

Μοριακή Βιολογία και Γενετική Φυτών

Τμήμα Μοριακής Βιολογίας & Γενετικής

Ακ. Έτος 2025-2026



Μαργαρίτης Τσιφιντάρης, PhD

mtsifintaris@gmail.com / mtsifint@mbg.duth.gr



Green plant genomes: What we know in an era of rapidly expanding opportunities

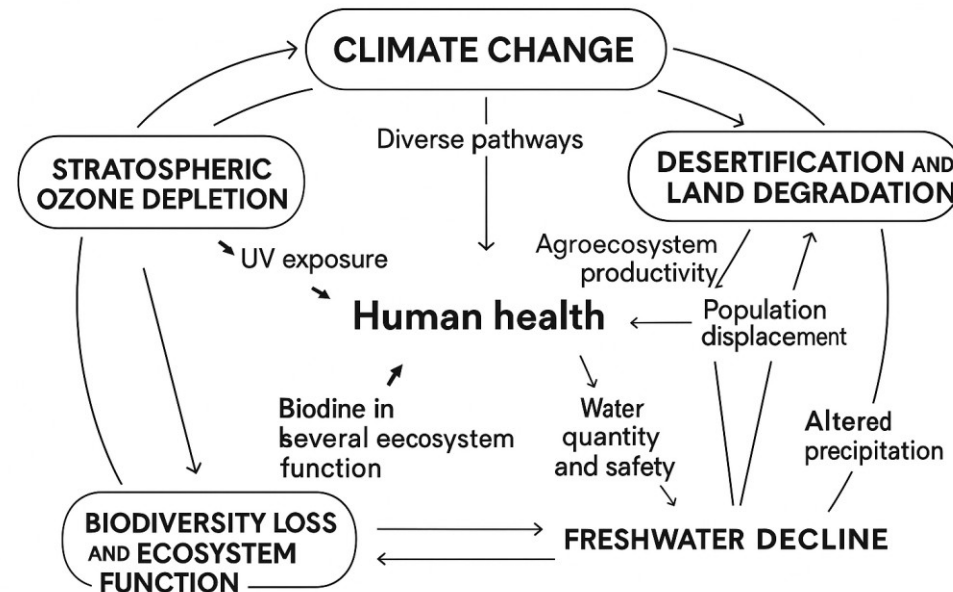
W. John Kress^{a,b,c,1} , **Douglas E. Soltis^{d,e,f}** , **Paul J. Kersey^g** , **Jill L. Wegrzyn^h** , **James H. Leebens-Mackⁱ**,
Morgan R. Gostel^j , **Xin Liu^k**, and **Pamela S. Soltis^{d,e}** 

Edited by Harris Lewin, Genome Center, Department of Evolution and Ecology, University of California, Davis, CA; received September 14, 2021; accepted November 16, 2021

Kress WJ, Soltis DE, Kersey PJ, Wegrzyn JL, Leebens-Mack JH, Gostel MR, Liu X, Soltis PS. Green plant genomes: What we know in an era of rapidly expanding opportunities. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2022 Jan 25;119(4):e2115640118. doi: 10.1073/pnas.2115640118. PMID: 35042803; PMCID: PMC8795535.

Green plants (Viridiplantae)

- Περίπου μισό εκατομμύριο είδη πράσινων φυτών (Viridiplantae) υπάρχουν σήμερα στον πλανήτη
- Αποτελούν θεμελιώδεις κινητήριες δυνάμεις των παγκόσμιων οικοσυστημάτων και είναι καθοριστικής σημασίας για την ανθρώπινη υγεία και ευημερία
- Μεγάλη συμβολή στη γεωργία, στην ιατρική και στις οικολογικές διεργασίες.



Πόσα είδη φυτών υπάρχουν;

- Η Παγκόσμια Στρατηγική για τη Διατήρηση των Φυτών (Global Strategy for Plant Conservation, GSPC), στο πλαίσιο της Σύμβασης για τη Βιολογική Ποικιλότητα (CBD), έθεσε στη συνεδρίαση της Ναγκόγια το 2010 τον στόχο δημιουργίας, έως το 2020, μιας διαδικτυακής χλωρίδας όλων των γνωστών φυτών.

Κοινή Ονομασία		Εκτιμώμενος αριθμός ειδών	Πηγή
Αγγειόσπερμα	Angiosperms	~450.000 (10–20% άγνωστα)	Pimm & Joppa (2015)
Γυμνόσπερμα	Gymnosperms	~1.000	Christenhusz et al. (2011)
Πτεριδόφυτα – Φτέρες	Monilophyta (Ferns)	~10.000	Ranker & Sundue (2015)
Λυκόφυτα	Lycopodiophyta (Lycophytes)	~1.300	
Βρυόφυτα – Βρύα	Bryophyta (Mosses)	~9.000	Magill (2010)
Συκώτιες – Ηπατόφυτα	Marchantiophyta (Liverworts)	~7.500	Von Konrat et al. (2010)
Ανθόσπερμα – Ανθόφυτα	Anthocerotophyta (Hornworts)	~200–250	Villarreal et al. (2010)

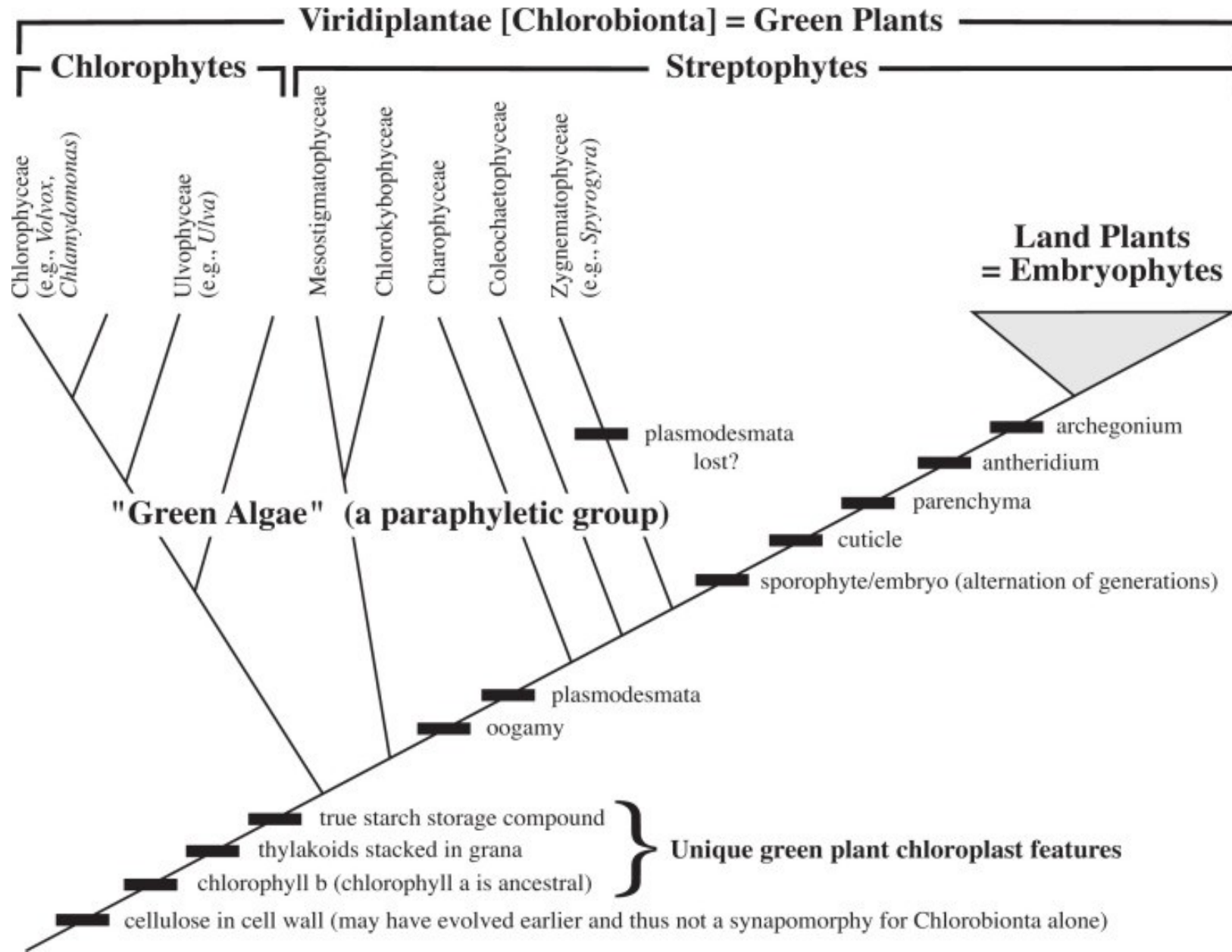
Corlett RT. Plant diversity in a changing world: Status, trends, and conservation needs. Plant Divers. 2016 May 24;38(1):10-16. doi: 10.1016/j.pld.2016.01.001. PMID: 30159445; PMCID: PMC6112092.

- ~ 500.000 είδη

Viridiplantae - Η εξέλιξη των GREEN PLANTS

- Οι φυτικοί οργανισμοί (Viridiplantae ή Chlorobionta) αποτελούν μια μονοφυλετική ομάδα ευκαρυωτικών οργανισμών που περιλαμβάνει:
 - τα “πράσινα φύκη” (green algae)
 - τα χερσαία φυτά (Embryophyta).
- Πολλά από τα δομικά και μορφολογικά γνωρίσματα που θεωρούμε χαρακτηριστικά των χερσαίων φυτών προέκυψαν πριν τα φυτά εγκατασταθούν στη στεριά.
- Viridiplantae: περιλαμβάνουν όλους τους φωτοσυνθετικούς φυτικούς οργανισμούς με χλωροφύλλη b και χλωροπλάστες

Viridiplantae – Η εξέλιξη των GREEN PLANTS



Γονιδιωματική των Φυτών (plant genomic information)

- Το σύγχρονο περιβάλλον αλλάζει ραγδαία:
 - καταστροφή ενδιαιτημάτων (οικότοποι)
 - απώλεια ειδών και βιοποικιλότητας
 - κλιματική αλλαγή
 - διατάραξη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ οργανισμών

Η μελέτη των γονιδιωμάτων των φυτών είναι θεμελιώδης για:

- την αξιοποίηση των φυτών στην επίλυση περιβαλλοντικών και διατροφικών προκλήσεων
- τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγής και την ανάπτυξη ανθεκτικών καλλιεργειών
- την προστασία της βιοποικιλότητας και την οικολογική αποκατάσταση

Γονιδιωματική των Φυτών

- Μέχρι σήμερα, έχουν πλήρως αλληλουχηθεί τα γονιδιώματα 6.480 ευκαρυωτικών ειδών
- Από αυτά, μόλις 812 είδη είναι πράσινα φυτά (~13%)

(International Nucleotide Sequence Database Collaboration [INSDC])

- Ωστόσο, ο συνολικός αριθμός ειδών πράσινων φυτών εκτιμάται σε περίπου 500.000
- Αυτό σημαίνει ότι λιγότερο από το 0,2% των φυτικών ειδών διαθέτει πλήρες γονιδίωμα.. ΓΙΑΤΙ ?

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών γονιδιωματικής επικεντρώθηκε κυρίως σε σπονδυλωτούς οργανισμούς (π.χ. άνθρωπος, ποντίκι)

Γιατί είναι σημαντική η χαρτογράφηση όλων των φυτικών γονιδιωμάτων;

- Να αποκωδικοποιήσουμε την καταγωγή και φυλογένεση των φυτών
- Να κατανοήσουμε τη γονιδιωματική βάση της ειδογένεσης (δηλαδή πώς δημιουργούνται νέα είδη)
- Να εκτιμήσουμε τον πραγματικό αριθμό φυτικών ειδών στον πλανήτη
- Να αποκαλύψουμε ποιες γενετικές περιοχές ελέγχουν εξειδικευμένα χαρακτηριστικά των φυτών
- Να παρακολουθούμε τη σύνθετη λειτουργία των οικοσυστημάτων μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ειδών
- Να διατηρήσουμε γενότυπους φυτικών ειδών πριν εξαφανιστούν
- Να ανακαλύψουμε φυσικές φυτικές ενώσεις με φαρμακευτική ή άλλη βιοτεχνολογική χρήση
- Να βελτιώσουμε την ποιότητα ζωής μέσα από την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και ανθεκτικών καλλιεργειών

Βασικά ερωτήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας:

- Πόσο διαφέρουν τα γονιδιώματα των πράσινων φυτών σε μέγεθος, δομή και πολυπλοκότητα σε σχέση με άλλα βασίλεια (π.χ. σπονδυλωτά, αρθρόποδα, μικρόβια);
- Ποιες είναι οι “σκοτεινές ομάδες” (dark clades) — φυτικές γραμμές για τις οποίες δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου γονιδιωματική πληροφορία;
- Πόσο πλήρη είναι τα διαθέσιμα γονιδιώματα; Πληρούν τις προδιαγραφές συνοχής και ποιότητας;
- Πώς μπορούμε να καθορίσουμε ρεαλιστικά/πρακτικά πρότυπα για τη συναρμολόγηση και σχολιασμό γονιδιωμάτων, ώστε να απαντώνται βασικά ερωτήματα για τη δομή και λειτουργία τους;
- Πώς μπορούμε να επεκτείνουμε την κλίμακα αυτών των μελετών με περιορισμένους πόρους;

Πρακτικά προβλήματα..

- Τα γονιδιώματα των φυτών παρουσιάζουν ακραία ποικιλομορφία σε:
 - μέγεθος (από πολύ μικρά έως τεράστια)
 - περιεκτικότητα σε επαναληπτικό DNA και μεταθετά στοιχεία (Transposable Elements - TEs)
 - επίπεδα πολυπλοειδίας
- Η μεταβλητότητα αυτή καθιστά τη συγκριτική ανάλυση μεταξύ ειδών δύσκολη, χωρίς ενιαία πρότυπα

Πόσα γονίδια έχουν τα φυτά;

- Ο συνολικός αριθμός κωδικών γονιδίων είναι σχετικά σταθερός στα φυτά:
Μέσος όρος ~40.000 γονίδια (βασισμένο σε annotations με υποστήριξη από μεταγραφώματα)

Παραδείγματα:

- *Spirodela polyrhiza* (duckweed): ~19.623 γονίδια
- *Medicago truncatula* (τετραπλοειδές burclover): ~50.000 γονίδια
- *Gossypium hirsutum* (βαμβάκι): ~75.000 γονίδια

The outer circle (filled in gray) shows taxa indicated with yellow bars for which transcriptome data are available.

*Light purple, green algae;
black, liverworts;
dark green, bryophytes;
brown, hornworts;
light blue, ferns and lycophytes;
light green, gymnosperms;
orange, angiosperms.*

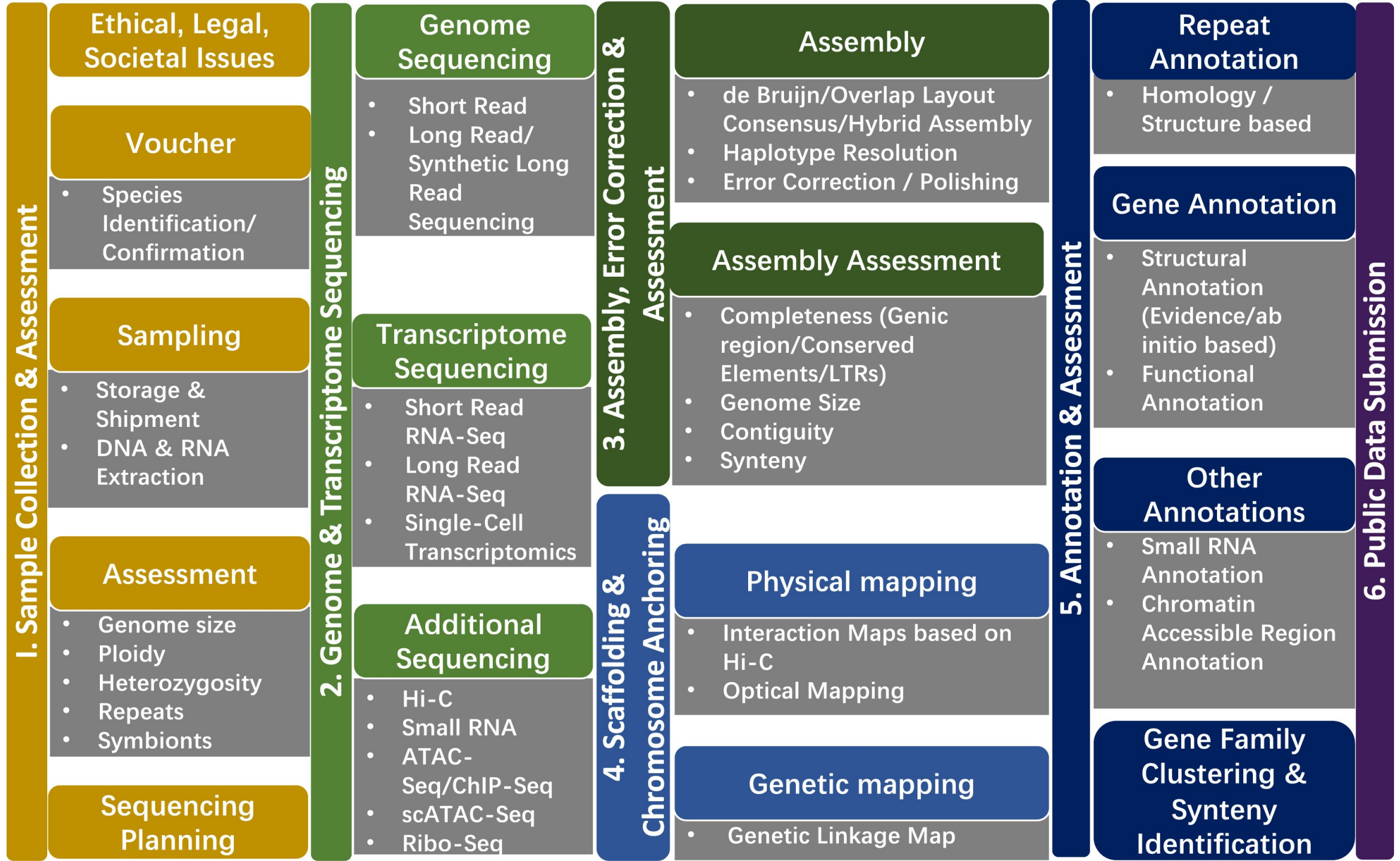
Η πλειοψηφία των δεδομένων αφορά καλλιεργούμενα φυτά, αφήνοντας πολλά είδη χωρίς γονιδιωματική πληροφορία

Τι είναι ένα "γονιδίωμα αναφοράς" (reference genome);

- Ένα πλήρες γονιδίωμα αναφοράς (complete reference genome) περιλαμβάνει:
- Την πλήρη αλληλουχία όλων των χρωμοσωμάτων
- Και τη 'σχολιασμένη πληροφορία' (annotation) για:
 - Την οργάνωση των γονιδίων
 - Τις μη κωδικές περιοχές
 - Τα κεντρομερίδια και τα άκρα των χρωμοσωμάτων

Ωστόσο, οι περισσότερες διαθέσιμες συναρμολογήσεις (assembly) σήμερα:

- Παρέχουν μερική εικόνα, κυρίως για την κωδική περιοχή του γονιδιώματος



Ροή εργασίας γονιδιωματικής ανάλυσης (plant genome workflow)

1. **Συλλογή δείγματος**
 - Άδειες
 - Εκχύλιση DNA/RNA, ποιοτικός έλεγχος
2. **Αλληλούχιση γονιδιώματος & μεταγραφώματος**
 - Τεχνολογίες short-read & long-read (π.χ. PacBio, Nanopore)
 - RNA-seq & single-cell ανάλυση
3. **Συναρμολόγηση & διόρθωση**
 - Ανάλυση πληρότητας, συνέχειας, ακρίβειας
4. **Scaffolding (Chromosome Anchoring)**
 - Φυσική & γενετική χαρτογράφηση (Hi-C, optical mapping)
5. **Σχολιασμός (annotation)**
 - Κωδικά γονίδια, επαναλήψεις, μικρά RNAs, ρυθμιστικές περιοχές
 - Συσχέτιση με βιολογικές λειτουργίες
6. **Κατάθεση δεδομένων**
 - Αποθετήρια Ανοιχτής πρόσβασης (π.χ. GenBank, EMBL-EBI, DDBJ)

Γιατί έχει σημασία η ποιότητα;

- Μόνο assemblies επιπέδου χρωμοσώματος θεωρούνται πλήρη “γονιδιώματα”
- Οι αλληλουχίες μικρών reads:
 - Είναι χρήσιμες για αρχικές εκτιμήσεις
 - Δεν αποκαλύπτουν δομική οργάνωση
- Η προσθήκη long-read τεχνολογιών:
 - Επιτρέπει ακριβή αποκατάσταση δομής
 - Ανιχνεύει πολυπλοκότητες όπως γονιδιακή επικάλυψη, πολυπλοειδία, δομικές παραλλαγές
- Τα rangenomes προσφέρουν πλήρη εικόνα της ποικιλότητας ενός είδους

