

TreeTOPS

ένα εισαγωγικό παιχνίδι για τα φυλογενετικά δέντρα



EMBL



ELLS – European Learning Laboratory for the Life Sciences

1 Γενικός σκοπός

Το συγκεκριμένο παιχνίδι έχει ως στόχο να εισάγει τους παίκτες στη φυλογενετική ανάλυση – τη μελέτη, δηλαδή, των εξελικτικών σχέσεων μεταξύ ταξινομικών ομάδων (π.χ. οργανισμών, ειδών και πληθυσμών) ή άλλων βιολογικών μονάδων (π.χ. γονιδίων και πρωτεϊνών). Χρησιμοποιώντας μικρά τμήματα που φέρουν χρωματικά μοτίβα, οι παίκτες δουλεύουν σε ομάδες για να κατασκευάσουν το δικό τους φυλογενετικό δέντρο, έτσι ώστε να απεικονίσουν τις εξελικτικές σχέσεις “φανταστικών” ταξινομικών ομάδων ή βιολογικών μονάδων.



ATTTTACAAAGA
ATAGAATCGAGTTAAAA
AACTATAACTCACATAATGTA
ATTAGACACAACATTAAGATG
ATGGCCCTGTCCTTTTACCAGA
AAAAGAGAGATCACATGATCCTT
AGGAGAAGAACTTTTCACTGGA

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Κλασική εναντίον Μοριακής προσέγγισης στη φυλογενετική ανάλυση

Η κατασκευή φυλογενετικών δέντρων παίζει ρόλο “κλειδί” στην κατανόηση των εξελικτικών διαδικασιών. Οι παραδοσιακές μέθοδοι συστηματικής κατάταξης προσπαθούσαν να διαφωτίσουν τις εξελικτικές σχέσεις κλασικών ταξινομικών βαθμίδων όπως είναι τα Φύλα, τα Είδη ή οι Οικογένειες και βασίζονταν σε μορφολογικές παρατηρήσεις και φαινοτυπικά χαρακτηριστικά των οργανισμών. Η σημαντική πρόοδος που συντελείται τα τελευταία χρόνια στον κλάδο της Μοριακής Βιολογίας, έχει φέρει επανάσταση στις φυλογενετικές μελέτες τόσο των οργανισμών, όσο και των μορίων τους. Τεχνικές όπως η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR), η RFLP (restriction fragment length polymorphism) και, πιο πρόσφατα, η αλληλούχηση πλήρων γονιδιωμάτων (whole genome sequencing), μαζί με την αύξηση του αριθμού και του είδους των βιολογικών βάσεων δεδομένων, έχουν διευρύνει σημαντικά το πεδίο των φυλογενετικών μελετών και έχουν επιτρέψει τους επιστήμονες να κατασκευάσουν φυλογενετικά δέντρα βασισμένα στη μοριακή σύσταση των οργανισμών. Μέσω αυτών εξελίξεων, τα μοριακά δεδομένα έχουν πλέον καταστεί η πρωταρχική πηγή πληροφοριών για την κατασκευή φυλογενετικών δέντρων.

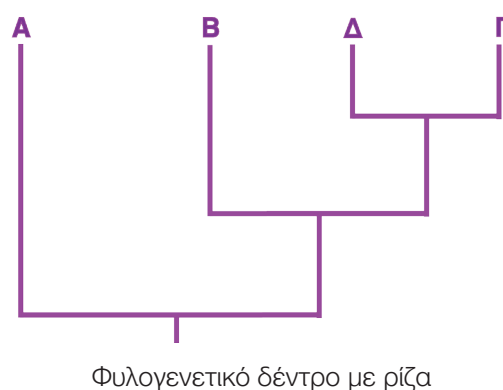
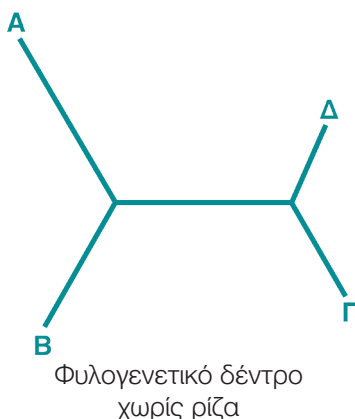
Υπάρχουν πολυάριθμα παραδείγματα σχετικά με το πως η χρήση μοριακών δεδομένων στη φυλογενετική ανάλυση έχει βοηθήσει τη μελέτη της εξέλιξης των οργανισμών. Για παράδειγμα, μέχρι τη δεκαετία του 1970, οι Μύκητες ταξινομούνταν ως ένα Υποβασίλειο των Φυτών. Μέσω της ανάλυσης μοριακών δεδομένων προέκυψε ότι οι Μύκητες είναι ουσιαστικά περισσότερο συγγενικοί με τα ζώα από ότι με τα φυτά. Αυτό οδήγησε σε ριζική ανακατάταξη στην ταξινόμησή τους, οπότε και δημιουργήθηκε ξεχωριστό Βασίλειο, αυτό των Μυκήτων. Επιπλέον, τα μοριακά δεδομένα αλληλουχιών έχουν επιτρέψει στους επιστήμονες να εφαρμόσουν συστήματα ταξινομικής κατάταξης για ιούς, γονίδια και πρωτεΐνες, παρέχοντας έτσι σημαντική γνώση σχετική με ολόκληρο το φάσμα των βιολογικών και ιατρικών επιστημών από την εξέλιξη, την πρωτεομική ως και την ιατρική. Μέσω της χρήσης μοριακών δεδομένων για την αποτίμηση της εξελικτικής συγγένειας βιολογικών μονάδων, η ταυτοποίηση ταξινομικών κοινών προγόνων μεταξύ οργανισμών έχει καταστεί πιο ακριβής. Η πρόοδος αυτή δεν παρέχει μόνο ζωτικής σημασίας στοιχεία για τις εξελικτικές σχέσεις των οργανισμών, αλλά μπορεί να βοηθήσει στην εξεύρεση νέων οργανισμών-μοντέλων ή οργανισμών που είναι οι πιο κοντινοί σύγχρονοι συγγενείς παλαιότερων οργανισμών.

Τα βασικά για τα φυλογενετικά δέντρα

Στα φυλογενετικά δέντρα, ο βαθμός της εξελικτικής σχέσης μεταξύ των χρησιμοποιούμενων μονάδων εκφράζεται ως συνάρτηση της θέσης κάθε μονάδας ενδιαφέροντος (π.χ. είδος, πληθυσμός, γονίδιο) ως προς την άλλη. Οι μονάδες που είναι περισσότερο συγγενικές μεταξύ τους τοποθετούνται πιο κοντά, ενώ οι μονάδες που είναι λιγότερο συγγενικές μεταξύ τους τοποθετούνται σε διαφορετικούς κλάδους του φυλογενετικού δέντρου. Στο παρακάτω κείμενο συγκρίνονται δύο από τους πιο κοινούς τύπους φυλογενετικών δέντρων και παρουσιάζεται η ορολογία που χρησιμοποιείται στη φυλογενετική ανάλυση.

Φυλογενετικά δέντρα με ρίζα και χωρίς ρίζα

Ένα φυλογενετικό δέντρο χωρίς ρίζα δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με τον κοινό πρόγονο της υπό μελέτη ομάδας. Το φυλογενετικό δέντρο χωρίς ρίζα μπορεί να μετατραπεί σε φυλογενετικό δέντρο με ρίζα – δηλαδή σε φυλογενετικό δέντρο που παρέχει πληροφορίες για τον κοινό πρόγονο (ρίζα) της υπό μελέτη ομάδας. Συγκρίνοντας το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει και είναι παρόν στην υπό μελέτη ομάδα (ενδοομάδα ή ingroup) με το χαρακτηριστικό που είναι παρόν στην ομάδα που είναι λιγότερο συγγενική με την ενδοομάδα και που ονομάζεται εξωομάδα (outgroup), μπορούμε να καθορίσουμε αν το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι προγονικό – ancestral (δηλαδή υπήρχε στον κοινό πρόγονο) ή αν είναι παράγωγο – derived (δηλαδή δεν ήταν παρόν στον κοινό πρόγονο).



Ορολογία φυλογενετικών δέντρων με ρίζα

Κλαδί

Συνδέει τους κόμβους του δέντρου και αναπαριστά το προτεινόμενο εξελικτικό μονοπάτι της συγκεκριμένης φυλογενετικής γραμμής.

Ρίζα

Κόμβος που αναπαριστά τον κοινό πρόγονο όλων των κόμβων στο δέντρο.

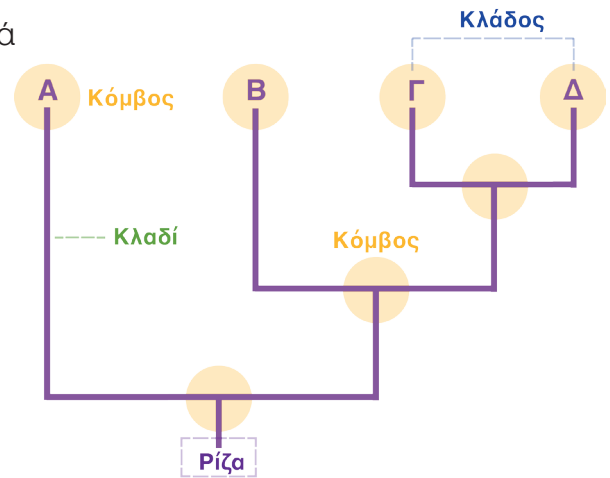
Κόμβος

Εσωτερικός κόμβος: αναπαριστά τον υποθετικό κοινό πρόγονο.

Τερματικός κόμβος (φύλλο): αναπαριστά (συνήθως αρτίγονες/σύγχρονες) ταξινομικές βαθμίδες (πληθυσμούς, είδη, γονίδια, πρωτεΐνες, κλπ.) οι οποίες συγκρίνονται με τις υπόλοιπες ταξινομικές βαθμίδες (taxa) του δέντρου.

Κλάδος

Σε έναν κλάδο όλα τα μέλη μοιράζονται κοινό πρόγονο, ο οποίος δεν είναι ο κοινός πρόγονος όλων των άλλων των άλλων ταξινομικών βαθμίδων του δέντρου.



Προκλήσεις στην κατασκευή φυλογενετικών δέντρων

Κατά την αποτίμηση του πως βιολογικές μονάδες σχετίζονται η μια με την άλλη, υποθετικές εξελικτικές διαδικασίες όπως παράλληλη, συγκλίνουσα ή δικτυωτή εξέλιξη εμφανίζουν τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Οι πιθανότητες εμφάνισης τέτοιων εξελικτικών γεγονότων στην υπό μελέτη ομάδα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κατασκευή του φυλογενετικού δέντρου. Το κείμενο που ακολουθεί συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των τριών αυτών τύπων εξελικτικών διαδικασιών.

Παράλληλη εξέλιξη

Η παράλληλη εξέλιξη (parallel evolution) περιγράφει τη διαδικασία με την οποία οργανισμοί, taxa ή άλλες βιολογικές μονάδες (π.χ. γονίδια ή πρωτεΐνες) που έχουν προκύψει από κοινό πρόγονο έχουν αποκτήσει ανεξάρτητα συγκρίσιμα (ανάλογα) χαρακτηριστικά. Η παράλληλη εξέλιξη μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της προσαρμογής των βιολογικών μονάδων σε όμοιες οικολογικές συνθήκες (όμοιοι οικολογικοί θώκοι) για παράδειγμα, ή να απορρέει από άλλες επιλεκτικές πιέσεις.

Συγκλίνουσα εξέλιξη

Η συγκλίνουσα εξέλιξη (convergent evolution) περιγράφει τη διαδικασία με την οποία οργανισμοί, taxa ή άλλες βιολογικές μονάδες (π.χ. γονίδια ή πρωτεΐνες) που δεν έχουν προκύψει από κοινό πρόγονο, έχουν αποκτήσει ανεξάρτητα συγκρίσιμα (ανάλογα) χαρακτηριστικά. Η συγκλίνουσα εξέλιξη μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της προσαρμογής των βιολογικών μονάδων σε όμοιες οικολογικές συνθήκες (όμοιοι οικολογικοί θώκοι) για παράδειγμα, ή να απορρέει από άλλες επιλεκτικές πιέσεις.

Δικτυωτή εξέλιξη

Η δικτυωτή εξέλιξη (reticulate evolution) περιγράφει τη διαδικασία με την οποία γενετικά διακριτές/ά γενεαλογίες/είδη ανασυνδυάζονται, με αποτέλεσμα να προκύπτει ένα νέο είδος, το οποίο είναι αναπαραγωγικά απομονωμένο από τα αρχικά είδη. Αυτή η περίπτωση ειδογένεσης ονομάζεται υβριδική ειδογένεση. Λαμβάνοντας υπόψη πιθανά γεγονότα δικτυωτής εξέλιξης όταν κατασκευάζουμε ένα φυλογενετικό δέντρο, μια αυστηρά ιεραρχική δομή φυλογενετικού δέντρου μπορεί να μην αντανακλά, απαραίτητα, τις εξελικτικές σχέσεις της υπό μελέτη ομάδας.

Όπως όταν αναλύουμε την εξελικτική σχέση μεταξύ κλασικών βιολογικών μονάδων (π.χ. ειδών ή πληθυσμών), έτσι και όταν μελετάμε την εξέλιξη γονιδίων ή πρωτεϊνών συγκρίνουμε ομόλογες αλληλουχίες DNA και αμινοξέων, καθώς και τις λειτουργίες τους για να καθορίσουμε την εξελικτική τους σχέση. Οι **ομόλογες αλληλουχίες** εμφανίζουν όμοιες ή παρόμοιες αλληλουχίες και έχουν κοινή καταγωγή. Το γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να προκύψουν ομόλογες αλληλουχίες, αποτελεί πρόκληση όταν αποτιμώνται εξελικτικές σχέσεις. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να ερευνήσουμε τις πιθανές εξελικτικές διαδικασίες οι οποίες μπορεί να έπαιξαν ρόλο στην εξέλιξη της υπό μελέτη ομάδας. Οι δύο πιο κοινοί τύποι ομολόγων αλληλουχιών ορίζονται παρακάτω.

Ορθόλογες αλληλουχίες

Ομόλογες βιολογικές μονάδες (π.χ. γονίδια ή πρωτεΐνες) ονομάζονται ορθόλογες αν βρεθούν σε διαφορετικά είδη και κατάγονται από την ίδια προγονική βιολογική μονάδα (κοινός πρόγονος). Ορθόλογες βιολογικές μονάδες προκύπτουν μέσω ειδογένεσης από έναν κοινό πρόγονο και έχουν συνήθως διατηρήσει όμοια ή παρόμοια λειτουργία κατά την πορεία της εξέλιξης.

Παράλογες αλληλουχίες

Ομόλογες βιολογικές μονάδες (π.χ. γονίδια ή πρωτεΐνες) ονομάζονται παράλογες αν βρεθούν στο ίδιο είδος (συνήθως στον ίδιο οργανισμό) και έχουν προκύψει μέσω (πρόσφατου ή αρχέγονου) γονιδιακού διπλασιασμού που συνέβη στο συγκεκριμένο είδος ή οργανισμό. Με τον καιρό, οι παράλογες βιολογικές μονάδες αρχίζουν να διαφέρουν μεταξύ τους στη λειτουργία (και σε ορισμένες περιπτώσεις και στην αλληλουχία).

ELLS Glossary

Find definitions of commonly used biological terms (including evolution and molecular biology related terms) in the ELLS glossary in English.

<http://emblog.embl.de/ells/glossary>

3 Οδηγίες παιχνιδιού

Υλικά

- Οδηγός εκπαιδευτικού (θεωρητικό υπόβαθρο, οδηγίες παιχνιδιού και απαντήσεις)
- Κάρτες παιχνιδιού(μαγνητικές ή πλαστικοποιημένες)
- Μαγνητικός πίνακας ή πίνακας ανακοινώσεων καλυμμένος με χαρτί
- Μαρκαδόρος/κιμωλία ή στυλό

Παίκτες

8-9 (7-8) παίκτες ανάλογα με το ποιο παιχνίδι (1-3) παίζεται.

Σκοπός του παιχνιδιού

Σε αυτό το παιχνίδι, κάθε κάρτα αναπαριστά μια “φανταστική” βιολογική μονάδα. Ο σκοπός του παιχνιδιού είναι να ταξινομήσουμε τις κάρτες ανάλογα με τη “συγγένειά” τους και να κατασκευάσουμε ένα φυλογενετικό δέντρο με ρίζα, χρησιμοποιώντας όλες τις “κάρτες απογόνων” και ξεκινώντας με την “κάρτα κοινού προγόνου” ως ρίζα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τρόποι να κατασκευαστεί το φυλογενετικό δέντρο. Ο σκοπός του παιχνιδιού εκπληρώνεται, εφόσον οι αποφάσεις για την τοποθέτηση των διαφορετικών “απογόνων” στο δέντρο, δικαιολογούνται μέσω των εξηγήσεων που παρέχουν οι παίκτες για τη δομή του δέντρου σε μια άλλη ομάδα παιχτών ή στον εκπαιδευτικό.

Συμβουλή

Όταν αποφασίζετε για τις “ιεραρχήσεις” και “ομαδοποιήσεις” των βιολογικών μονάδων μέσα στο δέντρο, θυμηθείτε ότι η εξέλιξη στο γενετικό επίπεδο πραγματοποιείται μέσω μικρών αλλαγών όπως είναι οι προσθήκες, οι ελλείψεις, οι διπλασιασμοί, οι αναστροφές και οι αντικαταστάσεις νουκλεοτιδίων ή νουκλεοτιδικών αλληλουχιών.

Στήσιμο παιχνιδιού

8 (7) παίκτες: κάθε παίχτης λαμβάνει τυχαία μια από τις “κάρτες απογόνων”. Η “κάρτα κοινού προγόνου” τοποθετείται στη βάση του πίνακα ως σημείο εκκίνησης του φυλογενετικού δέντρου.

9 (8) παίκτες: ένας παίχτης λαμβάνει μια “κάρτα κοινού προγόνου”. Όλοι οι υπόλοιποι παίκτες λαμβάνουν τυχαία μια από τις “κάρτες απογόνων”.

Παίζοντας

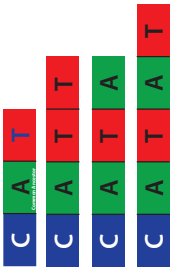
- 1) Οι παίκτες ομαδοποιούνται ανάλογα με τις “κάρτες απογόνων”. Ο παίχτης με την “κάρτα κοινού προγόνου” μπορεί να βοηθήσει την ομαδοποίηση των υπολοίπων παιχτών.
- 2) “Η κάρτα κοινού προγόνου” τοποθετείται στον πίνακα. Αφού ομαδοποιηθούν, οι παίκτες τοποθετούν τις “κάρτες απογόνων” στον πίνακα με βάση τη δομή που κάθε ομάδα έχει αποφασίσει.
- 3) Οι παίκτες σχεδιάζουν ένα δενδρόγραμμα συνδέοντας τις διαφορετικές κάρτες.
- 4) Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του φυλογενετικού δέντρου, οι παίκτες εξηγούν τις αποφάσεις τους σχετικά με τη δομή του φυλογενετικού δέντρου σε παίκτες άλλων ομάδων που παίζουν παράλληλα το παιχνίδι ή στον εκπαιδευτικό.

ATGAGTAAAGGAGAAGA ACTTATGAGTAAAGGA
AGTTTCAGCCAGTGACAGGGTGAGCTGCCAGC
AATATTTTATTAATTCATTAGAAAAATGAGAGA

Example game

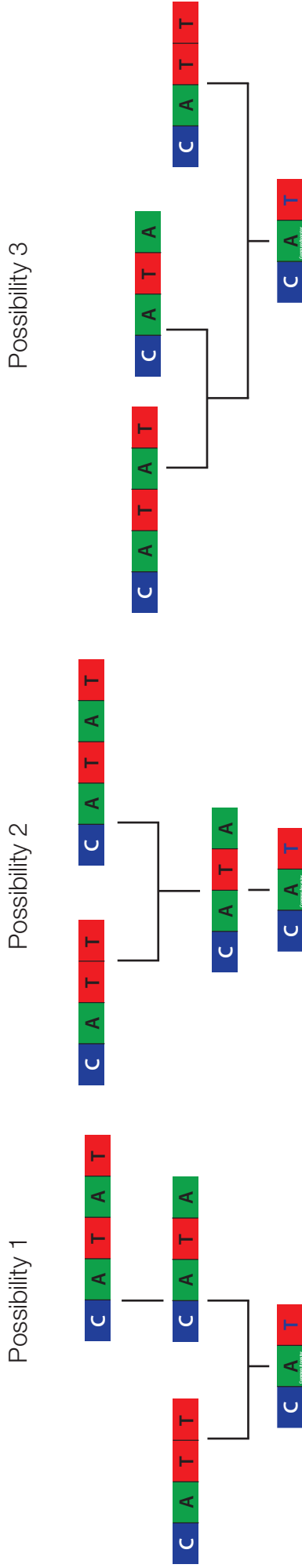
Example game which can be used by instructor to illustrate the principles of the game.

Overview of playing cards - Example game



Solution: possible phylograms - Example game

Note that there might be several possibilities how your phylogenetic tree could look like, and the following is just three ways of how to build a tree for the example game.



Game 1

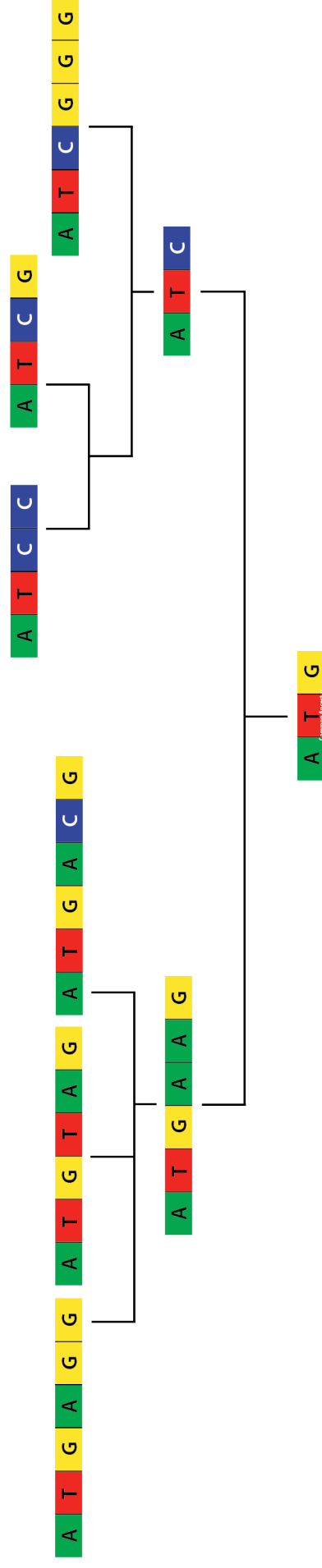
If TreeTOPS is used specifically for team-building purposes, this game can be played by 8-9 players.

Overview of playing cards - Game 1



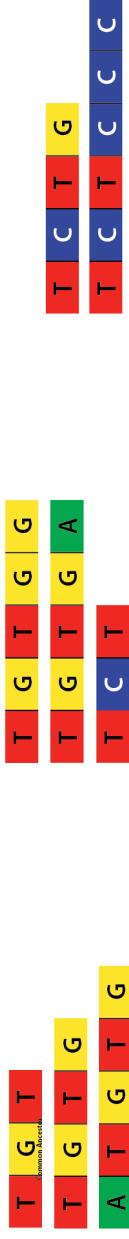
Solution: possible phylogram - Game 1

Note that there might be several possibilities how your phylogenetic tree could look like, and the following is just one way of how to build a tree for Game 1.



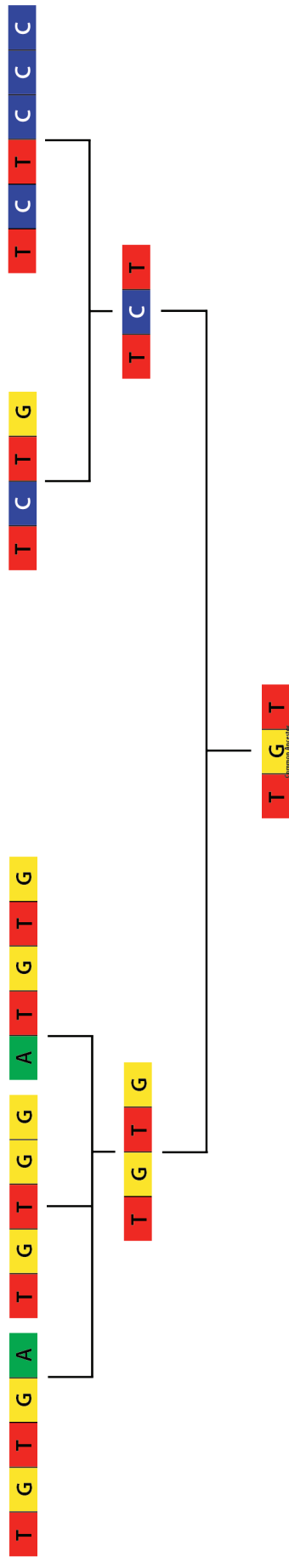
Game 2

f TreeTOPS is used specifically for team-building purposes, this game can be played by 7-8 players.



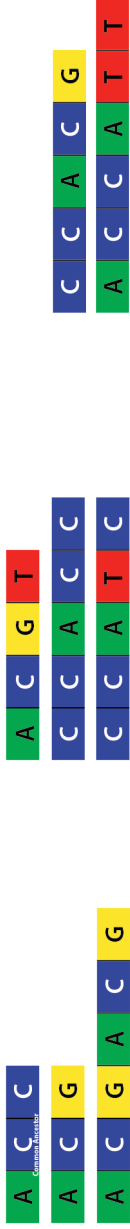
Solution: possible phylogram - Game 2

Note that there might be several possibilities how your phylogenetic tree could look like, and the following is just one way of how to build a tree for Game 2.



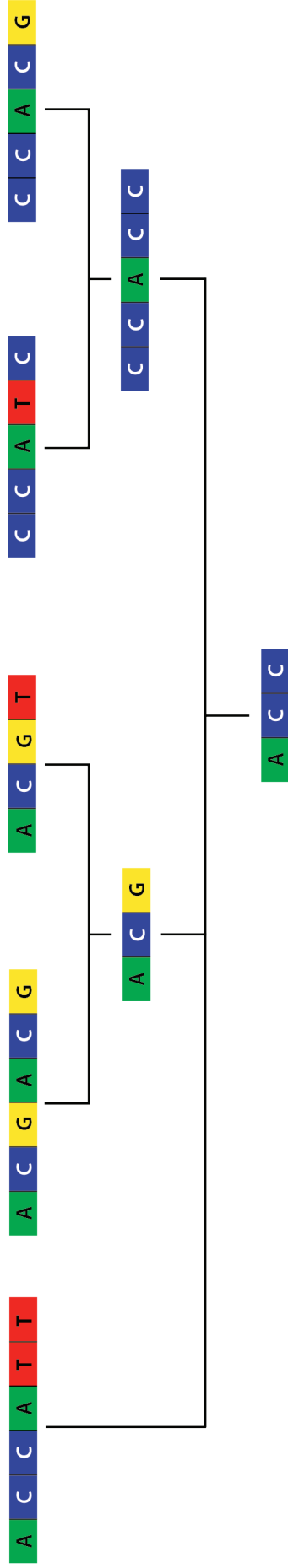
Game 3

f TreeTOPS is used specifically for team-building purposes, this game can be played by 7-8 players.



Solution: possible phylogram - Game 3

Note that there might be several possibilities how your phylogenetic tree could look like, and the following is just one way of how to build a tree for Game 3.



© Copyright European Molecular Biology Laboratory 2014

