

Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας στην εκτίμηση συστατικών απόδοσης αραβοσίτου σε πειραματικά τεμάχια

Γ. Μενεξές¹, Θ. Κουτσός²

¹ Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ, gmenexes@agro.auth.gr, ² Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ, tkoutsos@agro.auth.gr

Κύρια σημεία εργασίας: Στην εργασία αυτή, διερευνήθηκε η απόδοση χωρικών σχεδίων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της απόδοσης καλαμποκιού για ενσίρωση. Εξετάστηκαν εννέα σχέδια δειγματοληψίας σε πειραματικό αγρό του ΑΠΘ. Τα χωρικά δεδομένα που προέκυψαν αναλύθηκαν στατιστικά για την επιλογή του κατάλληλου σχεδίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία υπερτερεί ως η πιο αποτελεσματική μέθοδος, προσφέροντας ακριβείς εκτιμήσεις με λιγότερες μετρήσεις, αποτελώντας αξιόλογη εναλλακτική της πλήρους συγκομιδής για την εκτίμηση της απόδοσης.

Περίληψη: Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε η απόδοση διαφορετικών χωρικών σχεδίων δειγματοληψίας για την εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών απόδοσης καλαμποκιού για ενσίρωση. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το ύψος φυτού, το νωπό/ξηρό βάρος ανά φυτό, τον αριθμό και το συνολικό βάρος σπαδικών ανά φυτό. Συνολικά εξετάστηκαν εννέα σχέδια δειγματοληψίας σε πείραμα που διεξήχθη σε πειραματικό αγρό του αγροκτήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2016, χρησιμοποιώντας χωρικά δεδομένα από ένα ιταλικό υβριδίο καλαμποκιού (AGN720). Τα δεδομένα αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν στατιστικά για να προσδιοριστεί το πιο κατάλληλο και αποδοτικό σχέδιο για αξιόπιστες εκτιμήσεις της απόδοσης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία (Stratified Random Sampling) υπερτερεί ως η πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη μέθοδος, παρέχοντας τις πιο ακριβείς εκτιμήσεις με το μικρότερο απαιτούμενο αριθμό μετρήσεων. Αυτή η μέθοδος κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη σε πειράματα όπου δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως όλα τα φυτά, καθιστώντας τη μια αξιόλογη εναλλακτική της πλήρους συγκομιδής για την εκτίμηση της απόδοσης καλλιέργειας σε πειραματικά τεμάχια.

Λέξεις κλειδιά: Στρωματοποιημένη Δειγματοληψία, Γεωργικός Πειραματισμός, ανάλυση χωρικών δεδομένων καλλιέργειας

1 Εισαγωγή

Στα πειράματα πεδίου, οι εκτιμήσεις της απόδοσης των καλλιεργίων προκύπτουν από μετρήσεις όλων των φυτών μέσα σε ένα πειραματικό τεμάχιο, αποκλείοντας συνήθως τα φυτά από τις εξωτερικές σειρές ως μη αντιπροσωπευτικά της απόδοσης. Αυτή η πρακτική αποφεύγει το «φαινόμενο περιθωρίου», όπου οι φυτά στην άκρη εμφανίζουν απόκλιση έως και 15% στην απόδοση, κυρίως λόγω αυξημένης έκθεσης στο φως του ήλιου και βελτιωμένου αερισμού. Στην εργασία αυτή συγκρίνονται εννέα μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας για την εκτίμηση της απόδοσης του αραβοσίτου, λαμβάνοντας υπόψη τα βασικά χαρακτηριστικά όπως το ύψος ανά φυτό (σε cm), το νωπό βάρος ανά φυτό (σε g), το ξηρό βάρος ανά φυτό (σε g) και το συνολικό βάρος σπαδικών ανά φυτό (σε g) του αραβοσίτου.

2 Υλικά και μέθοδοι

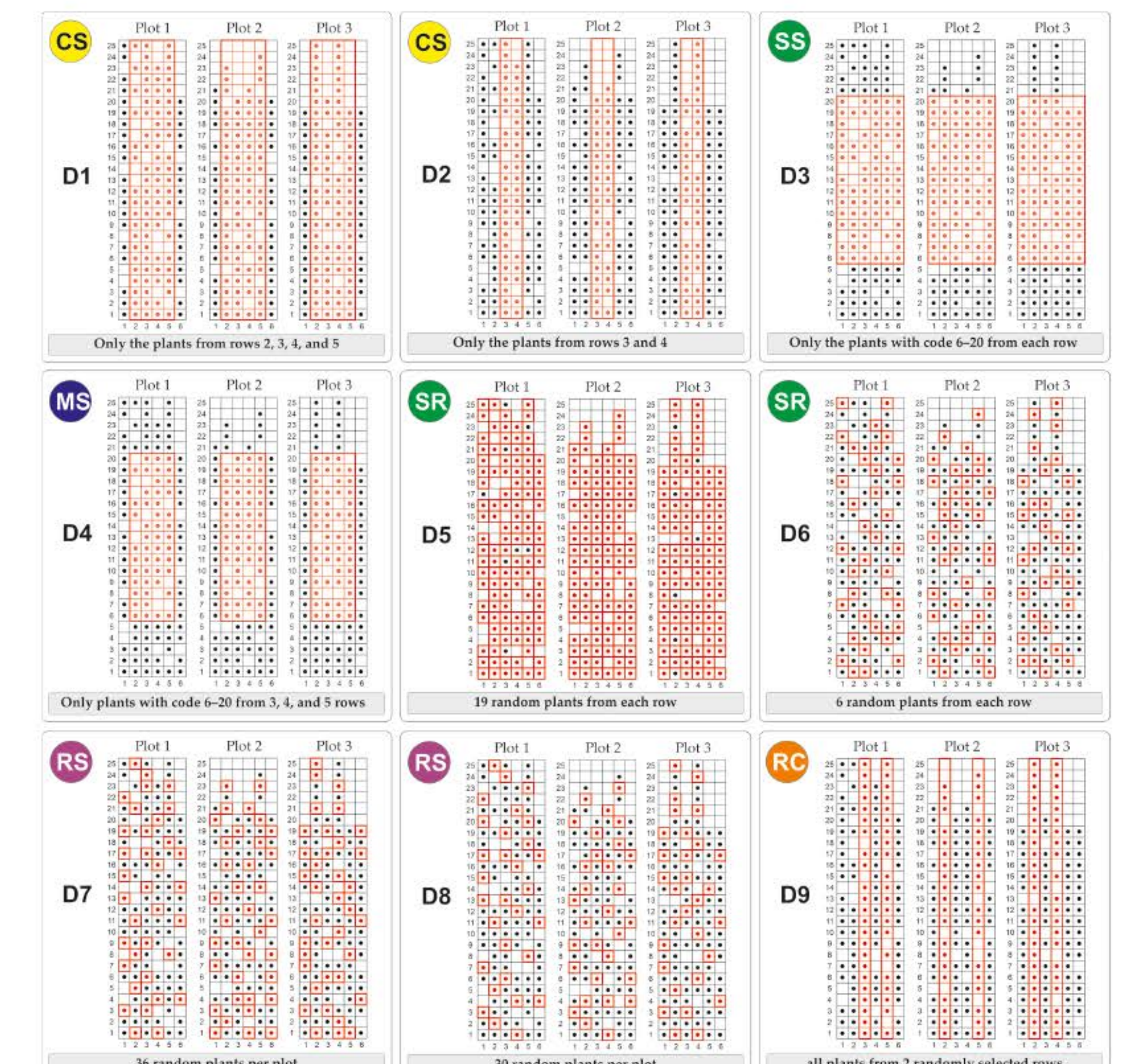
- **Καλλιέργεια:** αραβοσίτου (υβριδίο AGN720, Italy),
- **Καλλιεργητική περίοδος:** 2016
- **Θέση πειράματος:** πειραματικός αγρός του Αγροκτήματος του ΑΠΘ (40°32'1.75"N, 22°59'26.98"E)
- **Οριοθέτηση:** τρία πειραματικά τεμάχια (plots) διαστάσεων 4 m x 4.25 m, με 6 γραμμές σποράς ανά plot (25-26 φυτά/plot, σύνολο 403 φυτά)
- **Αποστάσεις:** η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 80cm, και η απόσταση μεταξύ των φυτών στην ίδια γραμμή ήταν 17 cm. Μεταξύ των 3 plots υπήρχε διάδρομος πλάτους 2,5 Στατιστικός πληθυσμός: μετρήσεις από τα φυτά των τριών plots
- **Αξιολόγηση:** δείγματα με βάση την εφαρμογή εννέα δειγματοληπτικών σχεδίων για την συγκριτική τους αξιολόγηση ως προς την εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών απόδοσης αραβοσίτου.



Τριπλό σύστημα αξιολόγησης των μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας.

- Τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% να περιλαμβάνουν σαφώς τη μέση τιμή του πληθυσμού στόχου (D0). (Corresponding 95% confidence intervals must clearly include the mean value of the target population (D0)).
- Χαμηλότερες συντελεστές μεταβλητότητας (CV) μεταξύ των μεθόδων των οποίων τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% περιλαμβάνουν τη μέση τιμή του πληθυσμού στόχου (D0). (Lower CV among the designs that their 95% confidence intervals include the mean value of the target population (D0)).
- Χαμηλότερη σχετική διαφορά (%) σε σύγκριση με την αντίστοιχη μέση τιμή του πληθυσμού στόχου (D0). (Lower relative difference (%) compared to the corresponding mean value of the target population (D0)).

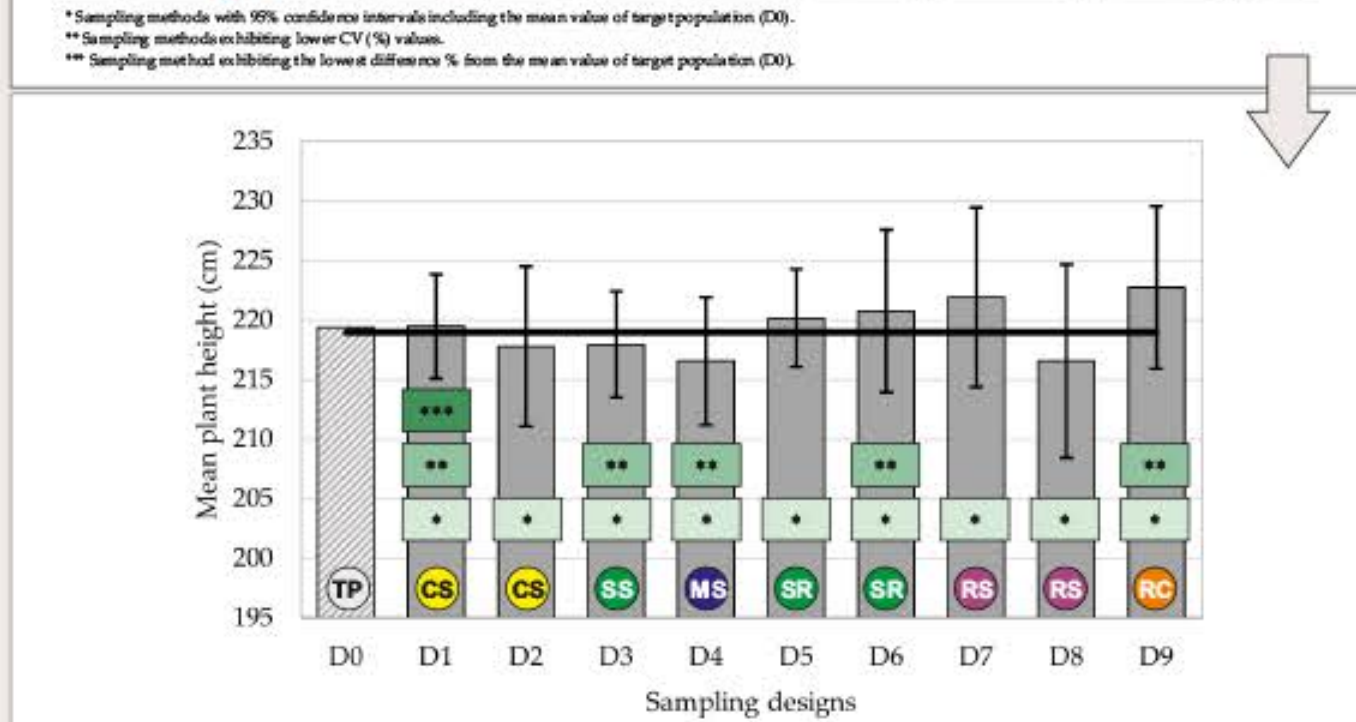
Εφαρμογή εννέα μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας για την εκτίμηση χαρακτηριστικών απόδοσης αραβοσίτου



3 Αποτελέσματα αξιολόγησης των μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας

Ύψος φυτού (plant height)

Sampling Code	Design Code	Min	Max	Mean Value	Standard Error	Standard Deviation	CV (%)	Difference (% from D0 Mean)	95% Confidence Interval for the Mean
D0	TP	38	280	219.40	36.39	16.58	7.52	0.04***	215.10** - 223.66**
D1	CS	105	280	219.48	2.19	38.72	16.27**	0.04***	211.09* - 224.49*
D2	CS	105	280	217.79	3.35	38.35	17.60	-0.74	211.09* - 224.49*
D3	CS	38	275	217.94	2.23	35.73	16.39	-0.67	213.48* - 222.40*
D4	MS	120	275	216.57	2.68	34.94	16.13**	-1.31	211.21* - 221.93*
D5	SR	38	280	220.17	2.05	37.23	16.90	6.38	216.07* - 224.27**
D6	SR	97	269	220.78	3.41	35.44	16.05**	0.63	213.96* - 227.60**
D7	RS	38	275	221.93	3.76	39.08	17.60	1.14	214.41* - 229.45*
D8	RS	97	270	216.56	4.06	38.60	17.82	-1.31	208.41* - 224.68*
D9	RC	120	280	222.75	3.42	35.57	15.96**	-1.31	215.91* - 229.59**

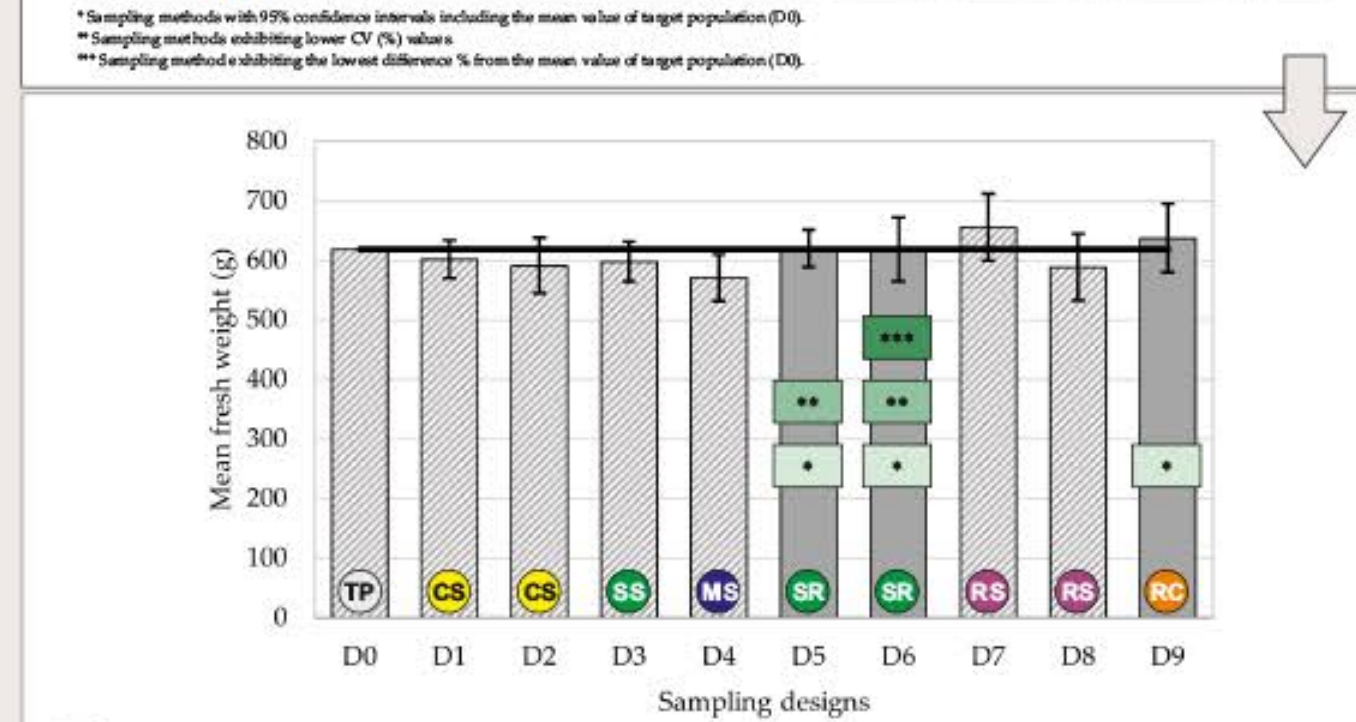


• Corresponding 95% confidence intervals clearly include the mean value of the target population (D0)
 • Lower CV among the designs that their 95% confidence intervals include the mean value of the target population (D0)
 • Lower relative difference (%) compared to the corresponding mean value of the target population (D0)

Η "Δειγματοληψία κατά συστάδες με συστηματικούς περιορισμούς" (CS, D1) μπορεί να θεωρηθεί ως η καλύτερη μέθοδος δειγματοληψίας για τη μέτρηση του ύψους των φυτών αραβοσίτου.

Νωπό βάρος (fresh weight)

Sampling Code	Design Code	Min	Max	Mean Value	Standard Error	Standard Deviation	CV (%)	Difference (% from D0 Mean)	95% Confidence Interval for the Mean
D0	TP	38	280	219.40	36.39	16.58	7.52	0.04***	215.10** - 223.66**
D1	CS	105	280	219.48	2.19	38.72	16.27**	0.04***	211.09* - 224.49*
D2	CS	105	280	217.79	3.35	38.35	17.60	-0.74	211.09* - 224.49*
D3	CS	38	275	217.94	2.23	35.73	16.39	-0.67	213.48* - 222.40*
D4	MS	120	275	216.57	2.68	34.94	16.13**	-1.31	211.21* - 221.93*
D5	SR	38	280	220.17	2.05	37.23	16.90	6.38	216.07* - 224.27**
D6	SR	97	269	220.78	3.41	35.44	16.05**	0.63	213.96* - 227.60**
D7	RS	38	275	221.93	3.76	39.08	17.60	1.14	214.41* - 229.45*
D8	RS	97	270	216.56	4.06	38.60	17.82	-1.31	208.41* - 224.68*
D9	RC	120	280	222.75	3.42	35.57	15.96**	-1.31	215.91* - 229.59**

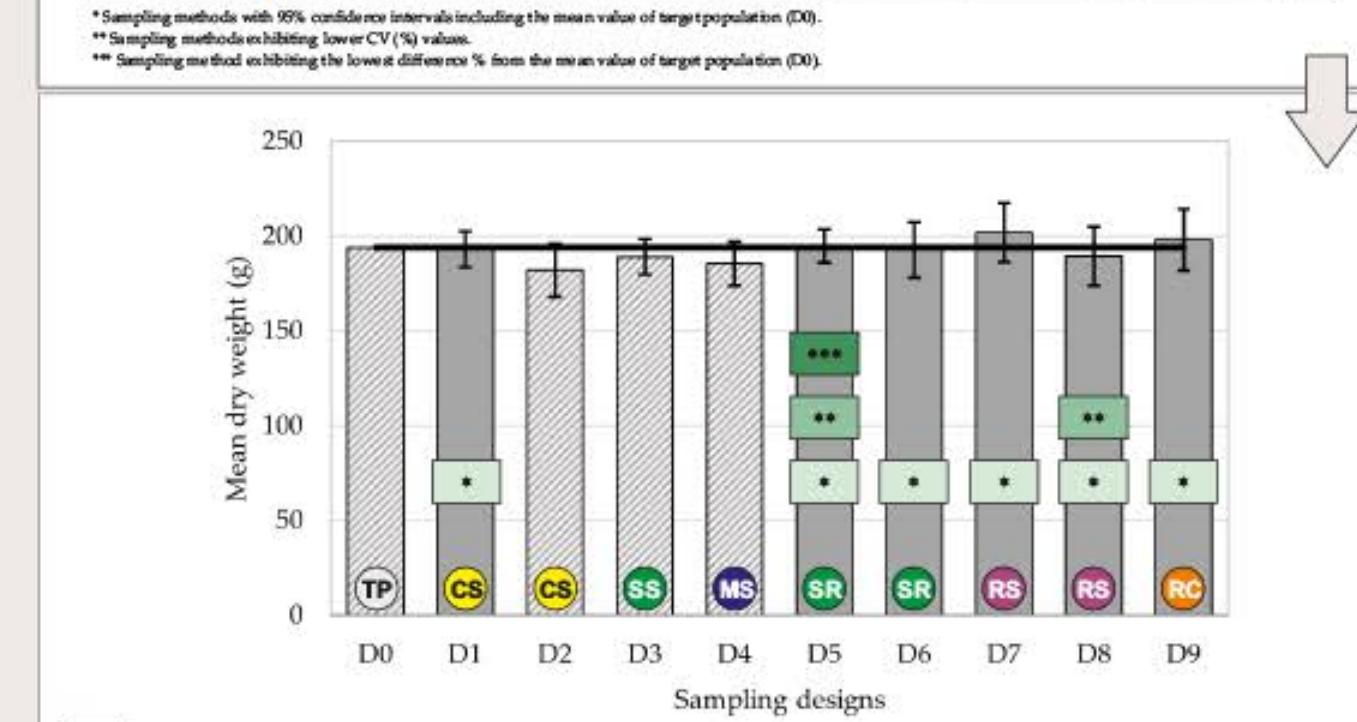


• Corresponding 95% confidence intervals clearly include the mean value of the target population (D0)
 • Lower CV among the designs that their 95% confidence intervals include the mean value of the target population (D0)
 • Lower relative difference (%) compared to the corresponding mean value of the target population (D0)

Η "Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία" (SR, D6) μπορεί να θεωρηθεί ως η καλύτερη μέθοδος δειγματοληψίας για τη μέτρηση του νωπού βάρους των φυτών αραβοσίτου.

Ξηρό βάρος (dry weight)

Sampling Code	Design Code	Min	Max	Mean Value	Standard Error	Standard Deviation	CV (%)	Difference (% from D0 Mean)	95% Confidence Interval for the Mean
D0	TP	38	280	219.40	36.39	16.58	7.52	0.04***	215.10** - 223.66**
D1	CS	105	280	219.48	2.19	38.72	16.27**	0.04***	211.09* - 224.49*
D2	CS	105	280	217.79	3.35	38.35	17.60	-0.74	211.09* - 224.49*
D3	CS	38	275	217.94	2.23	35.73	16.39	-0.67	213.48* - 222.40*
D4	MS	120	275	216.57	2.68	34.94	16.13**	-1.31	211.21* - 221.93*
D5	SR	38	280	220.17	2.05	37.23	16.90	6.38	216.07* - 224.27**
D6	SR	97	269	220.78	3.41	35.44	16.05**	0.63	213.96* - 227.60**
D7	RS	38	275	221.93	3.76	39.08	17.60	1.14	214.41* - 229.45*
D8	RS	97	270	216.56	4.06	38.60	17.82	-1.31	208.41* - 224.68*
D9	RC	120	280	222.75	3.42	35.57	15.96**	-1.31	215.91* - 229.59**

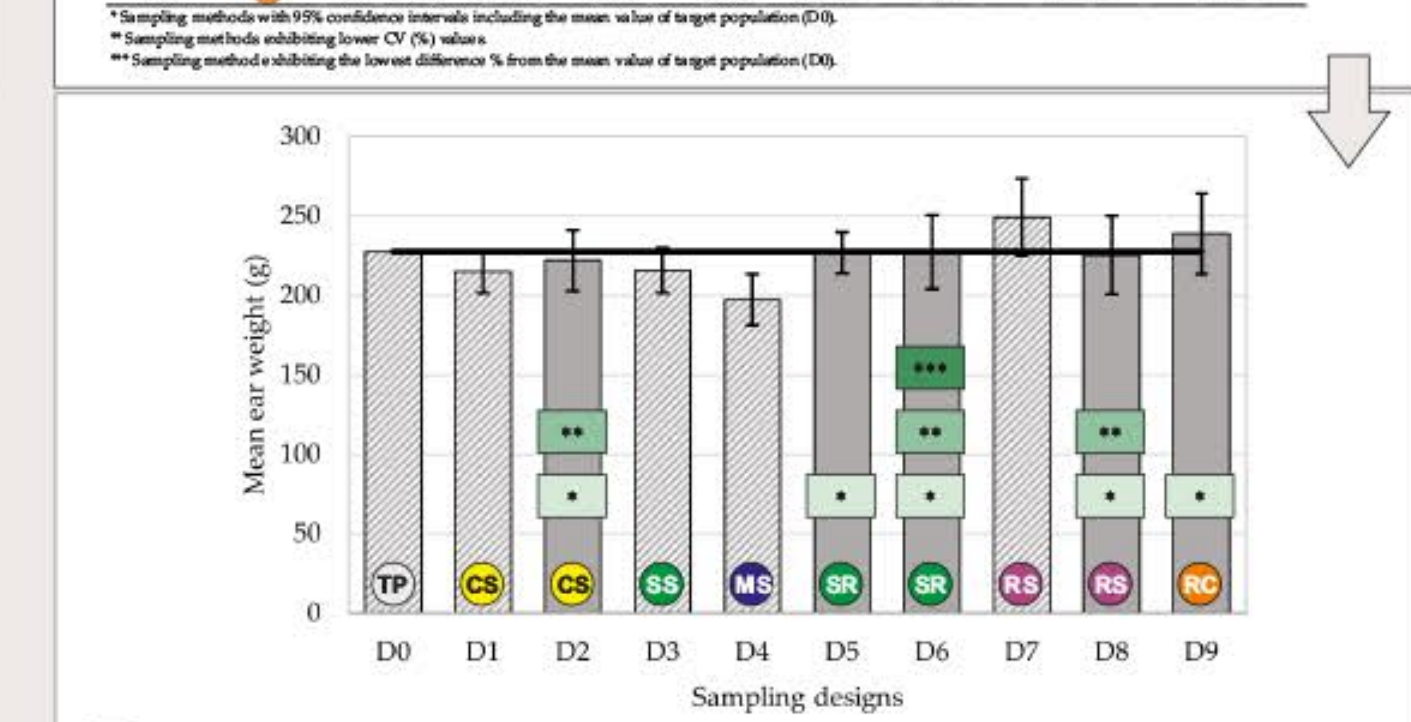


• Corresponding 95% confidence intervals clearly include the mean value of the target population (D0)
 • Lower CV among the designs that their 95% confidence intervals include the mean value of the target population (D0)
 • Lower relative difference (%) compared to the corresponding mean value of the target population (D0)

Η "Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία" (SR, D6) μπορεί να θεωρηθεί ως η καλύτερη μέθοδος δειγματοληψίας για τη μέτρηση του ξηρού βάρους των φυτών αραβοσίτου.

Βάρος σπάδικα (ear weight)

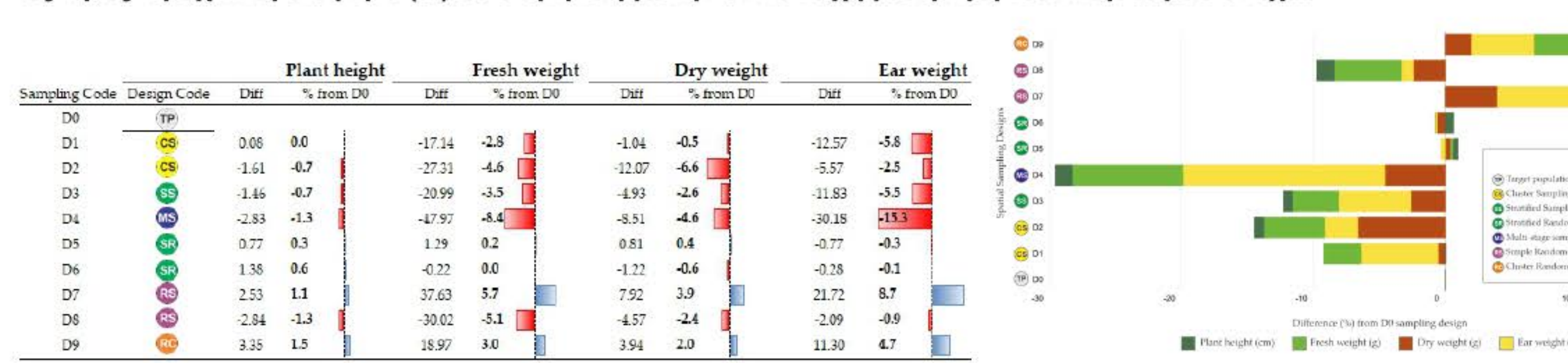
Sampling Code	Design Code	Min	Max	Mean Value	Standard Error	Standard Deviation	CV (%)	Difference (% from D0 Mean)	95% Confidence Interval for the Mean
D0	TP	19	572	227.55	111.11	68.82	30.26	0.04***	111.11 - 343.99
D1	CS	19	495	214.98	6.72	104.66	48.68	-8.85	201.54 - 228.42
D2	CS	19	495	212.98	9.68	105.34	47.82	-2.51	202.64* - 213.38*
D3	CS	19	572	215.72	7.12	107.98	50.05	-5.48	201.48 - 229.96
D4	MS	19	495	197.37	8.12	100.31	50.93	-15.29	181.13 - 215.61
D5	SR	19	572	226.78	6.48	111.86	49.32	-0.34	213.82* - 239.74*
D6	SR	28	572	227.37	11.59	113.02	49.72**	-0.12**	204.69* - 250.06**
D7	RS	30	572	249.27	12.15	117.23	47.02	8.71	224.97 - 273.57
D8	RS	30	572	225.46	12.43	106.93	47.42**	-0.93	200.60* - 250.32*
D9	RC	19	572	238.48	12.77	125.62	52.47	4.73	213.31* - 264.30**



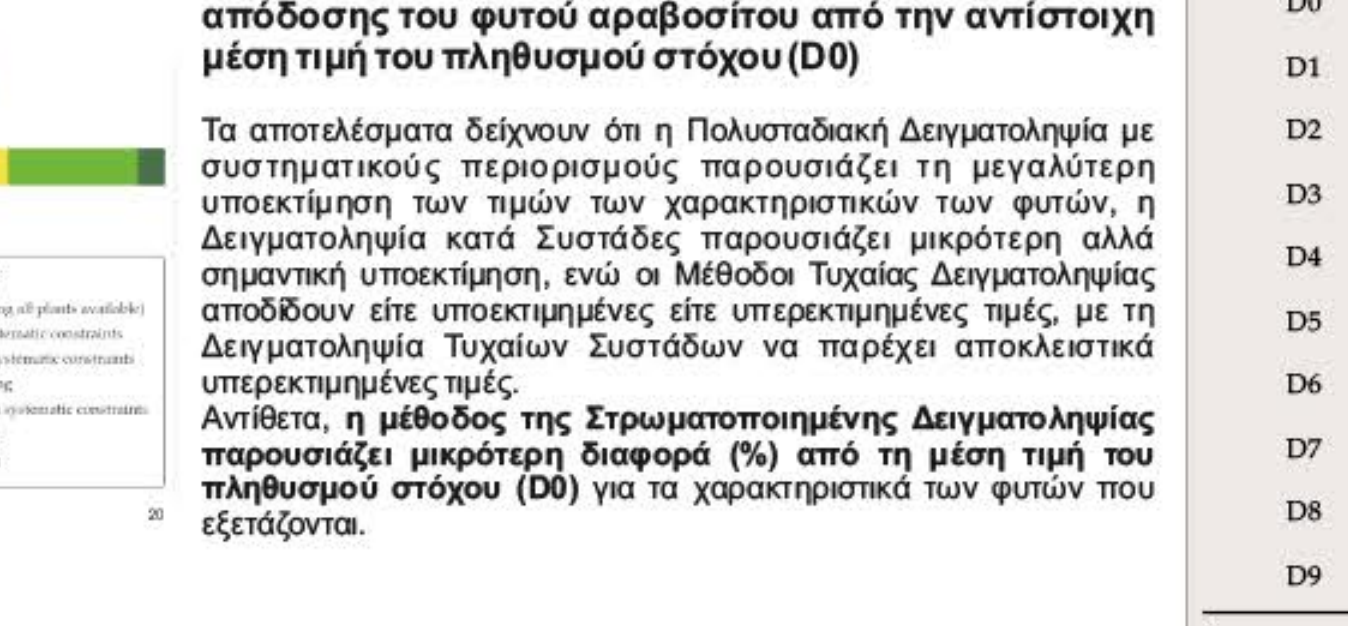
• Corresponding 95% confidence intervals clearly include the mean value of the target population (D0)
 • Lower CV among the designs that their 95% confidence intervals include the mean value of the target population (D0)
 • Lower relative difference (%) compared to the corresponding mean value of the target population (D0)

Η "Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία" (SR, D6) μπορεί να θεωρηθεί ως η καλύτερη μέθοδος δειγματοληψίας για τη μέτρηση του βάρους του σπάδικα των φυτών αραβοσίτου.

Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας ως προς τη σχετική διαφορά (%) σε σύγκριση με την αντίστοιχη μέση τιμή του πληθυσμού στόχου



Διαφορές (%) στις τιμές των συνιστωσών της απόδοσης του φυτού αραβοσίτου από την αντίστοιχη μέση τιμή του πληθυσμού στόχου (D0)



Κωδικός μεθόδου	Περιγραφή	Κωδικός σχεδίου	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αριθμός φυτών
D0	Συγκομιδή όλων των φυτών όλων των σειρών σε κάθε plot	TP	Πληθυσμός στόχος (εννοείται όλων των φυτών) (Target population - all plants harvested)	403
D1	Συγκομιδή μόνο των φυτών όλων των σειρών σε κάθε plot	CS	Δειγματοληψία κατά συστάδες με συστηματικούς περιορισμούς (Clustered sampling with systematic constraints)	266
D2	Συγκομιδή μόνο των φυτών των σειρών 3, 4 σε κάθε plot (κοινή πρακτική)	CS	Δειγματοληψία κατά συστάδες με συστηματικούς περιορισμούς (Clustered sampling with systematic constraints)	91
D3	Συγκομιδή σε κάθε plot σε κάθε σειρά μόνο των φυτών με κωδικό από 6 έως 20	SS	Στρωματοποιημένη Δειγματοληψία με συστηματικούς περιορισμούς (Stratified Sampling with systematic constraints)	257
D4	Συγκομιδή των φυτών σε κάθε plot από τις σειρές 2, 3, 4, και 5, των φυτών με κωδικό από 6 έως 20	MS	Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία με συστηματικούς περιορισμούς (Stratified Sampling with systematic constraints)	170
D5	Συγκομιδή 19 τυχαίων φυτών σε κάθε plot από κάθε σειρά	SR	Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία με συστηματικούς περιορισμούς (Stratified Sampling with systematic constraints)	330
D6	Συγκομιδή 6 τυχαίων φυτών σε κάθε plot από κάθε σειρά	SR	Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία με συστηματικούς περιορισμούς (Stratified Sampling with systematic constraints)	108
D7	Συγκομιδή 36 τυχαίων φυτών σε κάθε plot	RS	Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία με συστηματικούς περιορισμούς (Stratified Sampling with systematic constraints)	108
D8	Συγκομιδή 30 τυχαίων φυτών σε κάθε plot	RS	Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία με συστηματικούς περιορισμούς (Stratified Sampling with systematic constraints)	90
D9	Συγκομιδή όλων των φυτών σε κάθε plot από 2 τυχαία επιλεγμένες σειρές	RC	Τυχαία Δειγματοληψία κατά συστάδες (Random Clustered Sampling)	108

4 Συμπεράσματα

Τα κύρια ευρήματα της μελέτης μας υποδεικνύουν ότι, βάσει ενός τριπλού συστήματος αξιολόγησης, το οποίο βασίζεται στα κριτήρια αξιολόγησης: (α) η σχετική διαφορά (%) μεταξύ των μέσων τιμών τους και των αντίστοιχων μέσων τιμών του πληθυσμού στόχου (D0), (β) οι αντίστοιχες τιμές CV, και (γ) αν τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% περιλαμβάνουν σαφώς τη μέση τιμή του πληθυσμού στόχου (D0), η Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία φαίνεται να είναι η κατάλληλότερη μέθοδος δειγματοληψίας για την εκτίμηση των υπό εξέταση χαρακτηριστικών απόδοσης φυτών αραβοσίτου (ύψος φυτού, νωπό, ξηρό βάρος και βάρος σπάδικα).

Αυτές οι εκτιμήσεις είναι πολύ κοντά σε εκείνες που προκύπτουν από τη συγκομιδή όλων των φυτών (σχέδιο δειγματοληψίας D0). Ιδιαίτερα, η "Στρωματοποιημένη Τυχαία Δειγματοληψία" μπορεί να θεωρηθεί ακόμα πιο κατάλληλη για την εκτίμηση συστατικών απόδοσης αραβοσίτου, καθώς απαιτεί λιγότερες μετρήσεις και μπορεί να εφαρμοστεί σε πειράματα με πολλά φυτά που δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιλογή της κατάλληλότερης μεθόδου δειγματοληψίας μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τους στόχους, τις ειδικές απαιτήσεις, το μέγεθος του τεμαχίου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τους διαθέσιμους πόρους.

Αυτή η μελέτη επιχειρεί να θέσει το πλαίσιο για την ανάπτυξη μιας πιο αποτελεσματικής και ευέλικτης χωρικής δειγματοληψίας για την αποτελεσματική εκτίμηση των βασικών χαρακτηριστικών απόδοσης φυτών αραβοσίτου σε πειραματικά τεμάχια.

Συνολική αξιολόγηση των μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας

Μέθοδος δειγματοληψίας	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Sampling designs:	CS	CS	SS	MS	SR	SR	RS	RS	RC
Ύψος φυτού (Plant height) (cm)	***	**	**	*	*	**	*	*	**
Νωπό βάρος (Fresh weight) (g)						**	**	*	*
Ξηρό βάρος (Dry weight) (g)	*	*	*	*	*	**	*	**	*
Βάρος σπάδικα (Ear weight) (g)	**	*	*	*	*	**	*	**	*

• Corresponding 95% confidence intervals clearly include the mean value of the target population (D0)
 • Lower CV among the designs that their 95% confidence intervals include the mean of the target population (D0)
 • Lower relative difference (%) compared to the corresponding mean value of the target population (D0)