτάριο το χρόνο. Η διαφορά μεταξύ των δυο συστημάτων βασικά στηρίζεται στη μη καλλιέργεια του εδάφους, στον άνθρακα της κομπόστας και στη μη απομάκρυνση από το κτήμα των κλαδεμάτων. Θα πρέπει να τονιστεί επίσης ότι σε 15 χρόνια από την εγκατάσταση του οπωρώνα αποθηκεύτηκε στον κορμό, βραχίονες, ριζικό σύστημα κλπ άνθρακα που ισοδυναμεί με 45 τόνους CO<sub>2</sub> ανά εκτάριο (Σχ. 6).



Σχήμα 6. Αποθήκευση CO<sub>2</sub> στο κορμό, βραχίονες και ριζικό σύστημα ανά εκτάριο στα 15 χρόνια.

Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής ανά εκτάριο και το κοστολόγιο για τις βασικές καλλιεργητικές φροντίδες, προκύπτει πως η αειφόρος καλλιέργεια συμφέρει και οικονομικά (Σχ. 7). Η σημερινή τιμή, στην διεθνή αγορά, ενός τόνου CO<sub>2</sub> είναι περίπου 26 ευρώ, η τιμή ενός m<sup>3</sup> νερού στο γεωργικό τομέα (στις περιοχές της Ιταλίας όπου το νερό πληρώνεται με βάση την κατανάλωση) είναι 0,15 και 0,25 kg εκπομπές CO<sub>2</sub> για κάθε m<sup>3</sup> νερού (Lal, 2004). Εάν στο ισοζύγιο προστεθούν και οι αξίες του άνθρακα και του νερού οι διαφορές μεταξύ των δυο

συστημάτων φθάνουν το ποσό των 2.300 ευρώ ανά εκτάριο. Θα πρέπει όμως να τονίσουμε και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δυο συστημάτων που είναι δύσκολο να δώσουμε μια τιμή όπως η καλύτερευση της γονιμότητας, (χημική και μικροβιολογική), της μηχανικής σύστασης και της υδατοικανότητας του εδάφους, τον περιορισμό της ρύπανσης των επιφανειακών και υπογείων νερών από τα νιτρικά και το έλεγχο των κατολισθήσεων κλπ.



Σχήμα 7. Κόστος παραγωγής και καθαρό κέρδος των δύο συστημάτων (2004-2007 € ha<sup>-1</sup>).

#### Βιβλιογραφία

- Barton D.R., Farmer M.E.D., 1997. The effects of conservation tillage practices on benthic invertebrate communities in headwater streams in southwestern Ontario, Canada. *Environ. Pollution*, 96(2): 207-215.
- Buck O., Niyogi D.K., Townsend C.R., 2004. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental Pollution* 130: 287-299.
- Dichio B., Xiloyannis C., Nuzzo V., Montanaro G., Palese A.M., 2004. Postharvest regulated deficit irrigation in peach tree in a Mediterranean environment: effect on vegetative growth and yield. *Acta Hort.* 664:169-174.
- Kirchmann H., Thorvaldsson G., 2000. Challenging targets for future agriculture. *European J. of Agronomy* 12: 145-161.
- Lal R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
- Norby, R.J., Ledford, J., Reilly, C.D., Miller, N.E. and O'Neill, E.G. 2004. Fine-root production dominates response of a deciduous forest to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA* 101(26):9689-9693.
- Sherwooda S., Uphoff N., 2000. Soil health: research, practice and policy for a more regenerative agriculture. *Applied Soil Ecology* 15: 85-97.
- Sofa A., Nuzzo V., Palese A.M., Xiloyannis C., Celano G., Zukowskyj P., Dichio B., 2005. Net CO<sub>2</sub> storage in mediterranean olive and peach orchards. *Scientia Hort.* 107: 17-24.