

Η συναρτησιακή προσέγγιση κατά τη μελέτη των αυξητικών παραμέτρων των ετησίων λιβαδικών φυτών

Μ.Σ. Βραχνάκης, Β. Νοϊτσάκης και Ζ. Κούκουρα

Τομέας Λιβαδοπονίας και Αγρίας Πανίδας – Ιχθυοπονίας Γλυκέων Υδάτων,
Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Η συναρτησιακή ανάλυση της αύξησης εφαρμόστηκε σε δεδομένα μεταβολής στο χρόνο του ύψους των ατόμων των ετησίων ψυχανθών *Trifolium purpureum* Loisel. και *T. angustifolium* L. που βρίσκονται σε μίξη και σε μονοκαλλιέργεια. Ως μέσον ανάλυσης εφαρμόστηκε το μη γραμμικό, δυναμικό, συναρτησιακό μοντέλο του Brain. Παράλληλα, μετά από διερεύνηση, αποδόθηκε η βιολογική ερμηνεία των παραμέτρων του μοντέλου αυτού. Με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά στην αλληλοπαρεμβατική σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο ειδών κάτω από συνδυασμένους χειρισμούς άρδευσης και κοπής έγινε σύγκριση των τιμών των παραμέτρων που υπολογίστηκαν από την προσαρμογή του μοντέλου. Από την έρευνα αυτή βρέθηκε ότι το μοντέλο μεταβολής του ύψους παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμογή και οι παράμετροι που το δομούν είναι πλήρους βιολογικής ερμηνείας, ενώ η περαιτέρω ανάλυση αυτών διαφωτίζει πλήρως τις αλληλοπαρεμβατικές σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ετησίων ειδών.

Λέξεις κλειδιά: Ένταση μεταβολής του ύψους, μέγιστη δυνατή προσαύξηση, χρόνος μετατροπής, αλληλοπαρέμβαση, ετήσια ψυχανθή.

Εισαγωγή

Η *Συναρτησιακή Ανάλυση* (Functional Analysis) εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα της *Ανάλυσης Συμμεταβολής* (Regression Analysis), ιδιαίτερα μετά την ανάπτυξη ισχυρών στατιστικών προγραμμάτων πληροφορικής, με την παράλληλη προσαρμογή καμπυλών χρονικής μεταβολής των παραμέτρων αύξησης. Οι κυριότερες κατηγορίες συναρτησιακής ανάλυσης περιλαμβάνουν την εφαρμογή εμπειρικών μοντέλων. Τα πλεονεκτήματα αυτής της ανάλυσης σε σχέση με την κλασική (ανάλυση RGR) καταγράφονται διεξοδικά από τους Hunt (1982) και Beadle (1993). Μερικά απ' αυτά είναι: α) τα μοντέλα περιγράφουν με απλό τρόπο μία διαδικασία η οποία είναι πολύ δύσκολο να γίνει πλήρως κατανοητή, β) επιτυγχάνεται οικονομία στην έκφραση καθώς μία μεγάλη ποσότητα πληροφοριών κωδικοποιείται σε σταθερές, γ) οι συγκρίσεις μεταξύ δεδομένων αύξησης διαφορετικής προέλευσης γίνονται πιο άμεσα, δ) πολλές από τις προϋποθέσεις που λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των μέσων τιμών των δεικτών της κλασικής προσέγγισης αποφεύγονται καθώς η μόνη προϋπόθεση που λαμβάνεται υπόψη στη συναρτησιακή ανάλυση είναι το χρησιμοποιούμενο μοντέλο να προσαρμόζεται στα αυξητικά δεδομένα, ε) για τη δόμηση των μοντέλων χρησιμοποιείται το σύνολο των τιμών της εξεταζόμενης παραμέτρου αύξησης κατά τις χρονικές στιγμές t_0, t_1, \dots, t_n , και όχι μόνο ένα ζεύγος από αυτές και στ) επειδή δεν απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι καταγραφής, περιορίζεται ο βαθμός αποτυχίας των πειραμάτων λόγω απώλειας των φυτών. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, οι σταθερές που δομούν τα μοντέλα αύξησης θα πρέπει να έχουν βιολογική σημασία (Rees and Lawton 1993).

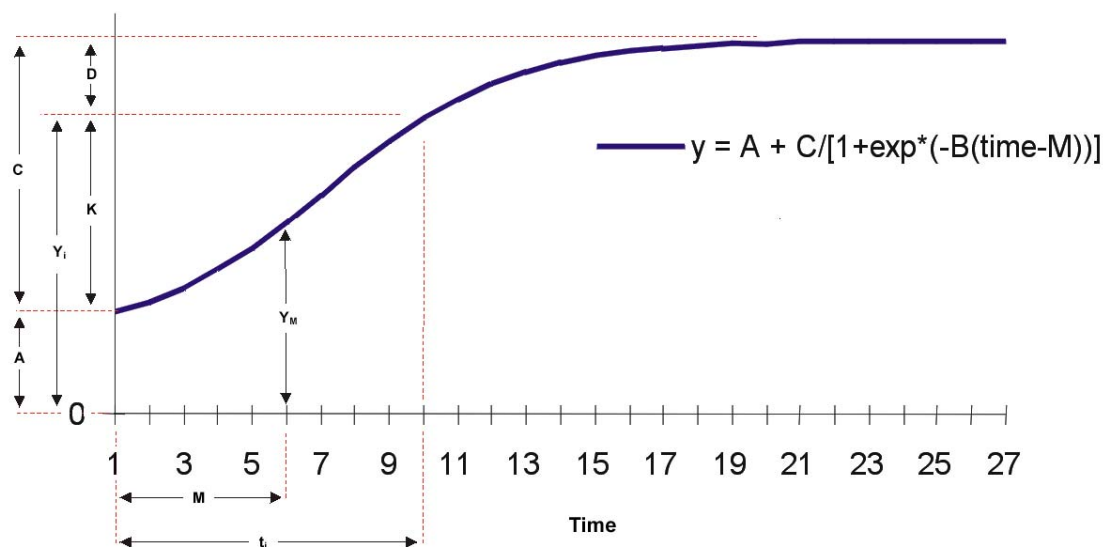
Ένα από τα πιο χρήσιμα μέσα συναρτησιακής ανάλυσης της αύξησης είναι το μη γραμμικό, δυναμικό μαθηματικό μοντέλο του Brain (Brain 1996, Βραχνάκης 2000). Το

μοντέλο αυτό ανήκει στην οικογένεια των γενικευμένων λογιστικών η οποία περιλαμβάνει μοντέλα που προσαρμόζονται στη μεταβολή των δεδομένων αύξησης των ετησίων φυτών (Βραχνάκης 2000). Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται σε σύντομα και σταθερά χρονικά διαστήματα (repeated measurements). Στα μοντέλα αυτής της οικογένειας ο χρόνος αποτελεί την ανεξάρτητη μεταβλητή, ενώ η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η καταγραφόμενη αυξητική παράμετρος. Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου του Brain είναι:

$$y_i = A + \frac{C}{1 + \exp[-B(t_i - M)]} + \varepsilon_i \quad (1)$$

όπου y_i : η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής κατά τη χρονική στιγμή t_i , A : η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής κατά τη χρονική στιγμή $t=0$ (αρχική τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής), t_i : η ανεξάρτητη μεταβλητή (ο χρόνος), C : η τιμή ασυμπτώτου στον άξονα y , B και M : σταθερές, ε_i ($i=1, \dots, N$): τα σφάλματα (errors ή residuals) που ποσοτικοποιούν την αδυναμία του μοντέλου να προβλέψει με ακρίβεια τις παρατηρηθείσες τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής.

Το μοντέλο του Brain αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία κατανόησης της πολύπλοκης διαδικασίας της αύξησης των ετησίων φυτών, καθώς περιέχει σταθερές (C , B , M) οι οποίες παρά τη συμμετοχή τους σε καμπυλόγραμμες μεταβολές έχουν σημαντική βιολογική σημασία για την εξήγηση της διαδικασίας της αύξησης. Στην εικόνα 1 αποδίδεται γραφικά μια τέτοια μεταβολή.



Εικόνα 1. Μεταβολή στο χρόνο των παραμέτρων αύξησης σύμφωνα με το μοντέλο του Brain.

Στην εικόνα 1 η σταθερά C εκφράζει τη μέγιστη δυνατή προσαύξηση του ατόμου, όπως καθορίζεται από το μοντέλο. Συνεπώς το μέγεθος $A+C$ προσδιορίζει την τελική ασύμπτωτο αύξηση. Η σταθερά B καλείται *αυξητική ενεργότητα ή ένταση μεταβολής* και εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλονται οι αποστάσεις των τιμών από την αρχική A και την τελική $A+C$ τιμή και αποτελεί δείκτη του ενδογενούς ρυθμού μεταβολής. Ακόμα η σταθερά B εκφράζει την ταχύτητα προσέγγισης (για $t < M$) ή απομάκρυνσης (για $t > M$) του χρονικού σημείου το οποίο αντιστοιχεί στο σημείο καμψής της καμπύλης (inflection point) που καθορίζει την έναρξη της ασυμπτώτου της καμπύλης. Κατά τη χρονική στιγμή $t=M$ (4) η εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνει την τιμή $A + C/2$ δηλ.

$$y_M = A + \frac{C}{2}$$

Η σταθερά M προσδιορίζει το παραπάνω χρονικό σημείο στο οποίο το κοίλο τμήμα της λογιστικής καμπύλης μετατρέπεται σε κυρτό, δηλ. η ασύμπτωτος της καμπύλης ως προς τον x δηλώνει σχεδόν μηδενική μεταβολή.

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε από τους Wilson et al. (1995) κατά τη μελέτη της επίδρασης της αλλαγής της πυκνότητας των *Viola arvensis* και *Papaver rhoeas* στην υπέργεια βιομάζα του *Triticum aestivum*. Οι Roche et al. (1997) καθώς και οι Heiniger et al. (1997) το προτείνουν για το χρονικό προσδιορισμό αλλαγών των φαινολογικών σταδίων των φυτών. Η παρούσα έρευνα εξετάζει την προέκταση της εφαρμογής του μοντέλου αυτού σε αλληλοπαρεμβατικές καταστάσεις που αναπτύσσονται σε μίξεις ετησίων ψυχανθών.

Μέθοδοι και υλικά

Για την έρευνα επιλέχθηκαν τα ετήσια ψυχανθή *Trifolium purpureum* Loisel. και *T. angustifolium* L., είδη που παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον όσον αφορά στην προσαρμογή τους σε ξηρά, διαταραγμένα και αλατούχα εδάφη (Rogers et al. 1997, Ghassali et al. 1998). Σπόροι των ειδών αυτών εσπάρησαν το Νοέμβριο του 1989 σε γλάστρες σε τρεις ολικές πυκνότητες: 100 (χαμηλή), 200 (μεσαία) και 300 (υψηλή) ατόμων/τ.μ., οι οποίες αντιστοιχούσαν σε 6, 12 και 18 άτομα/γλάστρα. Για την κατανομή των ατόμων στις γλάστρες χρησιμοποιήθηκε ο εξαγωγικός φυτευτικός σύνδεσμος με ίσες αποστάσεις μεταξύ των ατόμων σύμφωνα με τους van Andel and Dueck (1982).

Ο πειραματικός σχεδιασμός που εφαρμόστηκε ήταν αυτός της Πρόσθεσης Σειρών Αντικατάστασης (Spitters 1983). Για την εφαρμογή αυτού του σχεδιασμού επιλέχθηκαν πέντε επιμέρους σχετικές πυκνότητες σε κάθε μία από τις προαναφερόμενες τρεις ολικές πυκνότητες. Οι σχετικές αυτές πυκνότητες περιελάμβαναν τις μονοκαλλιέργειες των δύο ειδών και τις τρεις αναλογίες μίξης 2:1 (P_2), 1:1 (P_1), 1:2 ($P_{0.5}$). Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στη μεταβολή των παραμέτρων της αύξησης και της παραγωγής τόσο ενδοειδικά (από τις μονοκαλλιέργειες) όσο και διειδικά (από τις μίξεις).

Στο σύστημα αυτό μίξεων και μονοκαλλιιεργειών εφαρμόστηκαν από τις 10 Απριλίου του 1990 τέσσερις συνδυασμένοι χειρισμοί άρδευσης και κοπής. Η άρδευση των ατόμων γινόταν μέχρι το επίπεδο υδατοϊκανότητας (χειρισμός W_1), το οποίο ελέγχονταν καθημερινά με τη χρήση τενσιομέτρων. Τα άτομα που δεν αρδεύονταν ήταν εκτεθειμένα στο νερό της βροχής (χειρισμός W_0). Η κοπή εφαρμοζόταν με ψαλίδισμα των ατόμων στα 10 cm από την επιφάνεια της γλάστρας. Το σύστημα των κοπών περιέλαβε δύο διαδοχικές κοπές: η πρώτη (C_1) εφαρμόστηκε στις 20 Μαΐου (40 ημέρες από την εγκατάσταση του πειράματος), ενώ τα άτομα κόπηκαν για δεύτερη φορά (C_2) στις 3 Ιουλίου (45 ημέρες από την πρώτη κοπή). Τρίτη διαδοχική κοπή δεν εφαρμόστηκε καθώς πολλά άτομα στις γλάστρες νεκρώθηκαν, με αποτέλεσμα να μην υφίστανται πλέον οι Σειρές Αντικατάστασης. Τέλος, ο χειρισμός της εφ' άπαξ κοπής στο τέλος της περιόδου (C_L) εφαρμόστηκε στις 17 Αυγούστου (130 ημέρες από την εγκατάσταση του πειράματος). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν: 5 (σχετικές πυκνότητες) x 3 (ολικές πυκνότητες) x 4 (χειρισμοί) x 3 (επαναλήψεις) = 180 γλάστρες, ενώ μεταφυτεύτηκαν στις γλάστρες 740 άτομα από το κάθε είδος. Οι γλάστρες διευθετήθηκαν τυχαιοποιημένα στο χώρο, ενώ καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος άλλαζαν θέση τακτικά και περιστρέφονταν έτσι ώστε να μην ευνοούνται συνεχώς τα ίδια άτομα από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Καταγράφηκε η πορεία μεταβολής του ύψους των ατόμων των δύο ειδών (y_h) σε τακτά διαστήματα των 5 ημερών. Η ανάλυση και η συζήτηση επικεντρώθηκαν στην εξάρτηση των τιμών του ύψους από τη σχετική πυκνότητα (ανάλυση κατά ισοκλινείς ολικής πυκνότητας D) καθώς και στην εξάρτηση αυτών από την ολική πυκνότητα (ανάλυση κατά

ισοκλινείς σχετικής πυκνότητας P). Επίσης, αναλύθηκε η εξάρτηση των παραμέτρων από την ολική πυκνότητα (ανάλυση κατά ισοκλινείς μονοκαλλιέργειας M). Η μονόδρομη ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) των τιμών των σταθερών του μοντέλου του Brain και των παραμέτρων αύξησης και παραγωγής χρησιμοποιήθηκε χωριστά για τις μίξεις και τις μονοκαλλιέργειες για κάθε είδος, σε κάθε ολική πυκνότητα και στους χειρισμούς άρδευσης και κοπής που εφαρμόστηκαν. Στις περιπτώσεις που οι τιμές των σταθερών εξαρτιόνταν στατιστικώς σημαντικά ($P < 0,05$) από τη σχετική ή την ολική πυκνότητα ακολουθούσε περαιτέρω έλεγχος των μέσων τιμών τους, με το νέο τεστ πολλαπλών ευρών του Duncan ($\alpha = 0,05$), για τον εντοπισμό των μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικών διαφορών.

Αποτελέσματα

α) Προσαρμογή του μοντέλου του Brain

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ενδεικτικά η ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) της μη γραμμικής συμμεταβολής του μέσου ύψους του *T. purpureum* στο συνδυασμένο χειρισμό άρδευσης και κοπής W_1C_L και στη μονοκαλλιέργεια M_6 , σε συνάρτηση με το χρόνο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μεταβολή περιγράφεται από το μοντέλο:

$$y_h = 127,5 + \frac{503,056}{1 + \exp[-0,373(t - 6,201)]} + \varepsilon_i$$

Πίνακας 1. Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), εκτίμηση των σταθερών (B_h , C_h και M_h), των ασυμπτωτών τυπικών τους σφαλμάτων και των ορίων τους εμπιστοσύνης της μη γραμμικής συμμεταβολής του ύψους του *T. purpureum* στο χειρισμό άρδευσης W_1 , στη μονοκαλλιέργεια M_6 , κατά την εφ' άπαξ κοπή (C_L) (συνολικά για τις έξι επαναλήψεις).

Πηγή διακύμανσης	B.E.	Αθροίσματα Τετραγώνων (AT)	Μέσα Τετράγωνα
Συμμεταβολή	3	16459583,111	5486527,704
Σφάλμα (Σ)	81	50795,889	627,110
Μη διορθωμένο σύνολο	84	16510379,000	
Διορθωμένο σύνολο (Δ)	83	2565728,702	
$R^2 = 1 - AT\Sigma / AT\Delta = 0,982$			
			Ασύμπτωτα 95 %
Σταθερά	Εκτίμηση	Ασύμπτωτο Τυπ. Σφάλμα	Διαστήματα Εμπιστοσύνης Ελάχιστο Μέγιστο
B_h	0,373	0,016	0,342 0,404
C_h	503,056	6,071	490,977 515,135
M_h	6,201	0,131	5,941 6,462

Ο έλεγχος του μοντέλου με τέσσερις μη γραμμικές σταθερές (A_h , B_h , C_h και M_h), έδωσε μεν υψηλότερο συντελεστή προσδιορισμού ($R^2 = 0,990$), καθώς και μικρότερο Άθροισμα Τετραγώνων Συμμεταβολής (26.671), αλλά το μοντέλο αυτού του τύπου κρίθηκε υπερ-παραμετροποιημένο άρα μη δόκιμο (Βραχνάκης 2000). Έτσι εφαρμόστηκε μοντέλο με τρεις σταθερές (Πίνακας 2).

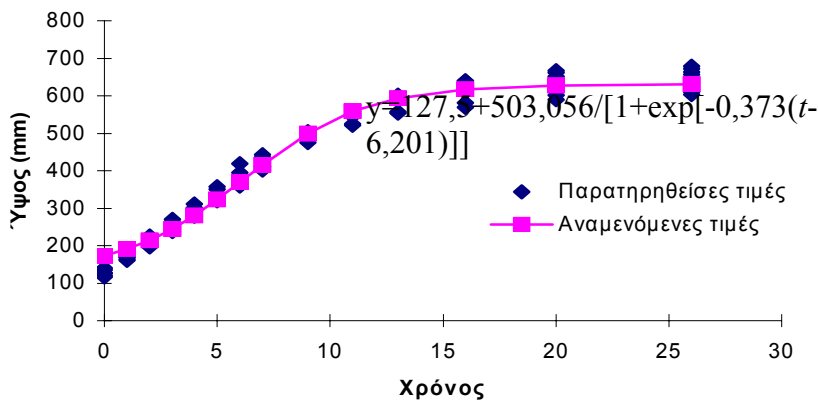
Η πολύ καλή προσαρμογή του μοντέλου των τριών σταθερών πιστοποιείται και από το γράφημα των παρατηρηθεισών τιμών του ύψους και αυτών που προβλέπει το μοντέλο του Brain (1) (Εικόνα 2).

Το μοντέλο παρουσίασε πολύ υψηλή προσαρμογή τόσο για το *T. purpureum* (από $0,757 < R^2 < 0,981$ στο χειρισμό W_1C_L σε $0,603 < R^2 < 0,861$ στο W_1C_2), όσο και για το *T.*

angustifolium ($0,916 < R^2 < 0,985$ στο W_1C_L σε $0,532 < R^2 < 0,768$ στο W_1C_2) (Βραχνάκης 2000). Αυτό αποτελεί μία επιπλέον ένδειξη της καταλληλότητας όσον αφορά τη χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου κατά την ανάλυση των δεδομένων του μέσου ύψους των δύο ειδών. Ειδικότερα το μοντέλο παρουσίασε καλύτερη προσαρμογή όταν τα άτομα των δύο ειδών αρδεύονται και δεν κόβονται.

Πίνακας 2. Μοντέλο μεταβολής του ύψους (y_h) με τρεις σταθερές. Πίνακες ασυμπτωτών συσχετίσεων των σταθερών (συνολικά για τις έξι επαναλήψεις της μονοκαλλιέργειας του *T. purpureum*, M_6 , W_1 , C_L).

	B_h	C_h	M_h
B_h	1,000	-0,533	-0,506
C_h	-0,533	1,000	0,695
M_h	-0,506	0,695	1,000



Εικόνα 2. Προσαρμογή του μοντέλου του Brain στη μεταβολή στο χρόνο του μέσου ύψους του *T. purpureum* (μονοκαλλιέργεια M_6 , W_1C_L , $R^2 = 0,982$).

β) Εξάρτηση των τιμών των σταθερών του μοντέλου από την ολική και σχετική πυκνότητα

Στους πίνακες 3, 4 και 5 παρουσιάζεται η εξάρτηση ή μη των τιμών των σταθερών του μοντέλου από τις ολικές και σχετικές πυκνότητες τόσο στις μίξεις των δύο ειδών όσο και στις μονοκαλλιέργειές τους (Βραχνάκης 2000).

Στις μίξεις των δύο ειδών η εξάρτηση των σταθερών της καθ' ύψος μεταβολής των ατόμων από την ολική ή σχετική πυκνότητα μπορεί να αποδοθεί για το μεν *T. purpureum* στον ενδοειδικό παράγοντα για το δε *T. angustifolium* στο διειδικό. Στις μονοκαλλιέργειες, ο ενδοειδικός παράγοντας φαίνεται να είναι κρίσιμος στην εξάρτηση των σταθερών της καθ' ύψος μεταβολής των ατόμων του *T. purpureum* από την πυκνότητα της μονοκαλλιέργειας, ενώ αντίθετα στα άτομα του *T. angustifolium* η συμπεριφορά των σταθερών φαίνεται να είναι ανεξάρτητη του ενδοειδικού παράγοντα.

Πίνακας 3. Εξάρτηση από τη σχετική πυκνότητα (P) των σταθερών B_h , C_h και M_h του μοντέλου μεταβολής του ύψους των δύο ειδών σε μίξη, κατά ολικές πυκνότητες (D) στους χειρισμούς κοπής και άρδευσης (x = εξάρτηση).

	W_1C_2			W_0C_2			W_1C_L			W_0C_L		
	D ₆	D ₁₂	D ₁₈	D ₆	D ₁₂	D ₁₈	D ₆	D ₁₂	D ₁₈	D ₆	D ₁₂	D ₁₈
Σταθερά B_h												
<i>T. purpureum</i>	—	—	x	x	—	—	—	—	x	x	x	—
<i>T. angustifolium</i>	—	—	x	—	—	x	—	x	x	—	—	x
Σταθερά C_h												
<i>T. purpureum</i>	—	—	x	x	—	—	—	—	x	x	x	—
<i>T. angustifolium</i>	—	—	x	—	—	x	—	x	x	—	—	x
Σταθερά M_h												
<i>T. purpureum</i>	—	—	x	x	—	—	—	—	x	x	x	—
<i>T. angustifolium</i>	—	—	x	—	—	x	—	x	x	—	—	x

Πίνακας 4. Εξάρτηση από την ολική πυκνότητα (D) των σταθερών B_h , C_h και M_h του μοντέλου μεταβολής του ύψους των δύο ειδών σε μίξη, κατά σχετικές πυκνότητες (P) στους χειρισμούς κοπής και άρδευσης (x = εξάρτηση).

	W_1C_2			W_0C_2			W_1C_L			W_0C_L		
	P ₂	P ₁	P _{0.5}	P ₂	P ₁	P _{0.5}	P ₂	P ₁	P _{0.5}	P ₂	P ₁	P _{0.5}
Σταθερά B_h												
<i>T. purpureum</i>	x	x	—	x	x	x	x	—	—	x	x	x
<i>T. angustifolium</i>	x	—	—	—	—	—	x	—	—	x	x	—
Σταθερά C_h												
<i>T. purpureum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>T. angustifolium</i>	x	x	—	—	—	—	x	x	x	x	x	x
Σταθερά M_h												
<i>T. purpureum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>T. angustifolium</i>	x	x	x	x	—	—	x	x	x	x	x	x

Πίνακας 5. Εξάρτηση των σταθερών B_h , C_h και M_h του μοντέλου μεταβολής του ύψους από την πυκνότητα μονοκαλλιέργειας (M) των δύο ειδών, στους χειρισμούς κοπής και άρδευσης (x = εξάρτηση).

	W_1C_2	W_0C_2	W_1C_L	W_0C_L
Σταθερά B_h				
<i>T. purpureum</i>	x	x	x	x
<i>T. angustifolium</i>	—	—	—	—
Σταθερά C_h				
<i>T. purpureum</i>	x	x	x	x
<i>T. angustifolium</i>	—	—	—	—
Σταθερά M_h				
<i>T. purpureum</i>	x	x	x	x
<i>T. angustifolium</i>	—	—	—	—

Η σχετική πυκνότητα επιδρά διαφορετικά στις τρεις σταθερές μεταβολής του ύψους των δύο ειδών σε μίξη υπό τους χειρισμούς μη άρδευσης. Υπό άρδευση, τα άτομα των δύο ειδών παρουσιάζουν εξάρτηση των σταθερών της μεταβολής του ύψους από τη σχετική

πυκνότητα στην υψηλή ολική πυκνότητα. Οι χειρισμοί κοπής δεν φαίνεται να αλλάζουν τη σχέση εξάρτησης των σταθερών από τη σχετική πυκνότητα στα δύο είδη. Εξάρτηση από την ολική πυκνότητα εμφανίζουν τα άτομα του *T. purpureum* για τις τρεις σταθερές, ενώ τα άτομα του *T. angustifolium* για τις σταθερές C_h και M_h στο σύνολο σχεδόν των χειρισμών.

Συμπεράσματα

- Το χρησιμοποιούμενο μοντέλο περιγραφής της δυναμικής μεταβολής των δεδομένων της αύξησης, που προέρχονται από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμογή στα ετήσια φυτά. Οι τρεις σταθερές που δομούν το μοντέλο περιγράφουν εξαιρετικά καλά τη συμπεριφορά των αυξητικών παραμέτρων.
- Οι σχέσεις εξάρτησης από την ολική πυκνότητα και τη σχετική πυκνότητα των σταθερών του χρησιμοποιούμενου μοντέλου περιγραφής της δυναμικής μεταβολής των δεδομένων της αύξησης ποικίλουν στο χρόνο και υπό τους συνδυασμένους χειρισμούς άρδευσης και κοπής, αντανακλώντας έτσι την ικανότητα των ετησίων φυτών να ενσωματώνουν στη σχετικά σύντομη αυξητική τους πορεία στο χρόνο τις συνδυασμένες επιδράσεις αυτών των χειρισμών όσο και των αλληλοπαρεμβατικών σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

Αναγνώριση βοήθειας

Ευχαριστούμε το Δασολόγο κ. Πέτρο Κακούρο για τη βοήθειά του στην κατασκευή της εικόνας 1.

Βιβλιογραφία

- Beadle, C.L. 1993. Growth analysis, p. 36-46. In: Photosynthesis and Production in a Changing Environment: a field and laboratory manual (D.O. Hall, J.M.O. Scurlock, H.R. Bohlár-Nordenkampf, R.C. Leedood and S.P. Long, eds). Chapman and Hall, London, U.K.
- Brain, P. 1996. Tools for Statistical and Process-based Modeling in Agriculture. IAMZ, Zaragoza, Spain.
- Βραχνάκης, Μ.Σ. 2000. Μαθηματικά Μοντέλα Μελέτης της Δυναμικής της Λιβαδικής Βλάστησης, σελ. 173. Διδακτορική διατριβή. Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ghassali, F., A.E. Osman and P.S. Cocks. 1998. Rehabilitation of degraded grasslands in North Syria: The use of Awassi sheep to disperse the seeds of annual pasture legumes. *Exp. Agric.*, 34(4): 391-405.
- Heiniger, R.W., R.L. Vanderlip, S.M. Welch and R.C. Muchow. 1997. Developing guidelines for replanting grain sorghum: II. Improved methods of simulating caryopsis weight and tiller number. *Agron. J.*, 89: 84-92.
- Hunt, R. (ed). 1982. Plant Growth Curves. Edward Arnold Publishers. London, U.K.
- Rees, M. and J.H. Lawton. 1993. What can models tell us?, p. 65-83. In: Plant Adaptation to Environmental Stress (L. Fowden, T. Mansfield and J. Stoddart, eds). Chapman and Hall. London, U.K.
- Roche, C.T., D.C. Thill and B. Shafii. 1997. Reproductive phenology in yellow starthistle (*Centaurea solstitialis*). *Weed Sci.*, 45: 763-770.
- Rogers, M.E., C.L. Noble and R.J. Pederick. 1997. Identifying suitable temperate forage legume species for saline areas. *Aust. J. Exp. Agric.*, 37(6): 639-645.

- Spitters, C.J.T. 1983. An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. 1. Estimation of competition effects. *Neth. J. Agric. Sci.*, 31: 1-11.
- Van Andel, J. and T. Dueck. 1982. The importance of the physical pattern of plant species in replacement series. *Oikos*, 39: 59-62.
- Wilson, B.J., K.J. Wright, P. Brain, M. Clements and E. Stephens. 1995. Predicting the competitive effects of weed and crop density on weed biomass, weed seed production and crop yield in wheat. *Weed Res.*, 35: 265-278.

The application of functional growth analysis in annual range plants

M.S. Vrahnakis, B. Noitsakis and Z. Koukoura

Department of Range Science and Wildlife – Freshwater Fisheries,
540 06 Thessaloniki, Greece

Summary

The functional growth analysis was applied in height data of mixed- and pure-stands of the annual legumes *Trifolium purpureum* Loisel. and *T. angustifolium* L. recorded from repeated measurements. Specifically, the non-linear and dynamic functional model of Brain was fitted, and the biological meaning of its parameters was detected. Comparisons between the mean values of the parameters were made in order to draw conclusions concerning the type of interference that appeared in the above stands under combined treatments of irrigation and clipping.

Key words: Height growth rhythm, possible maximum growth, time between changes, interference, annual legumes.