



Cyprus
University of
Technology

Faculty of Geotechnical
Sciences and
Environmental
Management

Doctoral Dissertation

**CHARACTERIZATION OF DURUM WHEAT
GENETIC RESOURCES AND EVALUATION UNDER
CYPRUS CONDITIONS**

Angelos Kyratzis

Limassol, October 2017

CYPRUS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEOTECHNICAL SCIENCES AND
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL SCIENCES, BIOTECHNOLOGY
AND FOOD SCIENCE

Doctoral Dissertation

CHARACTERIZATION OF DURUM WHEAT GENETIC
RESOURCES AND EVALUATION UNDER
CYPRUS CONDITIONS

Angelos Kyratzis

Limassol, October 2017

Approval Form

Doctoral Dissertation

CHARACTERIZATION OF DURUM WHEAT GENETIC RESOURCES AND EVALUATION UNDER CYPRUS CONDITIONS

Presented by

Angelos Kyratzis

Supervisor: Faculty of Geotechnical Sciences and Environmental Management, Andreas Katsiotis, Professor, Cyprus University of Technology

Member of the committee: Ioannis Tokatlidis, Professor, Democritus University of Thrace

Member of the committee: Dimitris Tsaltas, Associate Professor, Cyprus University of Technology

Cyprus University of Technology

Limassol, October 2017

Copyrights

Copyright © 2017, Angelos Kyrtzis

All rights reserved.

The approval of the dissertation by the Department of Agricultural Sciences, Biotechnology and Food Science does not imply necessarily the approval by the Department of the views of the writer.

ACKNOWLEDGEMENT

The completion of this research project needed the support and encouragement of many people and, therefore, there is a long list of people that I owe thanks to. First of all, I would like to thank my supervisor, Prof. Andreas Katsiotis, not only for his constant support and valuable guidance but also for his patience and understanding when family emergencies and my job obligations delayed the progress of my research. I also express my great gratitude to the other two members of my Advisory Committee, Dr Vassilis Fotopoulos and Dr Georgios Menexes, who generously offer their expertise and advises.

This study would not have been possible without the cooperation of some individuals from the Cyprus University of Technology. Dr Dimitrios Skarlatos and Mr Vasileios Vamvakousis kindly provided the necessary equipment and expertise for the field measurements of spectral vegetation indices. Dr Nikos Nikoloudakis shared his knowledge in the part of the research related with the assessment of the genetic diversity with molecular markers. Mike Orford, Chrystalla Antoniou and Simoni Symeou are acknowledged for their assistant to the laboratory.

I am hugely indebted to the Director of the Agricultural Research Institute, Cyprus, Dr Dora Chimonidou, to the head of the Vegetable Crop Sector, Dr Marios Kyriakou, and to the former head of the Plant Breeding Sector, Sofoklis Gregoriou, for the continuous support to my research. Greatly in depth, I am to Andreas Pallides, Lazaros Apostolides, Dimitris Kourtelarides, Eleni Kiourtsidou, Maro Hadjievangelou, Constantinos Nikiforou and Savas Kyriakides who helped me with the field measurements. Dr Lampros Papayiannis and Dr Georgos Soteriou kindly provided assistance and advice in molecular techniques and data analysis. A special mention I owe to the former head of the Plant Breeding Sector, Dr Costas Josephides, who was the first person that believed in me, and for generously sharing all his knowledge on durum wheat breeding long before the initiation of my thesis.

During the PhD years, I was blessed to have the support of my friends, my family, my sister and especially my parents. This thesis wouldn't have been finished without the unconditional support and the sacrifices of my parents.

Despite the creative and unique experiences, unfortunately the journey was connected with a series of very sad events. I wouldn't be able to continue without the enormous support of my wife, Despina Kyprinou, who was always there for me. She was the person who convinced me to apply for a PhD, she was the person who showed enormous patience for the endless hours I was away, she was the person who was keeping me up when I was losing my willingness to continue. Last, I would like to thank my son, Constantinos. His smile and hugs offered me the greatest motivation.

This thesis is dedicated to my parents, my wife and my son as a very small compensation for their sacrifices and as a humble apology for what I took away from them all these years.

ABSTRACT

Breeders need to intensify their efforts to meet the challenges arising from the growing population and from climate change. Genotypic characterization, phenotypic evaluation and exploitation of high throughput technologies will be crucial in order to achieve their goals. The main objectives of this doctoral dissertation were (1) to characterize a set of 55 durum wheat accessions, including modern varieties from different breeding programs and landraces originated from Cyprus and other Mediterranean areas using microsatellites, (2) to evaluate a subset of twenty modern varieties for grain yield and other important agronomic traits under diverse climatic conditions, and (3) to evaluate the usefulness of high throughput, remote sensing techniques for plant phenotyping under a water limited and heat stressed environment.

High genetic diversity was detected. Landraces formed distinct groups and depicted higher genetic variability than modern varieties reinforcing their potential use to plant breeding. The highest genetic variability was observed in Cypriot landraces suggesting the existence of unique genetic diversity within this gene pool. High genetic diversity was also detected in Cypriot landrace "Kyperounda". The genetic diversity was higher in accessions conserved as sublimes. The genetic differentiation between "Kyperounda" accessions and the different clustering of landrace accessions conserved under the same name signifies that passport data is not a reliable method to eliminate duplicates in genebanks.

Phenotypic evaluation revealed the existence of genetic diversity for all the traits, however, for most of them the highest percentage of variance was explained by the environmental effect. In most cases, number of seeds per m² was significantly correlated with grain yield and the correlations were stronger in the low yielding environments. Number of seeds per spike was the trait consistently related with number of seeds per m². Trait offs between yield components were recorded. Varieties had different yield formation strategies. The two highest yielding varieties had the highest number of fertile tillers per m² combined with high number of seeds per spike or high kernel weight. The differences between varieties for plasticity were significant for yellow pigment content, protein content, gluten index, growing degree days to heading, thousand kernel weight

and plant height. In some cases, significant correlations were found between plasticities and between plasticities and the traits *per se*.

Statistically significant differences between varieties were observed for Spectral Vegetation Indices derived by Unmanned Aerial Vehicle imagery. Grain yield was significantly correlated with SVIs, when recorded at early reproductive stages. Both positive and negative correlations were observed indicating that the environmental conditions during grain filling can affect the sign of the correlations. The predictive ability of SVIs was affected by plant phenology. Correlations of grain yield with SVIs were stronger as the correlations of SVIs with heading were weaker or not significant. These findings highlight the potential use of SVIs derived by UAV imagery for durum wheat phenotyping at low yielding Mediterranean conditions.

Keywords: diversity, durum wheat, genetic resources, grain yield, Mediterranean, microsatellites, spectral vegetation indices

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο γενετικός χαρακτηρισμός γενετικών πόρων αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την βελτιστοποίηση των στρατηγικών διατήρησης γενετικού υλικού και την αξιοποίηση του σε προγράμματα βελτίωσης. Η φαινοτυπική αξιολόγηση κάτω από διαφορετικά περιβάλλοντα επιτρέπει την εκτίμηση της παραλλακτικότητας για σημαντικά αγρονομικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά και τον υπολογισμό των συσχετίσεων τους με την απόδοση. Οι τεχνολογίες υψηλής απόδοσης, όπως η τηλεπισκόπηση, έχουν αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη φαινοτύπηση φυτών επειδή είναι γρήγορες και φτηνές μέθοδοι. Οι κύριοι στόχοι αυτής της διδακτορικής διατριβής ήταν: (1) ο γενετικός χαρακτηρισμός 55 καταχωρήσεων σκληρού σιταριού, συμπεριλαμβανομένων μοντέρνων ποικιλιών από διαφορετικά προγράμματα βελτίωσης και παραδοσιακών ποικιλιών προερχόμενων από την Κύπρο και άλλες περιοχές της Μεσογείου με μικροδορυφόρους, (2) η αξιολόγηση 20 μοντέρνων ποικιλιών για απόδοση και άλλα σημαντικά αγρονομικά χαρακτηριστικά κάτω από διαφορετικές εδαφο-κλιματικές συνθήκες, και (3) η αξιολόγηση της χρησιμότητας μεθόδων υψηλής απόδοσης τηλεπισκόπησης για μαζική φαινοτύπηση κάτω από ένα ξηρό και θερμό περιβάλλον.

Οι μικροδορυφόροι κατέδειξαν την ύπαρξη μεγάλης γενετικής παραλλακτικότητας. Οι παραδοσιακές ποικιλίες δημιούργησαν ξεχωριστές ομάδες και παρουσίασαν μεγαλύτερη γενετική παραλλακτικότητα από τις μοντέρνες ποικιλίες ενισχύοντας τη δυνατότητα αξιοποίησης τους στα προγράμματα βελτίωσης. Η μεγαλύτερη γενετική παραλλακτικότητα παρατηρήθηκε στις κυπριακές παραδοσιακές ποικιλίες υποδεικνύοντας την πιθανή ύπαρξη μοναδικής ποικιλομορφίας εντός αυτής της γενετικής δεξαμενής. Μεγάλη γενετική παραλλακτικότητα παρατηρήθηκε και εντός της κυπριακής παραδοσιακής ποικιλίας «Κυπερούντα». Η γενετική ποικιλομορφία ήταν μεγαλύτερη εντός των καταχωρήσεων που διατηρούνται ως ξεχωριστές γραμμές προερχόμενες από ένα στάχυ. Η γενετική διαφοροποίηση των καταχωρήσεων της «Κυπερούντας» και η διαφορετική κατάταξη των καταχωρήσεων με ίδιο όνομα στην ανάλυση συστάδων υποδεικνύει ότι τα δεδομένα συλλογής δεν είναι αξιόπιστος τρόπος για περιορισμό διπλών δειγμάτων.

Η φαινοτυπική αξιολόγηση κατέδειξε την ύπαρξη σημαντικής γενετικής παραλλακτικότητας για όλα τα χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν, παρόλα αυτά, για τα

περισσότερα η επίδραση του περιβάλλοντος ήταν μεγαλύτερη. Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ του αριθμού σπόρων ανά τ.μ. και της απόδοσης στα περισσότερα περιβάλλοντα και οι συσχετίσεις ήταν μεγαλύτερες στα δύο περιβάλλοντα με τη χαμηλότερη απόδοση. Ο αριθμός σπόρων ανά στάχυ ήταν το χαρακτηριστικό που συστηματικά συσχετιζόταν σημαντικά με τον αριθμό σπόρων ανά τ.μ. Παρατηρήθηκαν επίσης αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των συστατικών απόδοσης. Οι ποικιλίες είχαν διαφορετικές στρατηγικές διαμόρφωσης της απόδοσης. Οι δύο ποικιλίες με την μεγαλύτερη παραγωγή είχαν το μεγαλύτερο αριθμό γόνιμων αδελφίων ανά τ.μ. σε συνδυασμό με ψηλό αριθμό σπόρων ανά στάχυ, ή βάρος χιλίων κόκκων, αντίστοιχα. Οι ποικιλίες διέφεραν μεταξύ τους ως προς την πλαστικότητα τους για τα περισσότερα χαρακτηριστικά. Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρατηρήθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των πλαστικοτήτων των ποικιλιών ή μεταξύ των πλαστικοτήτων και των μέσων όρων των ποικιλιών για διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών για τους Δείκτες Βλάστησης υπολογιζόμενους με ανάλυση φωτογραφίας προερχόμενη από μη επανδρωμένα σκάφη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η απόδοση συσχετιζόταν σημαντικά με τους δείκτες βλάστησης. Οι συσχετίσεις ήταν θετικές ή αρνητικές υποδεικνύοντας ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του γεμίσματος του σπόρου μπορούν να επηρεάσουν το πρόσημο των συσχετίσεων. Η υπολογιστική ικανότητα της απόδοσης των Δεικτών Βλάστησης επηρεάστηκε από τη διαφορετική φαινολογία των ποικιλιών. Οι συσχετίσεις της απόδοσης με τους Δείκτες Βλάστησης ήταν μεγαλύτερες όταν οι συσχετίσεις του χρόνου ξεσταχυάσματος με τους Δείκτες Βλάστησης ήταν μικρότερες ή μη σημαντικές. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την δυνατότητα χρήσης των Δεικτών Βλάστησης, υπολογιζόμενοι από φωτογραφία προερχόμενη από μη επανδρωμένα σκάφη, για φαινοτύπηση σκληρού σιταριού σε Μεσογειακά περιβάλλοντα χαμηλής απόδοσης.

Λέξεις κλειδιά: ποικιλομορφία, παραλλακτικότητα, σκληρό σιτάρι, γενετικοί πόροι, απόδοση σε σπόρο, Μεσόγειος, δείκτες βλάστησης.