



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Π.Μ.Σ. ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΗ»

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Η σπουδαιότητα της Μουσικής και των Ήχων στην Βιολογία των φυτών καθώς και στην αλληλεπίδραση τους με το Περιβάλλον»



Ιωάννινα, Ιούνιος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Η σπουδαιότητα της Μουσικής και των Ήχων στην Βιολογία των φυτών καθώς και στην αλληλεπίδραση τους με το Περιβάλλον»

της φοιτήτριας Κβάσνιακ Άννας (Α.Μ 282)

Επιβλέπων : Μιχαηλίδης Θεολόγος, Αν. Καθηγητής Μοριακής Γενετικής

Τριμελής Επιτροπή: 1. Μιχαηλίδης Θεολόγος, Αν. Καθηγητής
2. Παρασκευή Εμμ. Μπέζα, Επίκουρος Καθηγήτρια
3. Γεώργιος Ι. Πατακιούτας, Αν. Καθηγητής

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης (ΠΜΣ), του Τμήματος Χημείας της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Τμήματος Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών της Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων καθώς και του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας Τεχνολογίας Διατροφής και Τροφίμων του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου με τίτλο «Περιβάλλον και Αγροδιατροφή».

Το πόνημα πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Μιχαηλίδη Θεολόγου Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών (ΒΕΤ).

Θα ήθελα σ' αυτό το σημείο να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Μιχαηλίδη Θεολόγο, για την καθοδήγηση και πολύτιμη βοήθεια του, που προσέφερε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής. Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Copyright © ΚΒΑΣΝΙΑΚ ANNA, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Χημείας της Σχολής Θετικών Επιστημών, το Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών της Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων καθώς και το Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας Τεχνολογίας Διατροφής και Τροφίμων του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Περίληψη

Οι ζωντανοί οργανισμοί (άνθρωποι, ζώα, φυτά), ζουν σ' ένα περιβάλλον όπου ο ήχος είναι πανταχού παρών. Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των οργανισμών έγκειται στον τρόπο αντίληψης του ήχου. Κάθε ήχος από τον μικρό μέχρι και τον πιο μεγάλο σε ένταση και συχνότητα αντηχεί σε κάθε γωνιά και πλευρά του ενδιαιτήματος τους, μεταφέροντας σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες που πρόκειται να αξιοποιηθούν βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Εύλογα, δημιουργείται το ερώτημα αν τα φυτά ακούν. Παρόλο που τα φυτά δεν διαθέτουν κάποιο εξωτερικό όργανο όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των οργανισμών, πολλά είδη πληροφορίας μεταβιβάζονται στα φυτά με την μορφή των ηχητικών κυμάτων. Τα φύλλα, οι ρίζες, τα άνθη, αντιλαμβάνονται τον ήχο, εξασφαλίζοντας την αναπαραγωγή και επιβίωση τους. Τα ηχητικά κύματα ποικίλλουν ως προς την συχνότητα (Hz) και την ένταση (dB). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικές μελέτες που δείχνουν ότι οι ηχητικές συχνότητες μπορούν να οδηγήσουν σε μεταβολές της έκφρασης γονιδίων που σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή ενδογενών ορμονών καθώς και μεταβολικών μονοπατιών, επιτρέποντας στο φυτό να ανταπεξέλθει στις βιοτικές ή αβιοτικές συνθήκες.

Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι η εφαρμογή κατάλληλων συχνοτήτων μπορεί να συμβάλλει δυναμικά σε διάφορες παραμέτρους της βιολογίας των φυτών, όπως στην ανάπτυξη, την εξέλιξη, την αντίσταση στις ασθένειες και τα έντομα, ακόμη και στην καθυστέρηση της ωρίμανσης των καρπών. Η ανταπόκριση των φυτών στα διάφορα περιβαλλοντικά ερεθίσματα διαμεσολαβείται είτε μέσω της δράσης των γονιδίων *TCH* (*touch genes*) είτε μέσω μιας ευρείας ομάδας γονιδίων τα οποία ονομάζονται γονίδια απόκρισης στους ήχους (*sound responsive genes*), τα προϊόντα των οποίων έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την γονιδιακή έκφραση σε ποικίλες διεργασίες στα φυτά (αναπνοή, προετοιμασία του φυτού για επικοινωνία, έκκριση τοξικών ουσιών από το ίδιο το φυτό κ.α). Οι ερευνητές που μελετούν τη σχέση των φυτών με τους ήχους και τη μουσική χρησιμοποιούν μια μεγάλη γκάμα φυτών, όπως για παράδειγμα το χρυσάνθεμο (*Chrysanthemum callus*), το καλαμπόκι (*Zea Mays*), το *Dendrobium officinale* ένα είδος ορχιδέας, η φράουλα (*Fragaria L*), το ασιατικό ρύζι (*Oryza sativa*), η ντομάτα (*Solanum lycopersicum*) κ.α. Ωστόσο, ιδιαίτερα διαφωτιστικά αποτελέσματα παίρνουμε από μελέτες στο πειραματικό φυτό-μοντέλο *Arabidopsis thaliana*, το οποίο έχει στρέψει επάνω του το επιστημονικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Μέσα από πλειάδα πειραμάτων φωτίστηκαν αρκετές πτυχές στο εν λόγω θέμα, όπως για παράδειγμα οι ενδοκυττάρειες διαδικασίες που πυροδοτούνται από την επίδραση του ήχου και στις οποίες συμμετέχουν εξειδικευμένες ορμόνες και σηματοδοτικές πρωτεΐνες, οι μηχανισμοί πρόσληψης του ήχου και των δονήσεων από ειδικούς υποδοχείς (μηχανοϋποδοχείς), τα βασικά είδη των αποκρίσεων του φυτού, τα διαφορετικά μηχανικά σήματα, οι εκπομπές των ήχων από το ίδιο το φυτό και κάτω υπό ποιες προϋποθέσεις συμβαίνουν όλα αυτά. Η περαιτέρω διερεύνηση των

μηχανισμών μέσω των οποίων τα φυτά ερμηνεύουν τους ήχους και τη μουσική αποτελεί ένα αναδυόμενο πεδίο έρευνας το οποίο αναμένεται να βρει μεγάλη εφαρμογή σε διάφορους τομείς του αγροτικού τομέα (αγροτική παραγωγή, βιομηχανία τροφίμων κ.α.), παρουσιάζοντας επίσης ενδιαφέρον και από οικολογικής πλευράς αφού οι γνώσεις που αποκτώνται μπορούν να συμβάλλουν δυναμικά στην μείωση της χρήσης των λιπασμάτων και λοιπών χημικών ουσιών, και κατά συνέπεια στην προστασία του περιβάλλοντος.

Summary

Living organisms (humans, animals, plants) live in an environment where sound is everywhere. The noticeable difference between the organisms lies in the way they perceive sound. Every sound, from the smallest to the largest in intensity and frequency echoes in every corner and side of their habitat, conveying in real-time information that is going to be utilized in the short and long term. There is of course the reasonable question of whether the plants listen. Although plants do not have an external organ as is the case in most organisms, many types of information are transmitted to plants in the form of sound waves. The leaves, the roots, and the flowers perceive the sound, ensuring plant reproduction and survival. Sound waves vary in frequency (*Hz*) and intensity (*dB*).

This literature review presents representative studies which demonstrate that sound frequencies can lead to changes in the expression of genes directly related to the production of endogenous hormones as well as metabolic pathways, allowing the plant to cope with biotic or abiotic conditions. It has been experimentally proved that the application of appropriate frequencies may have a dynamic contribution to various parameters of plant biology, such as growth, development, resistance to diseases and insects, and even delayed fruit ripening. This type of plant response to various environmental stimuli is caused either by the action of the so-called *TCH (touch) genes* or by a broad group of genes known as sound-responsive genes, whose products have the ability to regulate gene expression in various fundamental processes in plants (respiration, preparation of the plant for pollination, secretion of toxic substances from the plant itself, etc.). Researchers studying the relationship between plants and sound as well as music employ a wide range of plants, such as chrysanthemum (*Chrysanthemum callus*), corn (*Zea mays*), the orchid *Dendrobium officinale*, strawberry (*Fragaria L*), Asian rice (*Oryza sativa*), tomato (*Solanum lycopersicum*), etc. However, particularly enlightening results are obtained from studies on the experimental plant-model *Arabidopsis thaliana*, which has attracted enormous scientific interest in recent years. Numerous experiments have shed light on several aspects of this subject, such as the intracellular processes triggered by sound waves, in which specialized hormones and signaling proteins are involved, the mechanisms of sound and vibration reception by specific receptors (mechanoreceptors), the basic forms of plant responses, various mechanical signals, sound emissions from the plant itself, and obviously, under which conditions all of these occur. The further investigation of the mechanisms through which plants interpret sounds and music is an emerging field of research that is expected to provide novel ways to support the agricultural sector (agricultural production, food industry, etc.), and protect the environment since the acquired knowledge can make a dynamic contribution to the reduction of the use of fertilizers and other chemical substances.

Συντμήσεις

Hz (Hertz), Χέρτζ

dB (decibel), Ντεσιμπέλ

SV (Sound Vibrations), Ηχητικές Δονήσεις

MS (Mechanosensitive), Μηχανικής Ευαισθησίας

MscS (Small Conductance Mechanosensitive Ion Channels), Μηχανοευαίσθητα Κανάλια Μικρής Αγωγιμότητας

MSL (MscS-Like), Παρεμφερή Μηχανοευαίσθητα Κανάλια Μικρής Αγωγιμότητας

CD, (Circular Dichroism), Κυκλικός Διχρωϊσμός

XTH, (XyloglucanendoTransglucosylase/Hydrolase), Ξυλογλυκάνη-ενδοΤρανσγλυκοζυλάση/Υδρολάση

MCA, (Mid-1 Complementing Activity), Ειδικά Κανάλια Ασβεστίου

CD, (Compact Disk Player), Συσκευή Αναπαραγωγής Ήχου

IAA, (Indole-3-Acetic Acid), Ινδολ-3-οξικό οξύ,

ABA, (Absciscic Acid), Αμπισισικό Οξύ

HAЕ (Hypersonic Acoustic Emissions), Υπερηχητικές Ακουστικές Εκπομπές

ROS (Reactive Oxygen Species), Ενεργά Είδη Οξυγόνου

TCH (Touch Genes), Γονίδια που ανταποκρίνονται στην αφή

ATP (Adenosine 5'-triphosphate), Τριφωσφορική Αδενοσίνη

PAFT, (Plant Acoustic Frequency Technologies), Ακουστική Τεχνολογία Συχνοτήτων για τα φυτά

VOCs, (Volatile Organic Compounds), Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

CDPK, (Calcium Dependent Protein Kinases), Εξαρτώμενες από Ασβέστιο Πρωτεϊνικές Κινάσες

ARF, (Auxin Response Factor), Παράγοντας Απόκρισης Αυξίνης

ERF, (Ethylene Response Factor), Παράγοντας Απόκρισης Αιθυλενίου

EGTA, (Egtazic Acid), Αμινοπολυκαρβοξυλικό οξύ

CDKs, (Cyclin-dependent Kinases), Πρωτεϊνικές Κινάσες εξαρτώμενες από Κυκλίνες

pRb, (retinoblastoma protein), Πρωτεΐνη Ρετινοβλαστώματος

CKIs, (Cyclin-Dependent Kinase Inhibitors), Αναστολείς Κινάσης Εξαρτώμενες από Κυκλίνες

GO, (Gene Ontology), Οντολογία Γονιδίων

TFs, (Transcription Factors), Μεταγραφικοί Παράγοντες

ALD, (Aldolase), Αλδολάση

CAT, (Catalase), Καταλάση

PAL, (Phenylalanine ammonia lyase), Αμμωνιαλυάση της Φαινυλαλανίνης

MPKs, (Mitogen activated Protein Kinases), Πρωτεϊνικές Κινάσες που ενεργοποιούνται από Μιτογόνα

MALDI-TOF MS, (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization-Time of Flight), Φασματομετρία Μάζας Εκρόφησης και Ιοντισμού με Laser

SOD, (Superoxide dismutase), Υπεροξειδική Δισμουτάση

POD, (Peroxidase), Δισμουτάση του Υπεροξειδίου

APX, (Ascorbate peroxidase), Ασκορβική Δισμουτάση

PRX, (Peroxidase), Υπεροξειδάση

MDA, (Malondialdehyde), Μηλονοδιαλδεϋδη

PAs, (Polyamines), Πολυαμίνες

GA, (Gibberellic acid), Γιββερελλίνη

ZR, (Zeatin Riboside), Κυτοκίνη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	3
Περίληψη	4-5
Summary	6
Συντμήσεις	7-8
1. Ένας κόσμος γεμάτος από ήχους	11
1.1 Τι είναι ο ήχος	11
1.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου	11
1.3 Οι έννοιες του μήκους και της συχνότητας.....	12
2. Η ιστορία του ήχου	13
2.1 Τι είναι η Μουσική.....	14
2.2 Αρχαίοι Φιλόσοφοι και Μουσική.....	15
2.3 Η Μουσική ως θεραπευτικό μέσο (Μουσικοθεραπεία).....	17
2.4 Τι θεραπεύει η Μουσική.....	17
3. Ο ήχος ως μορφή επικοινωνίας	18
3.1 Η αντίληψη των ηχητικών κυμάτων από τον άνθρωπο.....	18
3.2 Η επιστήμη της Κυματικής και μερικές φιλοσοφικές θεωρήσεις των συχνοτήτων.....	20
3.3 Η διαφορά μεταξύ της συχνότητας 432 και 440 Hz.....	22
3.4 Ηχοθεραπεία μέσω δονήσεων του <i>Solfeggio</i>	22
3.5 Η κλίμακα συχνοτήτων <i>Solfeggio</i> : Συμπαντικές συχνότητες και Δονήσεις στην Ηχοθεραπεία...23	
3.6 Γιάννης Πετρίδης.....	24
4. Η επικοινωνία στο Ζωικό Βασίλειο	25
4.1 Βιοακουστική.....	26
4.2 Η αισθητηριακή αντίληψη του ήχου από τις κυτταρικές μεμβράνες του φυτού.....	26
4.3 Ο ρόλος των μηχανοϋποδοχέων.....	28
4.4 Μια πειραματική προσέγγιση των συνεπειών της μουσικής και των ήχων στα φυτά μέσα από την ματιά της εκπαίδευσης.....	29
4.5 Οι ηχητικές συχνότητες και οι θετικές επιπτώσεις στα φυτά.....	32
4.6 Η επικοινωνία των φυτών μέσω των ηχητικών δονήσεων.....	33
4.7 Πως διεξάγεται η επικοινωνία από φυτό σε φυτό.....	36
4.8 Η ακουστική των φυτών και η οικολογική της σημασία.....	38
4.9 Τα είδη των αποκρίσεων στα φυτά.....	38

4.10	Ο ήχος ως ρόλος προσαρμοστικής αξίας για τα φυτά.....	40
5.	Οι επιπτώσεις των θεραπειών του ήχου στην βιοτεχνολογία και την γεωργία.....	42
5.1	Πως ενεργοποιείται η άμυνα μέσω της ακουστικής των φυτών.....	43
5.2	Η επίδραση του ήχου στις κυτταρικές διεργασίες των φυτών στην ηχητική σηματοδότηση.....	44
5.3	Μετάδοση σήματος και επικοινωνίας μεταξύ των οργανισμών.....	46
5.4	Η συμβολή του κυτταρικού ασβεστίου στην ηχητική-κυτταρική σηματοδότηση.....	47
6.	Η επίδραση του ήχου στη γονιδιακή έκφραση, στις βασικές διεργασίες του φυτικού κυττάρου και στη φυσιολογία του φυτού	48
6.1	Ο κυτταρικός κύκλος και οι μεταβολές που προκαλούνται στην πορεία του από τις ηχητικές δονήσεις	50
6.2	Μεταγραφικές μεταβολές στο φυτό <i>Arabidopsis thaliana</i>	51
6.3	Ανάλυση των αποτελεσμάτων στα γονίδια του φυτού <i>Arabidopsis thaliana</i>	54
6.4	Η παραγωγή των κινασών και των ενζύμων που προάγουν την γονιδιακή ρύθμιση μέσω των ηχητικών δονήσεων.....	56
6.5	Πως ο ήχος επηρεάζει την συμβολή των φυτοορμονών στο φυτικό κύτταρο.....	58
6.6	Πως τα σήματα του ήχου και της αφής συνδέονται σε μια κοινή ενδοκυτταρική επικοινωνία....	59
7.	Συμπεράσματα.....	60
8.	Βιβλιογραφία.....	61-69
9.	Διευθύνσεις Ιστοσελίδων από το διαδίκτυο που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.....	70-71
10.	Εικόνες.....	72

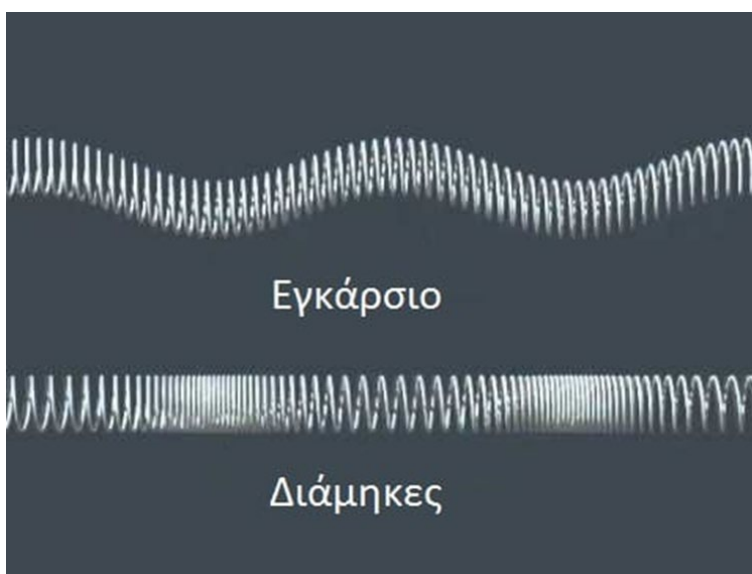
1. Ένας κόσμος γεμάτος από ήχους

Κατά μία έννοια, ο «κόσμος» μικροσκοπικά και μακροσκοπικά περιβάλλεται από μια ενέργεια που έχει την μορφή δονήσεων, η οποία εμφανίζει μια κυματοειδή κατεύθυνση και μεταφέρεται σε όλο τον χώρο και τον χρόνο (Hewitt, 2002).

1.1 Τι είναι ο ήχος

Ο ήχος με την φυσική του έννοια οφείλεται στις μεταβολές της πίεσης υλικών-μέσων διάδοσης, όπως ο ατμοσφαιρικός αέρας. Οι παλμικές κινήσεις προκαλούν μια διέγερση στα αισθητήρια όργανα της ακοής μας και αυτού του είδους οι μεταβολές διαδίδονται με την μορφή των ηχητικών κυμάτων. Τα ηχητικά κύματα παράγονται από ηχογόνα σώματα που προκαλούν μηχανικές ταλαντώσεις (δονήσεις) τα οποία εν συνεχεία μεταφέρονται σε άλλα μέσα (στερεά, υγρά και αέρια). Η μόνη συνθήκη κατά την οποία το ηχητικό κύμα δεν διαδίδεται είναι το κενό. Ανάλογα με την φύση και τον τύπο διατάραξης του υλικού που διαπερνούν, τα ηχητικά κύματα διακρίνονται σε εγκάρσια και διαμήκη κύματα.

(Εικόνα 1)



Εικόνα 1. Ανάλογα με τον τρόπο ταλάντωσης των σωματιδίων τα κύματα χωρίζονται σε εγκάρσια και διαμήκη. Στα εγκάρσια κύματα τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ενώ στα διαμήκη τα σωματίδια ταλαντώνονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

(Πηγή: <https://physiquiz.gr/tag/%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%AC%CF%81%CF%83%CE%B9%CE%B1/>)

1.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου

Οι ήχοι που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αντί ονομάζονται ακουστοί ήχοι και κυμαίνονται από 20 Hz-20 kHz. Τα μικρά μήκη κύματος αντιστοιχούν σε μεγάλες συχνότητες (από 20000 Hz και άνω) και ονομάζονται υπέρηχοι ενώ τα μεγάλα μήκη κύματος αντιστοιχούν σε μικρές συχνότητες (από 20

Hz και κάτω) και ονομάζονται υπόηχοι. Αυτά τα δύο είδη ήχων δεν γίνονται άμεσα αισθητά από τον άνθρωπο αλλά με έμμεσο τρόπο, προκαλώντας πονοκεφάλους, κόπωση ή ενεργοποιώντας συναισθήματα ανησυχίας, φόβου, άγχους κ.α.

Σε γενικές γραμμές κάθε ήχος προσδιορίζεται από 3 χαρακτηριστικά: το ύψος, την χροιά και την ένταση. Το **ύψος** εξαρτάται από τον αριθμό των παλμικών κινήσεων μιας ηχητικής πηγής σε 1 δευτερόλεπτο. Όταν το ύψος (δηλαδή η συχνότητα) είναι μεγάλο, τότε ο ήχος είναι οξύς. Αντίστοιχα, όταν το ύψος είναι μικρό, ο ήχος είναι βαρύς. Η **χροιά** ή **ποιόν** αναφέρεται στην διαχωρισμό δύο φαινομενικά ίδιων ήχων μεταξύ τους, για παράδειγμα δύο ήχοι ίδιου ύψους που παράγονται από δύο διαφορετικά μουσικά όργανα. Η επιστημονική εξήγηση έχει ως εξής: ο ήχος ταξινομείται σε δύο είδη. Τους απλούς και τους σύνθετους. Ο απλός ήχος έχει μορφή απλού αρμονικού κύματος ήχος και χαρακτηρίζεται από μια συχνότητα (π.χ. η δόνηση ενός διαπασών). Αντιθέτως ο σύνθετος ήχος αποτελείται από ένα συνονθύλευμα πολλών απλών ήχων, αποτελούμενος κατά κύριο λόγο από έναν θεμελιώδη ήχο ο οποίος έχει και την μεγαλύτερη ένταση και από δευτερεύοντες απλούς ήχους οι οποίοι ποικίλλουν και ονομάζονται ανώτεροι ή αρμονικοί ήχοι. Και έτσι μπορούμε και τους ξεχωρίζουμε.

Η ένταση ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου. Δηλαδή, κατά πόσο ο ήχος είναι ισχυρός ή ασθενής και εξαρτάται από το πλάτος των παλμικών κινήσεων. Αντανακλά και υπολογίζει το πλάτος του ηχητικού κύματος (ποσότητα ενέργειας στο κύμα) προσδιορίζοντας πόσο μακριά μπορεί να ταξιδέψει. Όσο μικρότερο είναι το πλάτος τόσο πιο ασθενής είναι ο ήχος κι όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο πιο ισχυρός είναι ο ήχος. Η μονάδα μέτρησής της του είναι το (*decibel-dB*).

1.3 Οι έννοιες του μήκους και της συχνότητας

Η απόσταση που διέπει δυο διαδοχικά πυκνώματα (μέγιστη τιμή διατάραξης του κύματος) ή αραιώματα (ελάχιστη τιμή διατάραξης του κύματος) αποκαλείται **μήκος** του ηχητικού κύματος. Ο υπολογισμός του μήκους ενός ηχητικού κύματος αναφέρεται στην συχνότητα, και η μονάδα μέτρησης είναι το Hertz (*Hz*). Είναι ο αριθμός των επαναλήψεων ενός γεγονότος στην μονάδα χρόνου. Με άλλα λόγια είναι, οι «γεμάτες» κορυφές του κύματος ανά χρόνο και αποτελεί το «βηματισμό» του ακουστικού σήματος καθορίζοντας αν ο ήχος θα έχει ακουστότητα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι ήχοι στην φύση είναι πολύπλοκοι και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Όμως η συχνότητα ενός αρμονικού ήχου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας του θεμελιακού. Πράγμα που σημαίνει ότι αν ο θεμελιακός παράγεται από 500 παλμικές κινήσεις στο 1 δευτερόλεπτο, οι αρμονικοί θα παράγονται από 1.000, 1.500, 2.000 παλμικές κινήσεις το δευτερόλεπτο. Πρόκειται για μια περιοδική μεταβολή ίδιων τιμών σε τακτά χρονικά διαστήματα όπως το εναλλασσόμενο ρεύμα, οι ηλεκτρικοί παλμοί, τα

ηλεκτρομαγνητικά κύματα κ.α. Με την μετάδοση του κύματος η ενέργεια μεταφέρει έναν όγκο πληροφοριών για τις συνθήκες που επικρατούν στον περιβάλλοντα χώρο και οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει έξυπνες μεθόδους αξιοποιώντας τα κύματα αυτά προς όφελος τους.

2. Η ιστορία του ήχου

Κατά τα πρώτα χρόνια της δημιουργίας, ο άνθρωπος βρέθηκε αντιμέτωπος σ' ένα περιβάλλον γεμάτο προκλήσεις (ακραίες θερμοκρασίες, έλλειψη εστίας, τροφής, κίνδυνοι κ.α.) επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την επιβίωση του. Προκειμένου να ανταπεξέλθει στις αλλεπάλληλες μεταβολές του περιβάλλοντός του, ξεκίνησε αρχικά να παρατηρεί την συμπεριφορά των υπόλοιπων οργανισμών, αφουγκραζόμενος τα διάφορα ερεθίσματα τους, σε μια προσπάθεια ταύτισης και κατ' επέκταση προσαρμογής στα νέα δεδομένα. Αν και ο ίδιος αποτελεί κομμάτι αυτού του ευρύτερου περιβάλλοντος η πολυπόθητη ταύτιση με τους άλλους οργανισμούς δεν κατορθώνεται πλήρως. Τότε αρχίζει να συνειδητοποιεί την διαφορά του σε σχέση με τ' άλλα πλάσματα και σιγά σιγά εφευρίσκει τρόπους προσαρμογής με σύμμαχό του την Φύση (δίψα- νερό, προστασία-δένδρα). Η αλληλεπίδραση αυτή όμως με το περιβάλλον του διέπεται από μια διαρκή ροή συνοδευόμενη από έναν μεταβαλλόμενο ρυθμό. Το περιβάλλον περιλαμβάνει και έναν τεράστιο αριθμό από ποικίλους ήχους οι οποίοι ενημερώνουν τους οργανισμούς, και φυσικά και τον άνθρωπο για την υπάρχουσα κατάσταση. Ο άνθρωπος μαθαίνει να εκμεταλλεύεται τους ήχους σύμφωνα με τις ανάγκες του. Σταδιακά αυτή η εξοικείωση με τους ήχους ενισχύει την ικανότητα της ακοής του, η οποία συντελεί στην διάκρισή τους (ωφέλιμοι, βλαβεροί) και αργότερα, όπως θα δούμε στη συνέχεια στην αξιοποίησή τους (στο κυνήγι, στην αντιμετώπιση των εχθρών, και βέβαια στην έκφραση και την ψυχαγωγία του).

Με τον σχηματισμό των πρώτων κοινωνιών, ο άνθρωπος αρχικά για την επικοινωνία του χρησιμοποιούσε άναρθρες κραυγές και χειρονομίες οι οποίες βαθμιαίως μετασχηματίστηκαν σε ομιλία. Έτσι, σε σύντομο χρονικό διάστημα, η ομιλία και οι μεταβολές στο περιβάλλον άρχισαν να εντάσσονται σ' ένα ευρύτερο πλαίσιο που αφορούσε τις δραστηριότητες του (κυνήγι, πόλεμος, προσέγγιση αντίθετου φύλου κ.α). Τρεις σημαντικοί σταθμοί διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην εξελικτική πορεία του ανθρώπου. Αρχικά η μαγεία ακολουθούμενη από την θρησκεία και μετέπειτα η παιδεία. Αυτήν τον απεγκλώβισε από τη στείρα ύπαρξη του, ανοίγοντας διάπλατα τους συναισθηματικούς και πνευματικούς ορίζοντες υποδεικνύοντας μια πολιτιστική πρόοδο εντός της οποίας αποτύπωνε όλες τις πτυχές της καθημερινής του ζωής με σκοπό την αναζήτηση της «αισθητικής χαράς». Ο ήχος για τον άνθρωπο υπήρξε πηγή επικοινωνίας και έκφρασης για πάνω από 300.000 χρόνια (Holden, 2004).

2.1 Τι είναι η Μουσική

Στην Ελληνική γλώσσα, η έννοια Μουσική ετυμολογικά προέρχεται από την έννοια Μαούσα, Μώσα (Δωρική διάλεκτος) δηλαδή Μούσα. Από την αρχαιοελληνική ρίζα του ρήματος «μάω-μω» η οποία σημαίνει *ερευνώ, επινοώ*, ζητώ να μάθω κάτι σε βάθος ή ψάχνω διανοητικά. Μια άλλη προσέγγιση αναφέρεται ακόμη στην ρίζα «μας» ή «μους» που δηλώνει την γενιά, την παραγωγή, την ανάπτυξη έξω από μια αρχή, την μύηση.

Η Μούσα της Μουσικής και της λυρικής ποίησης θεωρούνταν η Ευτέρπη (**Εικόνα 2**) εκ του επιρρήματος *ευ* (καλά, ωραία) και το ρήμα *τέρπω* (προκαλώ ευχαρίστηση κυρίως αισθητική). Απεικονίζεται να κρατάει στα χέρια της έναν αυλό.



Εικόνα 2. Απεικονίζεται μία εκ των 9 Μουσών, η **Ευτέρπη**, εκπρόσωπος της Αυλητικής Τέχνης και της Λυρικής ποίησης.
(Πηγή : <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%85%CF%84%CE%AD%CF%81%CF%80%CE%B7>)

Για τους Αρχαίους Έλληνες, η μουσική πλέον, θεωρείται η επιστήμη που εμβαθύνει στις αρμονικές και λογικές σχέσεις του σύμπαντος και διέπεται από σταθερές και αμετάβλητες αρχές. Κατά την Αρχαιότητα, στην λέξη Μουσική δόθηκε μια άλλη διάσταση, δηλώνοντας την βαθιά σύνδεση μεταξύ της ενότητας του ήχου και του λόγου. Δεν αποτελούσε απλά την τέχνη του συνδυασμού της τονικότητας ή το ταλέντο της αναπαραγωγής τους με σκοπό την διασκέδαση. Ήταν κάτι πολύ ανώτερο' ήταν νόηση, διάνοια, πνευματική καλλιέργεια και γνώση. Προσδιόριζε τον άνθρωπο που πράττει, σκέφτεται και αισθάνεται. Έτσι η Μουσική, ως μέσο πνευματικής ωρίμανσης χαρακτηρίζεται πια όχι από την λέξη «τέχνη» μα από τις λέξεις «παιδεία και δύναμη», γεγονός που δεν υφίσταται στις μέρες μας. Πλέον η μουσική ορίζεται ως η τέχνη που βασίζεται στην οργάνωση των ήχων με σκοπό την

σύνθεση, εκτέλεση και ακρόαση/λήψη ενός έργου ή ακόμα το σύνολο των ήχων που απαρτίζεται ένα μουσικό κομμάτι. Άλλωστε η Αρχαία Ελλάδα δεν αποτελεί τυχαία την κοιτίδα της μουσικής. Οι Αρχαίοι Έλληνες πίστευαν στην ουσία και στην αξία της μουσικής και αυτό διακρίνεται από την ετυμολογική έννοια που προσέδιδαν. Ειδικότερα, την χαρακτήριζαν ψυχαγωγία (αγωγή της ψυχής) και όχι διασκέδαση (εκ του ρήματος *διασκεδάννυμι* = σκορπίζω). Πολλοί φιλόσοφοι στην Αρχαιότητα ασχολήθηκαν και διατύπωσαν θεωρίες με το θέμα της Μουσικής. Με το πέρασμα των χρόνων οι αντιλήψεις τους φαίνεται να βρήκαν αντίκρισμα αφού σε μεταγενέστερο χρόνο οι επιστήμονες, μουσικοί, φιλόσοφοι που ακολούθησαν τις ενστερνίστηκαν σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο. Αρχικά τον 5^ο αιώνα π.Χ. ο Δάμων, ένας Αθηναίος «μουσικοθεωρητικός», δίδαξε την σημασία των ηθών μέσα από το πρίσμα της ηθικής δύναμης που εκπέμπει η μουσική. Δημιούργησε μελωδίες που αποτυπώνουν ορισμένα συναισθήματα (ζήλια, οργή, έλλειψη θάρρους κ.α).

2.2 Αρχαίοι Φιλόσοφοι και Μουσική

Έναν αιώνα πριν, ο Πλάτων στο έργο του Πολιτεία αναφέρει την σύνδεση που υπάρχει μεταξύ του ρυθμού και του είδους του ήχου και πως αυτός σχετίζεται με τον τρόπο ζωής του ανθρώπου. Αντίστοιχα, στο σύγγραμμά του οι Νόμοι, δίνει έμφαση και αξία για τον ρόλο που διαδραματίζει η μουσική στην παιδεία των ανθρώπων. Παρομοίασε την ψυχή με τις χορδές μιας άρπας οι οποίες βρίσκονται τεντωμένες στο πλαίσιο ενός σώματος. Η αναλογική του σκέψη ήταν η εξής: *αν το σώμα ασθενήσει τότε αυτόματα ασθενούν και οι χορδές δηλαδή η ψυχή. Αν οι χορδές είναι πολύ τεντωμένες και έτοιμες να σπάσουν τότε το πλαίσιο (σώμα) θα καταστραφεί*. Με αυτού του είδους την παρομοίωση θέλησε να υπογραμμίσει την αλληλεξάρτηση του σώματος και της ψυχής. Παρακάτω τον 3^ο αιώνα, ο φιλόσοφος Αριστοτέλης κάνει διάκριση 3 τονικών διαβαθμίσεων, τους οποίους και κατηγοριοποίησε στους *ηθικούς* που χρησιμεύουν στην παιδεία, τους *πρακτικούς* που οδηγούν στην κάθαρση και τους *ενθουσιαστικούς* που χρησιμεύουν στην διαγωγή (πνευματική μούσα). Κυριολεκτικά η λέξη ενθουσιαστικός, προέρχεται ετυμολογικά από το (έν + θεός) και αφορά τους Άγιους Ήχους. Εντός αυτής της έννοιας (*άγιος-όσιος*) υποκρύπτεται η έννοια *ιάσω* δηλαδή *θεραπεύω- γιατρεύω*.

Μια εξίσου διαφορετική και ενδιαφέρουσα οπτική για την Μουσική εξέφρασε ο φιλόσοφος Πυθαγόρας ο Σάμιος (572-490 π.Χ). Πρώτος διατύπωσε τη Αρχή των Ουράνιων Σφαιρών. Συγκεκριμένα ανέφερε ότι τα ουράνια σώματα και οι πλανήτες εκπέμπουν οι ίδιοι ήχους, ωστόσο λόγω της κατασκευής του ανθρώπινου αυτιού δεν είναι εύληπτοι, με το κομμάτι της ανθρώπινης ψυχής να λαμβάνει επιρροές. Ο ίδιος μελετώντας διάφορες επιστήμες (φυσική, αστρονομία, γεωμετρία, μουσική, αριθμητική, γραμματική κ.α) κατάφερε μέσα απ' όλες αυτές να εντοπίσει την φιλοσοφική οδό μέσα από την οποία συνδέονται τα μυστικά του σύμπαντος με βάση την Αρμονία.

Στην Βαβυλώνα και την Αίγυπτο έμαθε πως σε κάθε πλανήτη είχε δοθεί ένας αριθμός ο οποίος απεικονίζει τις «ενδοπλανητικές αποστάσεις» και στην συνέχεια υπολόγισε με ακρίβεια την πορεία τους στον ουρανό. Ανακάλυψε ότι οι αριθμοί καθρεφτίζουν την διάταξη του υλικού κόσμου, όπως οι αναλογίες του σώματος και ό,τι βρίσκεται στη φύση, έχοντας μια βαθιά σύνδεση με την τέχνη της μουσικής. Οι μαθηματικές αρχές είναι αυτές που καθορίζουν τα βασικά μουσικά διαστήματα. Κατόπιν πειραματίστηκε σε μια δική του «επινόηση» όργανο, το μονόχορδο. Μέσα απ' αυτό παρατήρησε ότι οι μαθηματικές αποστάσεις των διαστημάτων της χορδής καθόριζε την ταχύτητα ταλάντωσης της και τον ήχο που παράγεται. Με τον ίδιο τρόπο απλοποιώντας τα σε μεγαλύτερες κλίμακες μέσω των διαστημάτων κατάφερε να ακούσει τον ήχο των ουράνιων σωμάτων. Αντιστοιχίσε στο πλανητικό σύστημα τους μουσικούς φθόγγους. Ειδικότερα, ο πλανήτης Δίας αντιστοιχεί στη νότα Ντο, ο Άρης στην Ρε, ο Ήλιος στη Μι, η Αφροδίτη στη Φα, ο Ερμής στη Σολ, η Σελήνη στη Λα και ο Κρόνος στη Σι. Ύστερα τις ταξινομήσε σε 7 Αρμονίες εκ των οποίων μόνο οι 3 παράγουν αρμονικό αποτέλεσμα. Το (1:2 διάστημα όγδοης ή διαπασών, 2:3 της πέμπτης ή διαπέντε και η 3:4 της τετάρτης ή διατέσσερα). Το «*μυστικό*» της μουσικής και της αρμονίας Κόσμου ενυπάρχει και στους πρώτους φυσικούς αριθμούς (1,2,3,4) η αποκαλούμενη «Ιερή Τετρακτύς» ($1+2+3+4=10$). Ο Πυθαγόρας θεωρούσε ότι το Σύμπαν η μουσική και η ψυχή έχουν ως κοινό παρονομαστή τις Αρμονικές Αρχές. Έστω και αν υπάρξει διατάραξη της ψυχικής ισορροπίας, η μουσική είναι σε θέση να την εναρμονίσει. Οι Πυθαγόρειοι διέκριναν δύο Αρχές πάνω στις οποίες θεμελιώνεται ο Κόσμος: ο *αριθμός* και η *ύλη*. Όταν αυτές οι δύο Αρχές βρίσκονται σε ισορροπία αυτό αντανακλάται ως υγεία, ομορφιά, καλοσύνη κ.α. Παρατηρείται και η συμμετοχή και άλλων επιστημών όπως η Ιατρική, Ηθική, Αισθητική κ.α. Οι Πυθαγόρειοι συνήθιζαν να ακούν ένα είδος μουσικής το οποίο τους τοποθετούσε σ' ένα «βαθύ ύπνο» και ξυπνούσαν με μια μουσική που τους πρόσφερε ενέργεια, ζωτικότητα και αποκατάσταση της υγείας τους. Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι Πυθαγόρειοι κατείχαν σημαντικές γνώσεις γύρω από την Επιστήμη της Ψυχοακουστικής (*Psychoacoustics*). Πιθανολογείται ότι οι μεγάλες κατασκευές όπως και οι Πυραμίδες κατασκευάστηκαν με την χρήση δονήσεων του ήχου. Άλλα παραδείγματα που επεξηγούν την ψυχική επενέργεια της μουσικής είναι οι *παιάνες* (*παιών* = εμβατήριο). Πρόκειται για αρχαίο ελληνικό μουσικό είδος που αποδίδεται με την σημασία του θεράποντα ιατρού ή του Θεού που επικαλούνταν κάποιος για βοήθεια. Λέγεται ότι με τους παιάνες αντιμετώπισαν την πανώλη που ξέσπασε στην Τροία. Το συναντάμε σε αρκετές εκδηλώσεις του ανθρώπου όπως γάμους, συμπόσια, σε πένθος, στους πολέμους, πριν την έναρξη μιας επιχείρησης ως καλό οιώνό ή μετά από επιτυχή εξέλιξη. Ακόμη με την χρήση ύμνων επικοινωνούσαν με τους Θεούς ζητώντας τους ειρήνη, υγεία, ευτυχία, θεραπεία ασθενειών κ.α. Ο τραυματισμός του Οδυσσέα στο κυνήγι σταμάτησε με τις επωδές (ιαματικά άσματα που αποδίδονταν στον Ασκληπιό) το μαύρο αίμα από την πληγή του. Το μυθικό τέρας της

Κολχίδας μαγεύτηκε από την λύρα του Ορφέα, με τον Ιάσωνα να καταφέρνει να πάρει το χρυσόμαλλο δέρας.

2.3 Η μουσική ως θεραπευτικό μέσο (Μουσικοθεραπεία)

Η γένεση της Μουσικοθεραπείας είναι η Αρχαία Ελλάδα. Πρόκειται για μια μορφή ψυχοθεραπείας η οποία κατατάσσεται ανάμεσα στις άλλες μορφές θεραπείας μέσω της τέχνης. Ειδικότερα, με την μουσική και τα μουσικά όργανα αποσκοπεί στην επαναφορά, βελτίωση, προαγωγή και διατήρηση της ψυχικής, πνευματικής και σωματικής υγείας. Πολλοί Αρχαίοι Πολιτισμοί αναφέρουν τις θεραπευτικές επιδράσεις της Μουσικής. Μια αρχαία επιγραφή αναφέρει: «*Η ανακούφιση του πόνου είναι θεϊκό έργο*». Το έτος 1880 είχε καθιερωθεί ως έτος Μουσικοθεραπείας. Ο *J. Dogiel* είχε αποδείξει ότι οι ψυχικές διεργασίες συμβαίνουν πάντοτε με τις φυσικές και η μουσική επενεργεί ακριβώς στην ψυχή, έχει δηλαδή άμεσες και αποδεικτές συστηματικές επιδράσεις στην φύση του ανθρώπου.

Η Μουσικοθεραπεία βασίζεται στην επιστήμη της Κυματικής. Όμως για να είναι εξίσου αποτελεσματική χρειάζεται να γίνει απενεργοποίηση των συλλογιστικών διαδικασιών και των ενστικτωδών μηχανισμών ώστε να ξεκινήσει η χαλαρωτική δράση στα κέντρα του εγκεφάλου που σχετίζονται με την αναπνοή και την κυκλοφορία. Ως «προάγγελοι» της Μουσικοθεραπείας θεωρούνται ο Αριστοτέλης και ο Πλάτωνας υπό την έννοια ότι πίστευαν στη προσεκτική χρήση της Μουσικής. Να επιτρέπεται η χρήση όλων των ειδών Αρμονιών αλλά όχι με τον ίδιο τρόπο. Οι ηθικές στην εκπαίδευση ενώ οι ζωηρές και οι ενθουσιώδεις στην ακρόαση. Ένα καίριο ερώτημα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα είναι ποια μουσική θεωρείται σωστή και αποτελεσματική για θεραπεία. Οι απόψεις επί του θέματος δίστανται ακριβώς επειδή ο πυρήνας της είναι απροσδιόριστος και χρειάζονται να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες κατά κύριο λόγο η κουλτούρα με τη οποία έχει γαλουχηθεί. Για να αποτελέσει εν τέλει η Μουσική «φάρμακο», καλό θα είναι να γίνει μια εμπειρισταωμένη μελέτη του πρότερου βίου του ασθενούς, του χαρακτήρα του, των προηγούμενων συνηθειών του. Το σωστό συμπέρασμα που θα προκύψει από τα παραπάνω συνοδευόμενο από τον κατάλληλο χρόνο εκτέλεσης είναι το «κλειδί» που θα ανοίξει την πόρτα της όποιας θεραπευτικής μεθόδου.

2.4 Τι θεραπεύει η μουσική

Εκτός από τις διάφορες παθήσεις, η μουσική επηρεάζει την καθημερινότητα και είναι ικανή να προκαλέσει συναισθήματα αισιοδοξίας, χαράς, λύπης, να ανασύρει αναμνήσεις, να μειώσει το άγχος ακόμα και να αυξήσει τους παλμούς της καρδιάς. Ακριβώς επειδή επηρεάζει την ανθρώπινη ψυχοσύνθεση χρειάζεται να είμαστε προσεκτικοί ως προς την επιλογή της. Η μουσικοθεραπεία διευκολύνει τους διαύλους επικοινωνίας για όσους έχουν δυσκολία έκφρασης. Αφορά όλες τις ηλικιακές ομάδες παρέχοντας υποστήριξη σε πολλούς τομείς όπως γενική αποκατάσταση του

σώματος διευκόλυνση κίνησης, αύξηση κινήτρων, προσφέρει συναισθηματική υποστήριξη, και αποτελεί και ένα μέσο διευκόλυνσης εκδήλωσης συναισθημάτων. Επιπλέον η μουσική συνεπικουρεί στην ανάπτυξη προσωπικότητας, στις συναισθηματικές και Αγχώδεις διαταραχές, στην κατάθλιψη, στις Ψυχοσωματικές διαταραχές, σε ψυχιατρικές παθήσεις, σε αναπτυξιακές διαταραχές (νοητική στέρηση, αυτισμός), στις μαθησιακές δυσκολίες (δυσλεξία, αφασία), στην ογκολογία, στις νευρολογικές παθήσεις, στην κοινωνική ένταξη, στην γυναικολογία και στην απεξάρτηση. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι αρχαίοι Έλληνες, η Αρμονία της Μουσικής δόθηκε από τους Θεούς με στόχο, όχι την αλόγιστη χρήση της μα να την εφαρμόζουμε στις σπασμωδικές κινήσεις της ψυχής όταν είναι φορτωμένη με αρνητικά συναισθήματα, επαναφέροντας την στο αρχικό θείο πρότυπο.

3. Ο ήχος ως μορφή επικοινωνίας

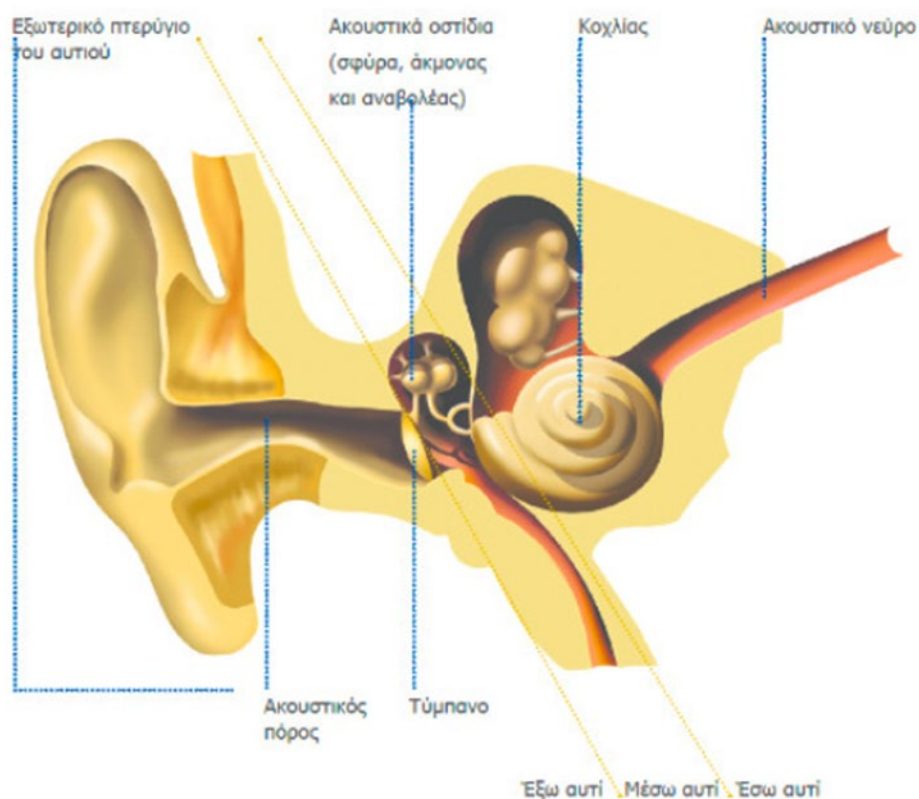
Ο ήχος ως εργαλείο επικοινωνίας έχει συνεισφέρει με σπουδαίο τρόπο στη διαμόρφωση της οικολογίας, της εξέλιξης και της συμπεριφοράς στο ζωικό αλλά και στο φυτικό βασίλειο. Ωστόσο, η ικανότητα χρήσης του ήχου από τους οργανισμούς εκδηλώνεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Η ορολογία της επικοινωνίας αναμφίβολα αποτελεί το πιο πολυσυζητημένο θέμα στην επιστήμη της συμπεριφοράς. Η ένταξη της επικοινωνίας σ' ένα πιο αυστηρό εννοιολογικό πλαίσιο εξακολουθεί να αποτελεί το βασικό σημείο πολλών συζητήσεων (*Scott-Phillips, 2007; Carazo and Font, 2010*). Ως ορισμός της ορίζεται η εκούσια ανταλλαγή κάποιου είδους πληροφοριών ή σημάτων ωφελώντας και τις δύο πλευρές (πομπό και δέκτη). Η αμφίδρομη κατεύθυνση της πληροφορίας θεμελιώνεται πάνω σε μηχανισμούς κωδικοποίησης του αποστολέα και μηχανισμούς αποκωδικοποίησης του παραλήπτη προσδιορίζοντας το αποτέλεσμα της επικοινωνιακής αλληλεπίδρασης (*Wiley, 1983*). Ανεξαρτήτως του επιπέδου της βιολογικής οργάνωσης είτε μεταξύ των ειδών είτε ατόμων εντός του ίδιου είδους, ο ήχος θεωρείται μορφή επικοινωνίας. Αρχικά, η μελέτη της επικοινωνίας έγινε στα ζώα διότι τα σήματα αλληλεπίδρασής τους με το περιβάλλον πραγματοποιούνται σε πολλά επίπεδα όπως (με τα χρώματα, τις κινήσεις, κ.α.), γι' αυτό και ο ήχος προσέλκυσε πολύ γρήγορα το επιστημονικό ενδιαφέρον. Η *φυτοακουστική*, είναι ένα αναδυόμενο πεδίο που ασχολείται με το τρίπτυχο της εκπομπής, της ανίχνευσης και της ανταπόκρισης του ήχου στα φυτά. Τόσο η εκπομπή όσο και η λήψη του ήχου μπορεί να έχουν προσαρμοστική αξία στα φυτά επηρεάζοντας τις αποκρίσεις άλλων φυτών και ζώων, όπως θα δούμε αργότερα.

3.1 Η αντίληψη των ηχητικών κυμάτων από τον άνθρωπο

Το αυτί, αφτί (προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη ους- ωτός) και αποτελείται από τρία μέρη (**Εικόνα 3**). Το εξωτερικό αυτί ή έξω αυτί, αποτελείται από τον ακουστικό πόρο και το πτερύγιο. Το

εξωτερικό τμήμα του αυτιού (πτερύγιο) έχει μία εξειδικευμένη μορφή. Αυτή εξυπηρετεί στο να συγκεντρώνει το ηχητικό κύμα και να κατευθύνει την ενέργεια στον ακουστικό πόρο. Εντός του ακουστικού πόρου το ηχητικό κύμα κατευθύνεται προς το μέσω αυτί. Η λειτουργία του μέσου αυτιού είναι η μεταφορά του ήχου. Εκεί βρίσκεται το *τύμπανο* και τρία μικροσκοπικά οστάρια. Το τύμπανο είναι μια λεπτή ανθεκτική μεμβράνη διαμέτρου 10 χιλιοστών. Το ηχητικό κύμα αναγκάζει το τύμπανο να ταλαντωθεί. Ανάλογα με το ηχητικό ερέθισμα η ταλάντωση αυτή είναι διαφορετική. Τα 3 μικροσκοπικά οστάρια (η *σφύρα*, ο *άκμονας* και ο *αναβολέας*) συνδέουν το τύμπανο με τον *κοχλία*. Η παλμική κίνηση που κάνει το τύμπανο αναγκάζει τα οστάρια να τεθούν σε κίνηση που μεταδίδεται προς τον κοχλία. Η σφύρα εφάπτεται στο τύμπανο του αυτιού και καθώς ο ήχος μεταφέρεται μέσω των 2 οσταρίων, οι δυνάμεις φτάνουν ενισχυμένες στον αναβολέα. Ο αναβολέας λειτουργεί σαν έμβολο, δημιουργώντας κύματα στο υγρό του εσωτερικού αυτιού. Η πιο σημαντική αύξηση δύναμης γίνεται από ένα σύστημα υδραυλικής κίνησης. Η όψη του αναβολέα έχει $3,2 \text{ mm}^2$ ενώ η επιφάνεια του τυμπάνου είναι στα 55 mm^2 . Η μεταξύ τους διαφορά έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τελικής δύναμης κατά 22 φορές σε σχέση με εκείνη που δημιουργήθηκε όταν έφτασε ο ήχος στο τύμπανο. Στην συνέχεια βρισκόμαστε στο έσω αυτί όπου συναντάται το πιο περίπλοκο όργανο της ακοής, ο κοχλίας. Πρόκειται για ένα σπειροειδή σωλήνα που μοιάζει με σχήμα σαλιγκαριού. Ο αναβολέας με την κίνηση του δημιουργεί κύματα πίεσης που κατευθύνονται κατά μήκος αυτού του οργάνου. Στα εσωτερικά τοιχώματα υπάρχουν 20-30 χιλιάδες αυλοειδείς ίνες. Με τη μορφή κυμάτων ταξιδεύουν κατά μήκος αυτής της δομής και συναντούν ίνες με αντίστοιχη συχνότητα συντονισμού, με τον ήχο που ακούσαμε. Εκεί εκδηλώνεται απελευθέρωση ενέργειας. Δεν είναι όμως αυτές οι ίνες υπεύθυνες για την αίσθηση της ακοής. Υπάρχει μια ειδική δομή δίπλα σ' αυτές τις ίνες που περιέχει τριχωτά κύτταρα (ειδικά τριχοφόρα κύτταρα- *μηχανοϋποδοχείς*) τα οποία εφάπτονται σε νευρικές απολήξεις του ακουστικού νεύρου κατά μήκος της βασικής μεμβράνης του κοχλίου. Κάθε χροιά ήχου κατευθύνεται σε συγκεκριμένη περιοχή του κοχλίου. Οι πιο δυνατοί ήχοι προκαλούν την κίνηση σε περισσότερα τριχωτά κύτταρα. Έτσι, όταν οι ίνες συντονίζονται, θέτουν σε κίνηση τα τριχωτά κύτταρα τα οποία στη συνέχεια στέλνουν ηλεκτρικούς παλμούς στο ακουστικό νεύρο και κατ' επέκταση στον εγκέφαλο. Ο εγκέφαλος μας, μεταφράζει όλα αυτά τα δεδομένα προς επεξεργασία με απίστευτη ταχύτητα σε 0,03 δευτερόλεπτα, στέλνοντας αντίστοιχα σήματα προς επεξεργασία και σε διαφορετικά σημεία του εγκεφάλου. Και τα δύο όργανα λειτουργούν ταυτόχρονα και εναρμονισμένα και μας επιτρέπουν να έχουμε την θαυμαστή αίσθηση της ακοής, καθιστώντας δυνατή την απόλαυση ενός όμορφου τραγουδιού ή την παρακολούθηση μιας συζήτησης. Η εμπλοκή του συναισθήματος μετά μουσικής συμβαίνει όταν τα αισθητηριακά σήματα που προέρχονται από το αυτί μεταβιβάζονται, στον εγκέφαλο, και πρώτα στον *θάλαμο*. Από το σημείο εκείνο, διοχετεύονται προς τα αντίστοιχα εξειδικευμένα κέντρα επεξεργασίας στον *νεοφλοιό* (τον σκεπτόμενο εγκέφαλο) αλλά και μέσω μιας αισθητά συντομότερης

διαδρομής, αποτελούμενης από μια και μόνο νευρική σύναψη, προς την *αμυγδαλή* η οποία εξειδικεύεται στην έκφραση ή την ανάσχυση των οποιονδήποτε συναισθημάτων.



Εικόνα 3. Απεικόνιση του οργάνου της ακοής. Πηγή : <https://learn-era.gr/>

3.2 Η επιστήμη της Κυματικής και μερικές φιλοσοφικές θεωρήσεις των συχνотήτων

Η επιστήμη που ασχολείται με τις συχνότητες ονομάζεται Κυματική (*Cymatics*). Όταν οι διάφορες συχνότητες ήχου, μεταφέρονται μέσα από ένα συγκεκριμένο μέσο όπως είναι το νερό, ο αέρας και η άμμος θα αλλάξουν άμεσα την δόνηση της ύλης. Στο περίφημο ντοκιμαντέρ του Νεοζηλανδός μουσικός Nigel Stanford, *Cymatics (Science Vs Music)* δείχνει με έναν μοναδικό τρόπο ότι ο ήχος είναι κάτι περισσότερο από απλά δονητικά σήματα. Κάθε έκφραση μέσω του ήχου, της συγκίνησης ή της σκέψης κατέχει μια συγκεκριμένη συχνότητα, η οποία επηρεάζει τα πάντα γύρω της. Όπως μια μικρή σταγόνα νερού μπορεί να επιδράσει σε μια μεγάλη επιφάνεια νερού προκαλώντας κυματισμούς. Μ' αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο ο ήχος δεν αλληλεπιδρά απλά με την ζωή αλλά την συντηρεί και την αναπτύσσει. Μπορεί να πεις κανείς ότι λειτουργεί ως αγωγός της συνειδητής πρόθεσης μεταξύ των ανθρώπων, των κοινωνιών και ολόκληρων πολιτισμών.

Μια φιλοσοφική θεώρηση των συχνότητων

Λέγεται ότι η συχνότητα των 432 Hz έχει μια «μαθηματική συνέπεια» με τα πρότυπα του σύμπαντος. Υποστηρίζεται ότι η συγκεκριμένη συχνότητα δονείται με την χρυσή τομή φ (Φ) του σύμπαντος και ενοποιεί τις ιδιότητες του φωτός, του χώρου, της ύλης, της βαρύτητας, του μαγνητισμού με την βιολογία, το DNA και την συνείδηση. Όταν τα άτομα της ύλης του σώματος μας και του DNA αρχίζουν να αντηχούν αρμονικά με το σπειροειδές μοτίβο της φύσης (**Εικόνα 4**) και τότε η αίσθηση της ενότητας μας με την φύση αυξάνεται.



Εικόνα 4. Η εικόνα στα αριστερά απεικονίζει το σπειροειδές μοτίβο που συμβολίζει την **Ζωτική Δύναμη** και η εικόνα στα δεξιά απεικονίζει ένα κομμάτι από το ατέρμονο σύμπαν που φέρεται να έχει και αυτό μια μορφή σπείρας. (Πηγή για την εικόνα αριστερά (<https://www.psychografimata.com/i-spira-tis-thetakis-energias/>) και για την εικόνα στα δεξιά (<https://www.olabisi.gr/2019/01/simasia-tou-symboloy-tis-speiras.html>)

Ο αριθμός 432 περιέχεται ακόμη και στις αναλογίες του ήλιου, της γης, της σελήνης, της μετάπτωση των ισημεριών καθώς και σε Ιερούς τόπους όπως στη Μεγάλη Πυραμίδα της Αιγύπτου, στο Στόουνχέντζ και στο *Sri Yantra* κ.α. Αποτελεί ενδιαφέρον ότι όλες οι συχνότητες του φάσματος σχετίζονται με οκτάβες από τις ακτίνες *γάμμα* μέχρι και τις *υποαρμονικές*. Αυτά τα χρώματα και οι νότες αντιστοιχούν επίσης με τα *τσάκρα* μας (από το σανσκριτικό *chakra*) και άλλα σημαντικά ενεργειακά κέντρα. Τα *τσάκρα* συνδέονται με τις επτά ακτίνες του ηλιακού φάσματος. Με παρόμοιο τρόπο οι μουσικές νότες και οι συχνότητες που χρησιμοποιούμε χρειάζεται να είναι αντίστοιχες. Η συχνότητα 432 είναι ο τόνος του «Κοσμικού Πιάνου» ή το «Κοσμικό Διαπασών» σε αντίθεση με το σύγχρονο στα A440 Hz. Στην κλίμακα C# (Nτο δίεση) αντιστοιχεί στα 136,10 Hz (*Om*), η οποία είναι η κύρια νότα του σιτάρ (παραδοσιακό ινδικό μουσικό όργανο) όπως και ο τόνος των ύμνων των θιβετιανών μοναχών, οι οποίοι αναφέρουν πως προέρχεται από την φύση. Οι Αρχαίοι Έλληνες

γνώριζαν για την συχνότητα 432 και την χρησιμοποιούσαν' το ίδιο συνέβαινε και στην Αίγυπτο και στην Αρχαϊκή περίοδο.

3.3 Η διαφορά μεταξύ της συχνότητας 432 και 440 Hz

Έχουν γραφτεί αρκετά πράγματα για την επίδραση των διαφόρων συχνοτήτων στους οργανισμούς και στον άνθρωπο (*Horowitz et al., 1999*), τα οποία όμως δεν έχουν τεκμηριωθεί και μόνο τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να ελέγχονται επιστημονικά (*Babayi and Riazi, 2017; Akimoto et al. 2018; Calamassi and Pomponi, 2019; Baakek and Debbal, 2021*). Ο Αμερικανός οδοντίατρος και συγγραφέας Δρ. *Leonard G. Horowitz* στο βιβλίο του «*Healing Codes for the Biological Apocalypse*» έχει κάνει εκτεταμένη έρευνα σχετικά με την μουσική και την επιρροή των 440 Hz για τον άνθρωπο. Οι πληθυσμοί σε όλον τον κόσμο είναι συνεχώς εκτεθειμένοι σε συχνότητες που οδηγούν σε περισσότερη επιθετικότητα, ψυχοκοινωνική και συναισθηματική ανισορροπία, κάνοντας τους ανθρώπους επιρρεπείς σε φυσικές ασθένειες μέχρι και την οικονομική δυσχέρεια. Αντιθέτως σύμφωνα με τον *Horowitz* ο πιο φυσικός ενστικτώδης και ελκυστικός τόνος είναι ο A= 444 Hz (C5= 528 Hz) ή αλλιώς η συχνότητα της αγάπης. Αυτές είναι οι σωστές δονήσεις που εξαπλώνονται μέσα από την φύση και είναι το σύγχρονο φάρμακο κατά της κοινωνικής επιθετικότητας. Η φυσική ανάκαμψη του ανθρώπου έχει να κάνει περισσότερο με τις συχνότητες και την μουσική απ' ότι αρχικά γνωρίζαμε.

Ο Δρ. *Horowitz* αναφερόμενος στις έρευνες των *Walton, Koehler, Reid* κ.α, σημειώνει ότι ο τόνος των 440 Hz συγκρούεται με τα κέντρα της ανθρώπινης ενέργειας ή τσάκρα. Η σύγχρονη μουσική διεγείρει τον εγωισμό και το αριστερό εγκεφαλικό ημισφαίριο με επακόλουθο, η διαίσθηση και η δημιουργική έμπνευση να καταστέλλονται. Απεναντίας, η συχνότητα 432 Hz βοηθάει το τσάκρα της καρδιάς, την αίσθηση, το συναίσθημα και κατ' επέκταση εμφανίζει ένα θετικό αντίκτυπο στην πνευματική ανάπτυξη του ακροατή. Ο *Horowitz* εξηγεί ότι η μουσική επηρεάζει το σώμα, την υγεία μας, την ψυχοανάρρωση μας μ' ένα βιοενεργειακό τρόπο. Πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα (*Calamassi and Pomponi, 2019*) υποδεικνύουν ότι η μουσική στην συχνότητα των 432 Hz μπορεί να μειώσει τον καρδιακό ρυθμό περισσότερο από εκείνη των 440 Hz. Χρειάζονται όμως μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων καθώς και τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων δοκιμών που να καλύπτουν περισσότερες κλινικές παραμέτρους προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

3.4 Ηχοθεραπεία μέσω δονήσεων του Solfeggio

Σύμφωνα με τον *Ηράκλειτο* «*Τὰ πάντα ῥεῖ, μηδέποτε κατά τ' αὐτό μένειν*», δηλαδή τα πάντα βρίσκονται σε μια αέναη κίνηση, μια διαχρονική παρατήρηση που εμπνέει κατά καιρούς διάφορες θεωρίες όπως για παράδειγμα ο νόμος της δόνησης της *Ερμητικής Φιλοσοφίας*. Στις μέρες μας, οι επιστήμονες μελετώντας τα άμεσα αποτελέσματα που αποφέρουν οι διαφορετικές συχνότητες στην ανθρώπινη

φυσιολογία στο έμβρυο ή στο ενήλικο άτομο, στα ζωτικά όργανα, στα συναισθήματα, στις σκέψεις κ.α. συντέλεσαν στο να αναδυθεί ένα νέο κεφάλαιο στην Εναλλακτική Ιατρική, η Ηχοθεραπεία. Τα κύματα του ήχου μεταβιβάζουν τις θεραπευτικές τους επιδράσεις σε συνάρτηση με την υψηλή περιεκτικότητα του ανθρώπινου σώματος σε νερό. Η ηχοθεραπεία έχει τις ρίζες της στην αρχαία Ελλάδα, αλλά και σε πολιτισμούς άλλων λαών όπως Ινδία, Κίνα και Θιβέτ. Χρησιμοποιούσαν τη μουσική για θεραπευτικούς σκοπούς με όργανα όπως λύρα, ηχογαβάθες, γκόνγκ, Θιβετιανά Κύμβαλα, Κρυσταλλικά Μπολ και διάφορα άλλα κρουστά.

Ο Βιοφυσικός επιστήμονας *Colin McClare (Turin L., 2009)* πρότεινε για πρώτη φορά την επίδραση των δονήσεων στις πρωτεΐνες, και υπέθεσε ότι οι συχνότητες δόνησης της ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν τον οργανισμό όπως οι ορμόνες, οι νευροδιαβιβαστές ή οι διάφοροι αναπτυξιακοί παράγοντες. Μια σειρά από παρόμοια ευρήματα έχουν οδηγήσει στη διαμόρφωση διαφόρων προσεγγίσεων για την Ηχοθεραπεία, θεωρώντας ότι η κατάλληλη χρήση των ηχητικών δονήσεων του ήχου μπορεί να βοηθήσει σε μια πνευματική ισορροπία και αρμονία. Μια από τις αρχές αυτών των μορφών εναλλακτικής ιατρικής είναι ότι οι δονήσεις της Μουσικής βοηθούν στην ενίσχυση της θετικής ενέργειας και στην εξάλειψη της αρνητικότητας και του φόβου (*Akimoto et al. 2018*); *Baakek and Debbal, 2021*). Ποιος μπορεί να αρνηθεί άλλωστε την καταπραϋντική και χαλαρωτική επίδραση που έχει η μουσική στον ανθρώπινο οργανισμό.

3.5 Η κλίμακα συχνοτήτων Solfeggio: Συμπαντικές συχνότητες και Δονήσεις στην Ηχοθεραπεία

Στη μουσική, το σολφέζ (*solfeccio*) είναι μια μέθοδος μουσικής εκπαίδευσης που χρησιμοποιείται για τη διδασκαλία ακουστικών δεξιοτήτων, της αντίληψης του τόνου, και της εκμάθησης της ανάγνωσης της μουσικής. Στη διαδικασία της μουσικής διδασκαλίας, το σολφέζ μπορεί να ενισχύει την ικανότητα μουσικής μνήμης των μαθητών, δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να αναγνωρίζουν με ακρίβεια τα μουσικά έργα και να αποκτούν έτσι καλύτερη «μουσική αντίληψη». Προηγούμενες μελέτες που έχουν διερευνήσει τη συναισθηματική διέγερση ως απόκριση στο άκουσμα της μουσικής έχουν προτείνει ότι η μουσική προκαλεί διαφορετικά συναισθήματα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της, όπως η μελωδία, ο ρυθμός και ο δυναμισμός (*Akimoto et al., 2018*). Ωστόσο, λίγες μόνο αναφορές υπάρχουν σε σχέση με τις διαφορές που μπορεί να έχει η συχνότητα των μουσικών ήχων στον τρόπο που επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα. Σε μια μελέτη στην οποία αρουραίοι εκτέθηκαν σε διάφορα μουσικά ερεθίσματα διαφορετικών συχνοτήτων παρατηρήθηκε μείωση της αρτηριακής τους πίεσης ανάλογα με τη συχνότητα. Συγκεκριμένα, η αλλαγή αυτή παρατηρήθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό για μουσικές μελωδίες στο εύρος συχνοτήτων των 16 kHz σε σύγκριση με τη συχνότητα των 4 kHz (*Akiyama et al., 2011*), και διαπιστώθηκε ότι η μουσική υψηλής συχνότητας διεγείρει τη σύνθεση ντοπαμίνης και καταστέλλει τη δραστηριότητα του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Σε μια άλλη μελέτη βρέθηκε ότι η

ακρόαση μουσικής υψηλής συχνότητας αυξάνει τη δραστηριότητα του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος, και μειώνει το στρες, σε σύγκριση με την ακρόαση μουσικής χαμηλής συχνότητας (Nakajima et al., 2016).

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένες από τις «θεραπευτικές» ιδιότητες που έχει η εφαρμογή διαφορετικών δονητικών συχνοτήτων στο σώμα σύμφωνα με τις αντιλήψεις της Ηχοθεραπείας, και τον χαρακτηριστικό τρόπο περιγραφής που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μορφή εναλλακτικής ιατρικής.

1. 396 Hz – Απελευθέρωση της ενοχής και του φόβου.
2. 417 Hz – Αλλαγή καταστάσεων και διευκόλυνση στις κοινωνικές επαφές
3. 528 Hz – Αυξημένη ποσότητα ενέργειας ζωής
4. 639 Hz – Σύνδεση / Σχέσεις
5. 741 Hz – Έκφραση / Λύσεις / Αφύπνιση της ψυχής/επέκταση της συνείδησης
6. 852 Hz – Επιστροφή στην Πνευματική Τάξη/Απελευθέρωση από αρνητικά συναισθήματα
7. 963 Hz – Σύνδεση με τον Κόσμο Αφύπνιση
8. 432 Hz – Συμπαντική Αρμονία
9. 783 Hz – η συχνότητα της Γης/Αυξημένα επίπεδα ενέργειας

3.6 Γιάννης Πετρίδης

Ο Γιάννης Πετρίδης γεννήθηκε στην Αθήνα και είναι ένας από τους παλαιότερους μουσικούς παραγωγούς στην Ελλάδα. Το 1975 ξεκίνησε στην Ελληνική Ραδιοφωνία την εκπομπή «Ποπ Club» όπου αργότερα μετονομάστηκε σε «από τις 4 στις 5» και κατάφερε να μείνει στον αέρα για 39 χρόνια στην ίδια συχνότητα, με αποτέλεσμα να χαρακτηριστεί ως η μακροβιότερη καθημερινή μουσική εκπομπή όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο. Έχει πάρει συνεντεύξεις από πολλούς γνωστούς Έλληνες αλλά και ξένους καλλιτέχνες στην εκπομπή του όπως ο David Byrne, οι Dire Straits, John Barry, Ennio Morricone, Joe Cocker, Nick Cave, οι Roxy Music, ο Rory Gallagher και πολλοί άλλοι. Το 1978 δημιούργησε μαζί με τον Κώστα Ζουγρή το περιοδικό ΠΟΠ & ΡΟΚ, που αφορούσε όλες τις μουσικές εξελίξεις της ξένης κυρίως μουσικής μέχρι το 1998 όπου και αποχώρησε. Έχει συνεργασθεί κατά καιρούς με μεγάλες Ελληνικές εφημερίδες, όπως η Μεσημβρινή, η Ελευθεροτυπία και το περιοδικό ΕΠΙΚΑΙΡΑ στην πρώτη του μορφή. Διετέλεσε διευθυντής της Virgin Ελλάδας για 22 περίπου χρόνια. Έτσι είχε την ευκαιρία να γνωρίσει ακόμα περισσότερους καλλιτέχνες όπως τον Elton John, Roberta Flack, Led Zeppelin, George Michael, Janet Jackson και άλλους.

Είναι συγγραφέας 6 βιβλίων μαζί με τον Κώστα Ζουγρή: «Τα τραγούδια του αιώνα», «Τα άλμπουμ του αιώνα», «Γιάννης Πετρίδης 30 χρόνια απογεύματα στην ΕΡΤ», «Soundtracks, ο ήχος της οθόνης» και «Από την κλασική στην Ροκ» τα οποία περιλαμβάνουν την μουσική ιστορία των τελευταίων 100 ετών.

Το 2009 η σκηνοθέτης Νικόλ Αλεξανδροπούλου γύρισε το ντοκιμαντέρ *Once In A Lifetime*, που αναφέρεται στην καριέρα του.

Είναι κάτοχος μίας από τις μεγαλύτερες ιδιωτικές μουσικές συλλογές στον κόσμο και οι γνώσεις του καλύπτουν πολλά μουσικά είδη καθώς έχει αφιερώσει την ζωή του στην μουσική καταφέροντας να αποκτήσει δικαίωμα ψήφου στο Rock and Roll Hall Of Fame.

Είναι από τους βασικούς συντελεστές στην ιστοσελίδα καθημερινής ενημέρωσης για τη μουσική και τις τέχνες, *apotis4stis5.com*.

Η μεγάλη αγάπη του για την ξένη ροκ μουσική ήταν τόσο έντονη που άφησε το στίγμα της, το οποίο είχε μεγάλη ανταπόκριση από το ελληνικό κοινό μεγαλώνοντας γενεές και προσφέροντας μια άλλη ματιά στα μουσικά δρώμενα.

4. Η επικοινωνία στο Ζωικό Βασίλειο

Σε όλους τους πολιτισμούς, υπάρχουν αρκετοί μύθοι και θρύλοι για τις «γλώσσες των ζώων». Οι πιο γνωστοί στην Ελλάδα είναι οι μύθοι του Αισώπου, οι οποίοι αναφέρονται για δεκάδες ιστορίες με ζώα που έχουν την ικανότητα να μιλάνε και μεταξύ τους και με τους ανθρώπους. Ένα εύλογο ερώτημα είναι αν τα ζώα πράγματι μιλάνε. Εάν η γλώσσα εκληφθεί απλώς ως ένα σύστημα επικοινωνίας και τίποτα παραπάνω, τότε δεν είναι μόνο οι άνθρωποι που μπορούν να επικοινωνήσουν αλλά και πολλά έμβια όντα. Η ανθρώπινη γλώσσα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την γλωσσική έκφραση των σκέψεων, προθέσεων, επιθυμιών, συναισθημάτων, σε αντίθεση με τον τρόπο που επικοινωνούν τα ζώα μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας ενεργά τα μη λεκτικά μέσα επικοινωνίας (ουρά, αυτιά, εκφράσεις προσώπου, γλώσσα σώματος κ.α). Γι' αυτόν τον λόγο, ο κόσμος των ζώων είναι μοναδικός και αρκετά συναρπαστικός αρκεί κανείς να παρατηρήσει τις συνήθειες τους. Η ανάγκη για επικοινωνία είναι εξίσου σημαντική γι' αυτά. Έχει βεβαίως, διαφορετικούς κανόνες και συμπεριφορές που συντελούν στην αρμονική συμβίωση και ισορροπία μεταξύ τους. Είναι ενδιαφέρον να δούμε πως επιτυγχάνεται η μεταξύ τους επικοινωνία. Μπορεί να συμβεί μεταξύ των μελών του ίδιου είδους αλλά και μεταξύ μελών από διαφορετικά είδη. Τα ζώα συλλέγουν πληροφορίες που αφορούν για την ταυτότητα τους, την συναισθηματική τους κατάσταση, την ηλικία, το γένος, την κατάσταση της υγείας τους, την κοινωνική θέση, την κυριαρχία της περιοχής κτλ. Αυτό έχει ως επακόλουθο να προσελκύσουν, να απωθήσουν ή ακόμα και να προκαλέσουν μακροπρόθεσμα ή βραχυπρόθεσμα αλλαγές σ' έναν οργανισμό. Πραγματοποιείται με διάφορες διαθέσιμες οργανικές λειτουργίες. Την οπτική (λαμβάνουν όλα τα μέρη του σώματος), την χημική (μαρκάρουν την περιοχή τους με ούρα και περιττώματα), την ακουστική (βγάζοντας ήχους) και την όσφρηση (ανταλλαγή πληροφοριών). Παραδείγματος χάριν, το *κελάηδισμα* των πουλιών, το *σφύριγμα* των δελφινιών, το *χλιμίντρισμα* των αλόγων, όλα αυτά θα μπορούσαν να

θεωρηθούν εν δυνάμει όμοια συστήματα επικοινωνίας με τα ανθρώπινα. Ιδιαίτερη μνεία αξίζει να γίνει στον χορό των μελισσών, ο οποίος είναι αρκετά περίπλοκος αλλά αξιόλογος εντούτοις χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο την τοποθεσία με πηγές νέктar. Όλα τα παραπάνω, συμβαίνουν σ' ένα αρκετά μεγάλο εύρος συχνοτήτων περιλαμβάνοντας όχι μόνο τα ακουστό φάσμα (20Hz έως 20 KHz) μα και τους υπέρηχους και τους υπόηχους.

Τα θηλαστικά και τα πουλιά έχουν την πιο ανεπτυγμένη αίσθηση της ακοής. Ωστόσο αυτό δεν αποτελεί κανόνα καθώς υπάρχουν και οι εξαιρέσεις όπως οι φάλαινες 20-100000Hz, οι νυχτερίδες 1500-100000Hz και τα ψάρια 20-3000Hz.

4.1 Βιοακουστική

Είναι γεγονός ότι υπάρχουν οργανισμοί, που εκμεταλλεύονται τις συχνότητες πέρα από το ύψος που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το υπερηχητικό κάλεσμα του Αφρικανικού ελέφαντα (*Langbauer et al., 1991; Garstang, 2004*), η υπερηχητική επικοινωνία των βακτηρίων (*Matsushita et al., 1998*), ενώ στην ίδια συχνότητα ανήκουν τα τρωκτικά και οι νυχτερίδες (*Arch and Narins, 2008*) όπως και το τραγούδι μερικών βατράχων (*Feng et al., 2006*). Γνωρίζουμε επίσης ότι πολλά από αυτά είναι θορυβώδη. Ένα καινούργιο αναδυόμενο κεφάλαιο της επιστήμης των ήχων είναι η **Βιοακουστική**. Ασχολείται με ήχους που είτε παράγονται είτε επηρεάζουν τους οργανισμούς κυρίως στο κομμάτι της επικοινωνίας. Καταγράφει και μελετά τους ήχους από διαφορετικά είδη ζώων στο ενδιαίτημα τους. Περαιτέρω έρευνα έδειξε ότι η χρήση τέτοιων υπερηχητικών σημάτων από τις νυχτερίδες αποτελούν τις «κοινωνικές κλήσεις» για την επικοινωνία τους (*Jones, 2008*).

Ωστόσο, ο ήχος σ' ένα περιβάλλον δεν μπορεί να εστιαστεί μόνο στα ζώα (*Schussler and Olzak, 2008*). Στην πραγματικότητα, εντός του περιβάλλοντος υπάρχει ένα ζωτικό στοιχείο παραγωγής ήχου, που συνήθως φαίνεται να αγνοείται' και αυτό είναι τα **φυτά** (*Lopez, 2004*). Η ακουστική που προέρχεται από τα φύλλα και τα κλαδιά των φυτών, οι σταγόνες της βροχής που πέφτουν στα φύλλα, ο άνεμος που τα μετακινεί έχει πλέον καθιερωθεί από την βιβλιογραφία ως ένα ξεχωριστό «είδος μουσικής» το οποίο έχουν αναπτύξει τα φυτά με όχι τόσο ... *ευχάριστο* άκουσμα (*Milburn and Johnson, 1966; Tyree and Sperry, 1989; Kikuta et al., 1997; Laschimke et al., 2006; Gagliano, Mancuso et al., 2012*).

4.2 Η αισθητηριακή αντίληψη του ήχου από τις κυτταρικές μεμβράνες του φυτού.

Στις μεμβράνες των φυτών εντοπίζεται μια πληθώρα μηχανοευαίσθητων καναλιών που θεωρείται ότι είναι δεκτική σε παλμικές κινήσεις (*Haswell et al., 2011*). Οι ηχητικές δονήσεις (*Sound Vibrations- SV*) ενεργοποιούν αυτά τα κανάλια δημιουργώντας αφενός μεν μια αλλαγή στο δυναμικό φορτίο της βιολογικής μεμβράνης αφετέρου έναν καταρράκτη σηματοδότησης (*Haswell and Meyerowitz, 2006*).

Μια πετυχημένη απόκριση στο φυτό προϋποθέτει αρχικώς την αίσθηση οποιουδήποτε ερεθίσματος στην επιφάνεια του κυττάρου. Οι αντιδράσεις στην αίσθηση γίνονται αντιληπτές από διάφορους υποδοχείς που εδράζονται στην πλασματική μεμβράνη (Alexandersson *et al.*, 2004). Συνήθως πρόκειται για υποδοχείς πρωτεϊνικής φύσεως. Άλλος τρόπος για να συμβεί μια μεταγωγή σήματος είναι η διαφορά δυναμικού κατά μήκος της πλασματικής μεμβράνης (Trewavas and Malho, 1997). Τα ιόντα κινούνται μέσα ή έξω από το κύτταρο είτε μέσω αντλιών ή μέσω καναλιών στην πλασματική μεμβράνη (Pandey *et al.*, 2007). Το φυτικό κύτταρο, ανάλογα με την συχνότητα που χρειάζεται να «αισθάνεται» αξιοποιεί είτε υποδοχείς οι οποίοι βρίσκονται στην επιφάνεια της μεμβράνης είτε μηχανισμούς που εξαρτώνται από το δυναμικό της μεμβράνης.

Υπάρχουν επίσης μελέτες που υποδεικνύουν την ύπαρξη ειδικών μηχανισμών αίσθησης που έχουν στην διάθεση τους τα φυτά για να εντοπίζουν τον ήχο και είναι τα κανάλια μηχανικής ευαισθησίας (MS) τα οποία υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία. Απαντώνται επίσης και σε μονοκύτταρα βακτήρια αλλά και σε άλλους πολυκύτταρους οργανισμούς (αναθεωρημένο από τους Haswell *et al.*, 2011).

Ηχητικά κύματα που δημιουργούν πίεση θεωρούνται ακόμη και η βαρύτητα, ο άνεμος, τα παλιρροϊκά κύματα, η βροχή κ.α. (Telewski, 2006). Για τον τρόπο αντίληψης της μηχανικής πίεσης που αισθάνεται το φυτό, ο Telewski (2006) ανέφερε δύο μοντέλα υποδοχέων. Το ένα είναι ένα δίκτυο αποτελούμενο από τον κυτταροσκελετό μεμβράνης πλάσματος και το κυτταρικό τοίχωμα που υποστηρίζεται σε πλασμοδέσματα, και το άλλο, κανάλια ιόντων τα οποία ανοίγουν μόλις ενεργοποιηθούν. Αποτελεί ενδιαφέρον, ότι η λειτουργία τους είναι παρόμοια και στα βακτηριακά κύτταρα. Η μηχανική τάση που δημιουργείται στην μεμβράνη προκαλεί επιμήκυνση στους πόρους των μηχανοευαίσθητων καναλιών, όπως τα μηχανοευαίσθητα κανάλια μικρής αγωγιμότητας MscS (*Small Conductance Mechanosensitive Ion Channels*) και τα παρεμφερή με αυτά, τα MSL (*MscS-Like*) που υπάρχουν και στην κυτταρική μεμβράνη των βακτηρίων (Okada *et al.*, 2002), καθώς επίσης και στους ζυμομύκητες (Haswell and Meyerowitz, 2006). Η αναδιάταξη των μικροϊνιδίων με τις ηχητικές δονήσεις είτε αυξάνει την τάση είτε δημιουργεί παραμόρφωση της κυτταρικής μεμβράνης (Liu *et al.*, 2001). Μέσω της φασματικής ανάλυσης του κυκλικού διχρωϊσμού CD (*Circular Dichroism*), έχει βρεθεί ότι οι ηχητικές δονήσεις προκαλούν μεταβολές στην δευτερογενή δομή των πρωτεϊνών δηλαδή στην α-έλικα και μείωση της β' στροφής εντός της δευτερογενούς δομής των πρωτεϊνών της μεμβράνης (Zhao *et al.*, 2002b). Η μεταβολή αυτή επηρεάζει το κυτταρικό τοίχωμα, και σύμφωνα με τον Johnson *et al.* (1998) οδηγεί σε ισχυρή επαγωγή του γονιδίου TCH4 (από την αγγλική λέξη *touch*), το οποίο κωδικοποιεί το ένζυμο XTH (*Xyloglucan endoTransglucosylase/Hydrolase*) το οποίο διασπά και επανασυνδέει πολυμερή ξυλογλυκάνης, ένα από τα κύρια δομικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος (Campbell and Braam, 1998), επηρεάζοντας έτσι το σχήμα των κυττάρων και την μορφογένεση των φυτών. Ανάμεσα στις δύο κατηγορίες των προαναφερθέντων μηχανοευαίσθητων μηχανισμών, τα κανάλια που συντελούν

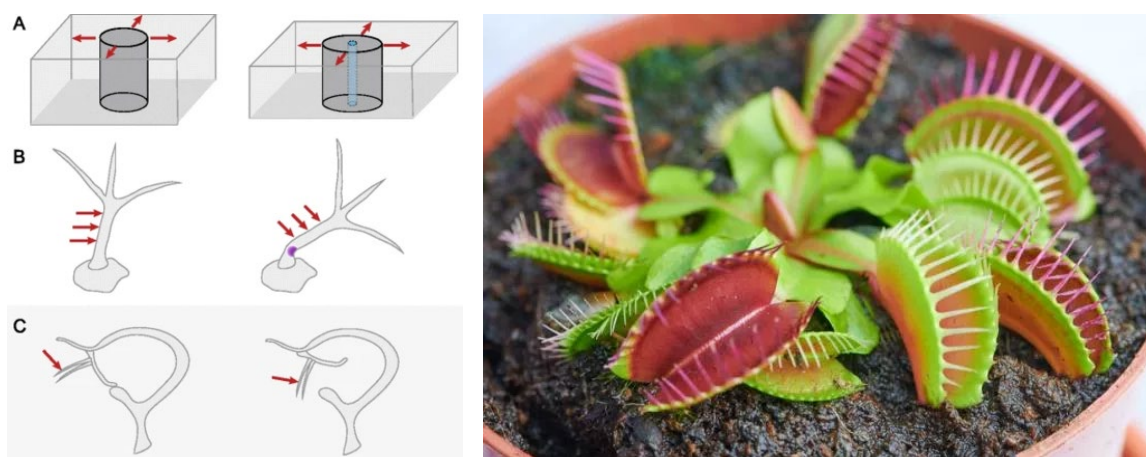
στην ηχητική σηματοδότηση είναι εκείνα που ενεργοποιούνται με την τάνυση (*stretching*), όπως τα MSL, τα μη εκλεκτικά κανάλια και οι πρωτεΐνες της οικογένειας MCA (*Mid1-Complementing Activity*) οι οποίες αποτελούν ειδικά κανάλια ασβεστίου (*Leblanc-Fournier et al., 2014*). Η εξωγενής έκφραση του γονιδίου MCA1 του φυτού *Arabidopsis* σε ωκύτταρα του αμφίβιου *Xenopus laevis* βρέθηκε ότι ενισχύει την μηχανική δραστηριότητα αυτού του καναλιού στην πλασματική τους μεμβράνη (*Furuichiet et al., 2012*), αποδεικνύοντας ότι τα κανάλια ασβεστίου MCA, ανταποκρίνονται στις μηχανικές πιέσεις όπως και τα MSL. Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετές μελέτες έχουν διαπιστώσει εκροή/εισροή Ca^{2+} κατά τη διέγερση από ηχητικές δονήσεις, η οποία συνδέεται άμεσα με την πιθανή ενεργότητα των διαύλων MCA κάτω από αυτές τις συνθήκες (**Εικόνα 17**). Επιπλέον, σε μια παλαιότερη αναφορά παρατηρήθηκε μια αύξηση στη ρευστότητα της μεμβράνης κατά την διέγερση από τις δονήσεις (*Yi et al., 2003a*). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την πιθανή συμμετοχή των λιπιδίων στην μεταγωγή του σήματος από τις ηχητικές δονήσεις, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να αλληλεπιδρά με την σηματοδότηση του ασβεστίου (*Mishra and Grover, 2014*).

4.3 Ο ρόλος των μηχανοϋποδοχέων

Ο μηχανοϋποδοχέας είναι ένα αισθητήριο όργανο ή κύτταρο που ανταποκρίνεται σε μηχανική διέγερση όπως η αφή, η πίεση, η δόνηση και ο ήχος τόσο από το εσωτερικό όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι μηχανικοί υποδοχείς εντοπίζονται στα ζώα και είναι ενσωματωμένοι στο νευρικό σύστημα ως αισθητήριοι νευρώνες. Σε αντίθεση με τα φυτά που δεν διαθέτουν νεύρα ή νευρικό σύστημα έχουν όμως μηχανοϋποδοχείς που εκτελούν παρόμοια λειτουργία. Οι μηχανικοί υποδοχείς ανιχνεύουν τα μηχανικά ερεθίσματα που προέρχονται από το εσωτερικό του φυτού (ενδογενή) και από το περιβάλλον (εξωγενή). Η ικανότητα του φυτού να αισθάνεται δονήσεις, αφή ή οποιαδήποτε άλλη διαταραχή είναι μια προσαρμοστική αντίδραση ώστε το φυτό να μπορεί να υπερασπιστεί κατάλληλα τον εαυτό του από οποιαδήποτε βλάβη. Οι μηχανοϋποδοχείς μπορούν να οργανωθούν σε τρία επίπεδα: μοριακό, κυτταρικό και οργανικό επίπεδο. Μόλις αντιληφθούν το οποιοδήποτε σήμα, αλλάζουν σχήμα ως απάντηση σε μηχανικά ερεθίσματα (**Εικόνα 5, αριστερά, κόκκινα βέλη**).

Η μεμβράνη του πλάσματος είναι γεμάτη μεμβρανικές πρωτεΐνες και κανάλια ιόντων. Ένας τύπος καναλιού ιόντων είναι τα μηχανοευαίσθητα MS (*mechanosensitive*) κανάλια ιόντων. Τα κανάλια αυτά, είναι διαφορετικά από τις άλλες μεμβρανικές πρωτεΐνες. Το κύριο τους γνώρισμα είναι η δυνατότητα να ανοίγουν αγωγούς για να περάσουν ιόντα μέσω της μεμβράνης ως απάντηση σε μηχανικά ερεθίσματα. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στη «μηχανική» δύναμη να δημιουργήσει μια ροή ιόντων, η οποία στη συνέχεια οδηγεί σε μια σηματοδοτική απόκριση. Τα κανάλια MS πιστεύεται ότι είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου τα φυτά αντιλαμβάνονται την βαρύτητα, τους κραδασμούς, την αφή, το υπερ-οσμωτικό και υπο-οσμωτικό στρες, την εισβολή των παθογόνων και την αλληλεπίδρασή τους με

τα μικρόβια. Τα κανάλια MS ποικίλλουν και ως προς τα είδη και ως προς την τοποθεσία τους, αφού μπορούν να εντοπιστούν σε διαφορετικά φυτικά όργανα, όπως στα φύλλα, στους μίσχους, καθώς και σε ποικίλες κυτταρικές μεμβράνες. Όταν το φυτό αντιληφθεί ένα μηχανικό ερέθισμα μέσω ενός μηχανοϋποδοχέα ο οποίος βρίσκεται μέσα στην πλασματική μεμβράνη κυττάρου, η ροή ιόντων που προκύπτει προκαλεί έναν σηματοδοτικό καταρράκτη, με αποτέλεσμα μια κυτταρική απόκριση. Ο καταρράκτης σηματοδότησης και η απόκριση εξαρτώνται από τον τύπο του ερεθίσματος και το συγκεκριμένο είδος του μηχανοϋποδοχέα. Για παράδειγμα, μπορεί να εκδηλωθεί ως αλλαγή στην πίεση περιστροφής με αποτέλεσμα την κίνηση, την έκκριση αμυντικών χημικών ουσιών ή το κλείσιμο των στομάτων. Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα είναι οι μικροσκοπικές *τρίχες σκανδάλης* όπως ονομάζονται, οι οποίες συναντώνται στο φυτό Μυγοπαγίδα της Αφροδίτης (**Εικόνα 5**, δεξιά). Όταν αγγίζεται επανειλημμένα μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το φυτό θα κλείσει, παγιδεύοντας και αφομοιώνοντας το θήραμά του.



Εικόνα 5. Αριστερά, Μηχανοϋποδοχείς που αλλάζουν σχήμα σε απόκριση σε μηχανικά ερεθίσματα (κόκκινα βέλη). Δεξιά, Το φυτό Μυγοπαγίδα της Αφροδίτης (Venus Flytrap).

(Πηγή: https://www.wikiwand.com/en/Mechanoreceptors_%28in_plants%29 και <https://el.green-ecolog.com/15340077-caring-for-the-venus-flytrap/>)

4.4 Μια πειραματική προσέγγιση των συνεπειών της μουσικής και των ήχων στα φυτά μέσα από την ματιά της εκπαίδευσης

Την δεκαετία του 1950, επικρατούσε ήδη η ιδέα ότι τα φυτά ανταποκρίνονται στη μουσική. Πολλές πειραματικές έρευνες είχαν πραγματοποιηθεί για να αναδειχθεί η επίδραση της μουσικής στην ανάπτυξη των φυτών. Μάλιστα αυτή η πεποίθηση ξεκίνησε να εφαρμόζεται και στα πλαίσια της εκπαίδευσης, με την ένταξη της μουσικής στο μάθημα της Βιολογίας, προκειμένου να βρεθεί απάντηση στο ερώτημα: «*άραγε η μουσική προκαλεί ή μειώνει την ανάπτυξη των φυτών*»?

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένα πείραμα στο οποίο, οι μαθητές χρησιμοποίησαν σπόρους φασολιών τα οποία και υποβλήθηκαν σε διάφορους παράγοντες: απουσία ήχου, συνθήκες περιορισμένου φωτός, και έκθεση σε μουσική *Mozart* και *Vedic chants*. Το πείραμα είχε ως εξής' Σχηματίστηκαν λοιπόν 3 ομάδες σπόρων: πρώτη ομάδα, το *control group* (απουσία ήχου), δεύτερη ομάδα, σπόροι που υποβλήθηκαν σε μουσική *Mozart* και η τρίτη ομάδα που υποβλήθηκε σε *Vedic chants*. (Εικόνα 6)



Εικόνα 6. Οι τρεις ομάδες σπόρων (control group, Mozart music και Vedic chants).

(Πηγή : The American Biology Teacher, Volume 81, NO. 7, SEPTEMBER 2019)

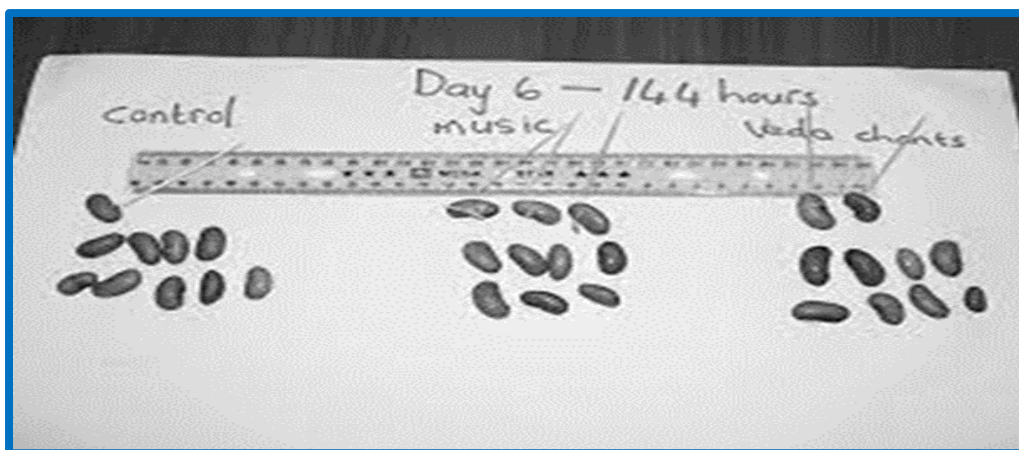
Εν συνεχεία, οι τρεις ομάδες τοποθετήθηκαν μέσα σε κουτιά τα οποία είχαν ένα άνοιγμα που ήταν στραμμένο προς την συσκευή αναπαραγωγής μουσικής CD Player (*Compact Disk Player*). Η μουσική στις δύο ομάδες σπόρων έπαιζε κατ' επανάληψη (χωρίς διακοπή). (Εικόνα 7)



Εικόνα 7. Το μέσο αναπαραγωγή της μουσικής και το κυτίο εντός του οποίου βρίσκεται η εκάστοτε ομάδα σπόρων.

(Πηγή : The American Biology Teacher, Volume 81, NO. 7, SEPTEMBER 2019)

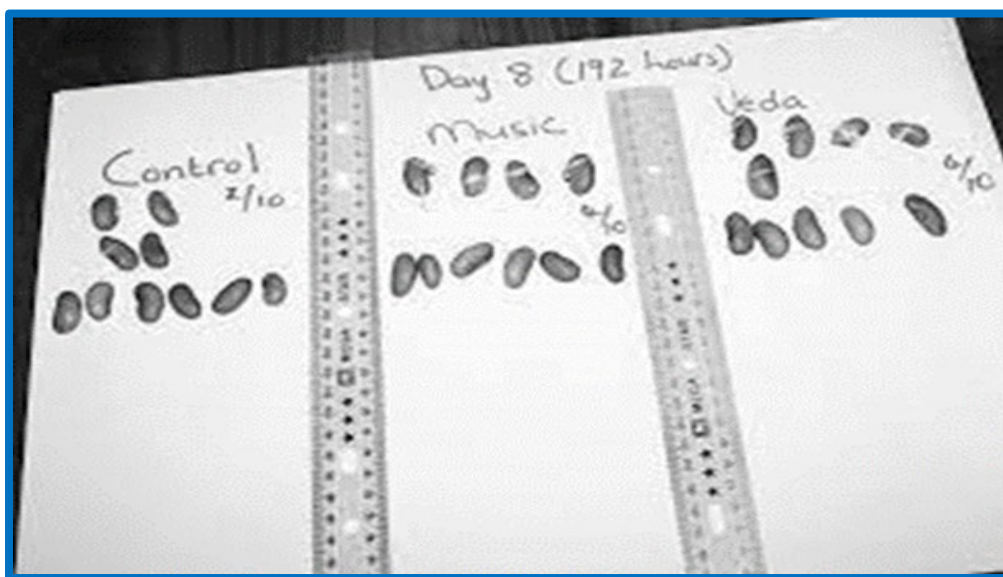
Τα αποτελέσματα δεν άργησαν να φανούν. Ήδη σε 6 ημέρες, οι σπόροι που εκτέθηκαν στην μουσική άρχισαν να βλαστάνουν σε αντίθεση με το control group στο οποίο δεν παρατηρήθηκε εκβλάστηση. (Εικόνα 8)



Εικόνα 8. Τα αποτελέσματα των σπόρων μετά από 6 ημέρες πειράματος.

(Πηγή : *The American Biology Teacher*, Volume **81**, NO. 7, SEPTEMBER 2019)

Μέσα σε 8 ημέρες τα αποτελέσματα ήταν ακόμα πιο εντυπωσιακά. Στη πρώτη ομάδα (control group) βλάστησαν μόνο 2 σπόροι φασολιού, ενώ στην δεύτερη (*Mozart*) και στην τρίτη (*Vedic chants*) υπήρξε εκβλάστηση 4 σπόρων φασολιού (**Εικόνα 9**)



Εικόνα 9. Τα αποτελέσματα των σπόρων μετά από 8 ημέρες πειράματος.

(Πηγή : *The American Biology Teacher*, Volume **81**, NO. 7, SEPTEMBER 2019)

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν μέσα από το πείραμα αλλά και από την περαιτέρω βιβλιογραφική έρευνα των μαθητών είναι τα εξής: η μουσική δείχνει να επηρεάζει το ιζώδες του πλάσματος δηλαδή την διαθεσιμότητα του ενδοκυτταρικού Ca^{2+} το οποίο επηρεάζει την δραστηριότητα των ενζύμων που βρίσκονται στην μεμβράνη. Αυτή η διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες ποσότητες νερού, θρεπτικών ουσιών και ρυθμιστών ανάπτυξης που εισέρχονται στο φυτικό κύτταρο.

4.5 Οι ηχητικές συχνότητες και οι θετικές επιπτώσεις στα φυτά

Εδώ και δύο δεκαετίες αυξάνεται διαρκώς ο όγκος των μελετών που δείχνουν ότι τα ηχητικά κύματα σε συγκεκριμένες συχνότητες ασκούν μια θετική επίδραση στις βιολογικές διαδικασίες του φυτού όπως η βλάστηση του σπόρου, η επιμήκυνση της ρίζας, η ανάπτυξη του τύλου (*callus*) αλλά και κυτταρικές διεργασίες όπως ο κυτταρικός κύκλος (Gagliano, 2013b; Chowdhury et al., 2014; da Silva and Dobranszki, 2014). Για να μελετήσουν αυτές τις επιδράσεις, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν ηχητικές δονήσεις μεγάλης γκάμας συχνοτήτων. Οι Collins and Foreman (2001) εφάρμοσαν διαφορετικές συχνότητες (500, 5000, 6000, 12000, 14000 Hz) με την ένταση του ήχου στα 91-94 dB, στα κοινά φασόλια (*Phaseolus vulgaris*) και στο (*Impatiens* sp). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ανάπτυξη ήταν ένα κοινό στοιχείο και για τα δύο φυτά, με την μόνη διαφορά να εμφανίζεται στο είδος της συχνότητας. Στα φασόλια η μέγιστη ανάπτυξη έγινε στα 5000 Hz ενώ το *Impatiens* είχε καλύτερη επίδοση στα 12000 Hz. Αντίστοιχα, στο κινέζικο λάχανο και το αγγούρι, μέσω της ηχητικής διέγερσης αυξήθηκε η πρόσληψη του οξυγόνου και τα επίπεδα πολυαμινών. Το μεν κινέζικο λάχανο ανταποκρίθηκε πιο πολύ στις δονήσεις της Green music (μείξη κλασσικής μουσικής με ήχους της φύσης) στα 100 dB το δε αγγούρι είχε καλύτερη επίδοση στα 20000 Hz (Qin et al., 2003).

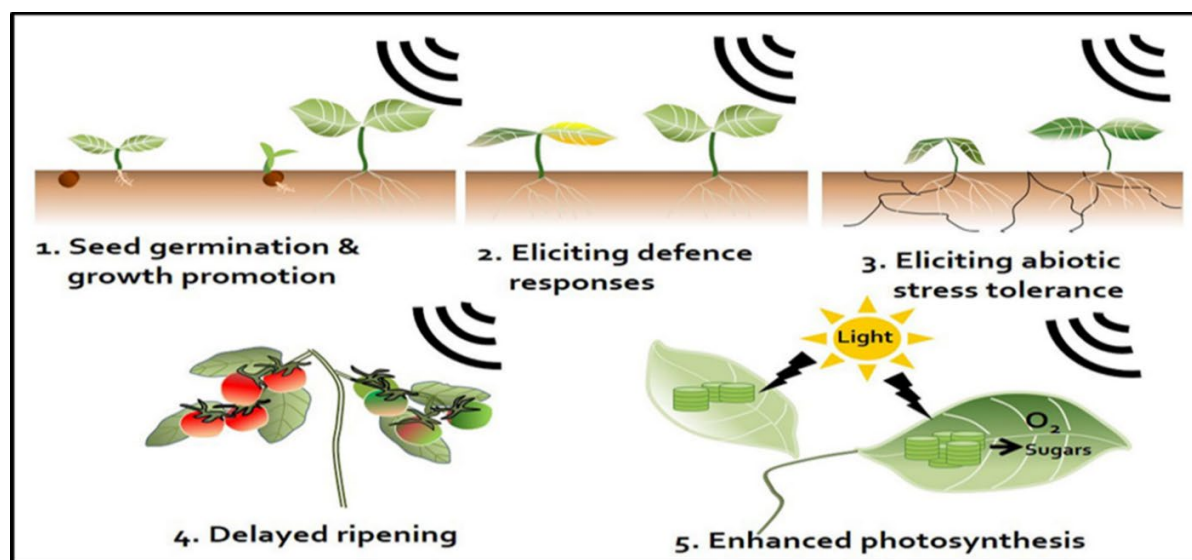
Ο Chamovitz (2012) πρότεινε «ότι η μουσική δεν έχει οικολογική σημασία για τα φυτά ωστόσο υπάρχουν ήχοι που θα μπορούσαν να είναι ωφέλιμοι γι' αυτά». Σαφώς οι δονήσεις που προέρχονται από το φυσικό περιβάλλον δεν μπορούν επ' ουδενί, να υποκαταστήσουν τις τεχνητές δονήσεις αντίστοιχων συχνοτήτων. Παρόλ' αυτά, τα φυτά που υπόκεινται σε τέτοιου είδους δονήσεις ανταποκρίνονται εξίσου σημαντικά σε μοριακό, μορφολογικό και φυσιολογικό επίπεδο. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα φυτά λόγω των δονήσεων, χρησιμοποιούνται ευρέως στους τομείς της βιοτεχνολογίας και της γεωργίας. Μάλιστα σε *in vitro* καλλιέργειες επικρατεί η άποψη ότι προκαλούν την οργανογένεση (da Silva and Dobranszki, 2014).

Οι Wang et al. (2003a) ανέφεραν τα ευεργετικά αποτελέσματα όπως αύξηση στην βλάστηση, στο ύψος, στο νωπό βάρος, στο ριζικό σύστημα και στη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης, που είχε η συχνότητα 400 Hz και 106 dB στο ρύζι *paddy*. Διαπιστώθηκε ότι συχνότητες μεγαλύτερες από αυτό είχαν τα αντίθετα αποτελέσματα, γεγονός που έδειξε ότι εντός του ακουστικού φάσματος τα αποτελέσματα όσον αφορά την ανάπτυξη των φυτών ήταν θετικά, σε αντίθεση με τον υπέρηχο (Miller, 1983; Hassanien et al., 2014).

Δεκαετής επιστημονική έρευνα δείχνει ότι τα φυτά ανταποκρίνονται σε ηχητικά κύματα διαφορετικών συχνοτήτων μεταβάλλοντας τους ρυθμούς στην βλάστηση και την ανάπτυξη (Klein and Edsall, 1965; Weinberger and Burton, 1981; Takahashi et al., 1992). Οι αλλαγές που προκαλούν τα ηχητικά κύματα τόσο σε μοριακό όσο και σε φυσιολογικό επίπεδο περιλαμβάνει εκτός από τα επίπεδα των πολυαμινών (Qin et al., 2003), τις φυτοορμόνες, αυξίνη (*IAA*) και αμψισικό οξύ (*ABA*) (Wang et al., 2004), την

ρύθμιση των αντιοξειδωτικών ενζύμων (Li *et al.*, 2008), την πρόσληψη του οξυγόνου (Qin *et al.*, 2003), την σύνθεση του RNA και τις διαλυτές πρωτεΐνες (Yi *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2004).

Μεταξύ άλλων, συμπεριλαμβάνονται οι αμυντικές αποκρίσεις, η ανοχή σε στρεσογόνους παράγοντες, καθυστέρηση της ωρίμανσης των καρπών, ενίσχυση της φωτοσύνθεσης και ίσως την πιο σημαντική διαδικασία, την γονιδιακή έκφραση (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Διάφορες αποτελέσματα των συχνοτήτων που επηρεάζουν τις βιολογικές διαδικασίες των φυτών.

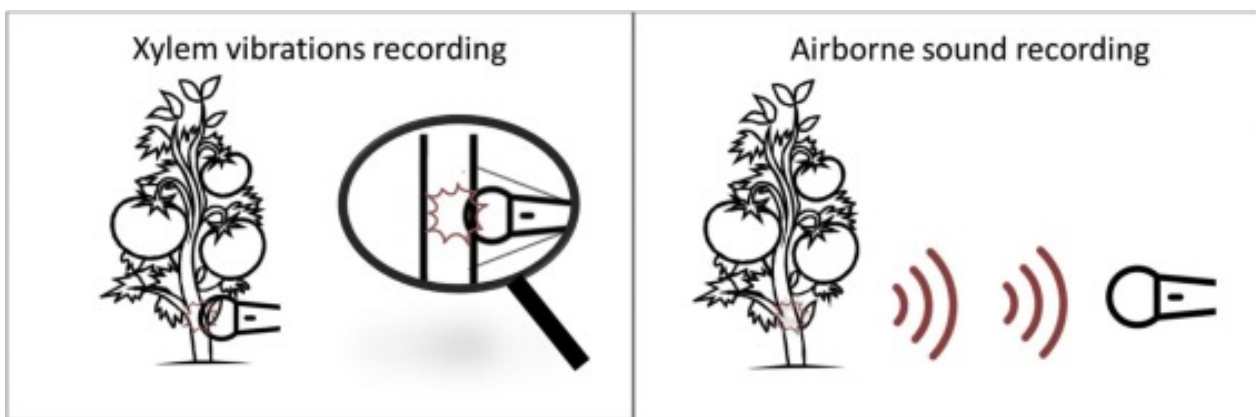
(Πηγή : Jung *et al.*, 2018, *Front.Plant.Sci.*9 :25)

4.6 Η επικοινωνία των φυτών μέσω των ηχητικών δονήσεων

Σε συνθήκες ξηρασίας, η μειωμένη διαθεσιμότητα του νερού, προκαλεί στα φυτά ταυτόχρονα μείωση της πρόσληψης θρεπτικών ουσιών αναγκαίων για την ανάπτυξη τους, με επακόλουθο την μείωση του μεγέθους της φυλλικής επιφάνειας, την μείωση των στελεχών και του πολλαπλασιασμού του ριζικού συστήματος (Farooq *et al.*, 2009) καθιστώντας τα φυτά πιο εύγεστα στα φυτοφάγα (Gutbrodt *et al.*, 2012). Αναπόφευκτα, η μεταφορά των πληροφοριών σχετικά με το στρες ξηρασίας ωφελεί τόσο τους μηχανισμούς σήμανσης όσο και τους δέκτες, επιτρέποντας τους να μειώσουν άμεσα την επίδραση της έλλειψης του νερού κατά την ανάπτυξη, έμμεσα όμως μειώνουν και την προσέλκυση των ανεπιθύμητων εχθρών στην περιοχή. Ειδικότερα, στο χρονικό διάστημα με υψηλά επίπεδα από τα φυτά στρες, ελαχιστοποιούν την περαιτέρω απώλεια των ιστών τους (αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο ποσοστό της αναπαραγωγικής ικανότητας στο φυτό' αναθεωρήθηκε από τον Chapin, 1991). Οι βιβλιογραφικές αναφορές είναι πλήρεις από μελέτες που παρουσιάζουν πως τα φυτά χρησιμοποιούν χημικές ουσίες ή διάφορα μήκη κύματος φωτός για την μετάδοση, λήψη ή αξιολόγηση πληροφοριών για να ενημερώσουν τα γειτονικά φυτά με υπέργειο (Smith, 2000) ή και υπόγειο τρόπο (Gersani *et al.*, 2001; Gruntman and Novoplansky, 2004; Murphy and Dudley, 2007), όπως και για τους διαθέσιμους

πόρους στο περιβάλλοντα χώρο, μεταβάλλοντας αναλόγως την ανάπτυξη τους (Trewavas, 2003; Baluška and Mancuso, 2007). Παραδείγματος χάριν, τα φυτά μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορίες για την αναγνώριση και αποτροπή ανταγωνιστικών σχέσεων με συγγενικά είδη, ευνοώντας τους έναντι των ξένων (Dudley and File, 2007; Murphy and Dudley, 2009) διευκολύνοντας την συνεργασία και τον αλτρουισμό όπως συμβαίνει και με τα ζώα.

Τέτοιου είδους ακουστικές εκπομπές έχουν καταγραφεί από το 1966 είτε χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα συνδεδεμένο στο ξύλωμα- ανοίγοντας μια οπή στο φλοιό, αφαιρείται το φλοιώμα και το κάμβιο ώστε ο αισθητήρας να εφάπτεται απευθείας στο ξύλωμα, είτε μέσω απόστασης με αερομεταφερόμενους ήχους (**Εικόνα 11**).



Εικόνα 11. Δύο τρόποι ανίχνευσης ακουστικών εκπομπών μέσω ενός αισθητήρα. Με άμεσο τρόπο, εικόνα στα αριστερά, με απευθείας επαφή του αισθητήρα στο ξύλωμα και με έμμεσο τρόπο, εικόνα στα δεξιά, από κάποια απόσταση.

(Πηγή : I Khait et al, *Seminars in Cell and Developmental Biology* **92** (2019) 134-138)

Σε μια μελέτη οι Gagliano et al. (2012c) κατέδειξαν μια άλλη μορφή επικοινωνίας στα φυτά μέσω ηχητικών δονήσεων και η οποία προηγουμένως δεν είχε αναφερθεί. Πιο συγκεκριμένα, οι νεαρές ρίζες των δενδρυλλίων του καλαμποκιού ανταποκρίθηκαν στην ηχητική μέθοδο με το να παράγουν τα ίδια ηχητικά κύματα (Gagliano et al., 2012a).

Κυρίως, εκπέμπουν ηχητικά κύματα μήκους από 10-240 Hz καθώς και σε υπερηχητικές συχνότητες από 20-300 Hz. Τα τελευταία 45 χρόνια αυτές οι ακουστικές εκπομπές (κυρίως τα *Hypersonic Acoustic Emissions-HAE*) έχουν υπολογιστεί και περιγραφεί αρκετές φορές (Milburn and Johnson, 1966; Tyree and Sperry, 1989; Kikuta et al., 1997; Laschimke et al., 2006).

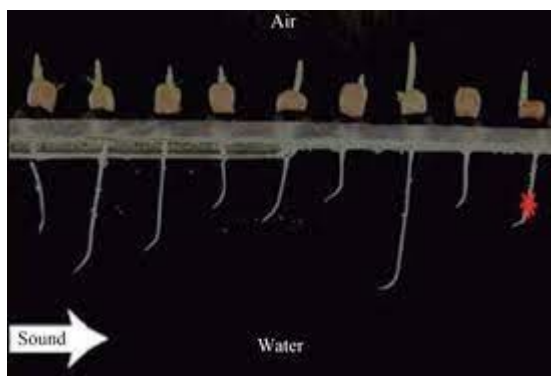
Αν καταφέρνουν τα φυτά να εκπέμπουν ήχους ως απόκριση σ' ένα ηχητικό ερέθισμα, καθίσταται σαφές ότι χρειάζεται παραπάνω διερεύνηση της άποψης που αφορά την επικοινωνία των φυτών μέσω των ηχητικών κυμάτων. Η εκτίμηση αυτής της άποψης προσέλκυσε το επιστημονικό ενδιαφέρον το

οποίο φαίνεται πως επεκτάθηκε σ' ένα πλήθος παραγωγικών συζητήσεων με την μορφή αρκετών ανασκοπήσεων και σχολίων κριτικού χαρακτήρα (*Chamovitz, 2012; Gagliano et al., 2012a, b; Bailey et al., 2013; Gagliano, 2013a,b*). Η επεξήγηση για τις ακουστικές εκπομπές των φυτών οφείλεται στην ξαφνική απελευθέρωση της έντασης στο σύστημα μεταφοράς νερού, μέσω μιας διαδικασίας της σπηλαίωσης όπου το νερό απορροφάται με την διαπνοή από τις ρίζες μέσω του ξυλώματος στα φύλλα, (βλ. Θεωρία Συνοχής, *Dixon and Joly, 1895; αλλά και Zimmerman, 1983*). Η σπηλαίωση συμβαίνει όταν ο αέρας διαλυμένος εντός του νερού καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος στους αγωγούς του ξυλώματος, δημιουργώντας εμβολή και εμποδίζοντας την μεταφορά του νερού (αναθεώρηση από τους *Tyree and Sperry, 1989*). Εντός αυτού του πλαισίου, τα ακουστικά σήματα που εκπέμπονται προκύπτουν ως ένα φυσικό επακόλουθο μιας καθόλα φυσιολογικής/βιοχημικής διαδικασίας της σπηλαίωσης και αποτελεί γεγονός ότι πολλοί συγγραφείς την χρησιμοποίησαν ως δείκτη σπηλαίωσης κυρίως σε φυτά που υποφέρουν από την ξηρασία (*Peña and Grace, 1986; Raschi et al., 1989; Jackson and Grace, 1996; Qiu et al., 2002; Perks et al., 2004; Rosner et al., 2006*).

Παρόλα αυτά, αρκετοί ερευνητές ισχυρίστηκαν ότι, οι ήχοι που εκπέμπονται από τα φυτά δεν προέρχονται από την διαταραχή της σπηλαίωσης, της καταπόνησης που δέχεται η στήλη του νερού αλλά πιθανόν να συμβαίνουν από ένα πολύ σταθερό σύστημα φυσαλίδων στους αγωγούς του ξυλώματος και φέρει την ικανότητα να μεταφέρεται μέσω περισταλτικών κυμάτων (*Laschimke et al., 2006*). Είναι αποδεκτό ότι η σπηλαίωση προκαλεί ακουστικές εκπομπές όμως τα σήματα που τελικά εκπέμπονται από τα φυτά είναι τόσο πολλά που καθίσταται απίθανο να αποδίδονται αποκλειστικά και μόνο στην σπηλαίωση (*Raschi et al., 1990; Zimmerman et al., 2004; Laschimke et al., 2006*). Πρόσφατες έρευνες αποδεικνύουν ότι τα φυτά παράγουν ήχους ανεξαιρέτως της έλλειψης νερού και των διαδικασιών σπηλαίωσης (*Gagliano, Mancuso et al., 2012*). Μέχρι πρότινος, θεωρούνταν ότι ήταν ο κατεξοχήν μηχανισμός για τις ακουστικές εκπομπές. Όμως μια πρόσφατη ανακάλυψη, από μια υδροπονική καλλιέργεια (νεαρές ρίζες καλαμποκιού) έδειξε ότι η σπηλαίωση λόγω της έλλειψης νερού είναι ένας από τους πολλούς τρόπους με τους οποίους τα φυτά μπορούν να παράγουν ακουστικές δονήσεις (*Gagliano et al., 2012a*). Οι *Jeong et al. (2008)* εφάρμοσαν σε φυτά ρυζιού, συχνότητες που αντιστοιχούν στις συνθήκες σπηλαίωσης 50-250 Hz με 65-70 dB, και βρήκαν ένα σύνολο γονιδίων των οποίων η έκφραση ήταν τροποποιημένη. Αυτό επιβεβαιώθηκε μετέπειτα, από μια μελέτη που έδειξε ότι η θεραπεία με συχνότητες προκάλεσε αποκρίσεις ξηρασίας στο ρύζι (*Jeong et al., 2014*). Με βάση τα στοιχεία, οι συχνότητες βοηθάνε τα φυτά σε κυτταρικό επίπεδο να προσαρμοστούν άμεσα και αποτελεσματικά στα καινούργια καιρικά δεδομένα, σε αντίθεση με τα φυτά που δεν εκτέθηκαν. Όταν πρόκειται να συμβεί μια ακραία περιβαλλοντική συνθήκη (ξηρασία) τα ενεργά είδη του οξυγόνου (*ROS-Reactive Oxygen Species*) συσσωρεύεται. Έπειτα το ROS είναι υπεύθυνο για την πρόκληση ενός καταρράκτη σηματοδότησης (*cascade signaling*) ενώ συνδέεται με την παραγωγή σακχάρων και με το

ασβέστιο, προκαλώντας αποκρίσεις εγκλιματισμού στο φυτό (Cruz de Carvalho, 2008). Σε μια μελέτη των Falik et al. (2011) αναφέρουν ότι τα φυτά στην ξηρασία δημιουργούν έναν «συναγερμό» ειδοποιώντας τα γειτονικά φυτά να κλείσουν τα στόματα τους και να προφυλαχθούν από την αντίξοκη καιρική συνθήκη (Gagliano, 2013b). Η ειδοποίηση αυτή συνέβη, μέσω του ριζικού συστήματος. Η επικοινωνία που περιοριζόταν μόνο με τους βλαστούς δεν φάνηκε αποτελεσματικό και τελικά να μην γίνει το κλείσιμο των στομάτων τους. Ανάγεται το συμπέρασμα ότι η επικοινωνία του φυτού με το φυτό για τα προειδοποιητικά σήματα συμβαίνει μέσω εδάφους. Η ικανότητα των ριζών όχι μόνο να παράγουν μα και να αισθάνονται ακουστικές δονήσεις είναι γεγονός (Gagliano et al., 2012a). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι νεαρές ρίζες καλαμποκιού (*Zea mays*) όπου σε συνεχόμενο ήχο στην συχνότητα των 220 Hz, ο ήχος προερχόταν από τα αριστερά (λευκό βέλος). Στην εικόνα φαίνονται εμφανώς οι ρίζες να έχουν κλίση προς την ηχητική πηγή (Εικόνα 12).

Προσφάτως, οι Bailey et al. (2013) αναφέρουν ότι υπάρχει ένας βαθμός δυσκολίας στην αξιολόγηση της ακουστικής επικοινωνίας των φυτών στην ξηρασία ανάλογα με το περιβάλλον που βρίσκονται. Σ' ένα ελεγχόμενο χώρο η καταπόνηση στα φυτά θα γίνει βαθμιαία και με παρόμοιο τρόπο χωρίς μεγάλες αποκλίσεις κάτι που σ' ένα φυσικό χώρο θα συμβεί το αντίστροφο.



Εικόνα 12. Οι νεαρές ρίζες ακολουθούν τον ήχο με κατεύθυνση στα αριστερά. (Πηγή : Reda H E Hassanien, *Journal of Integrative Agriculture* 2014, 13(2): 335-348)

4.7 Πως διεξάγεται η επικοινωνία από φυτό σε φυτό

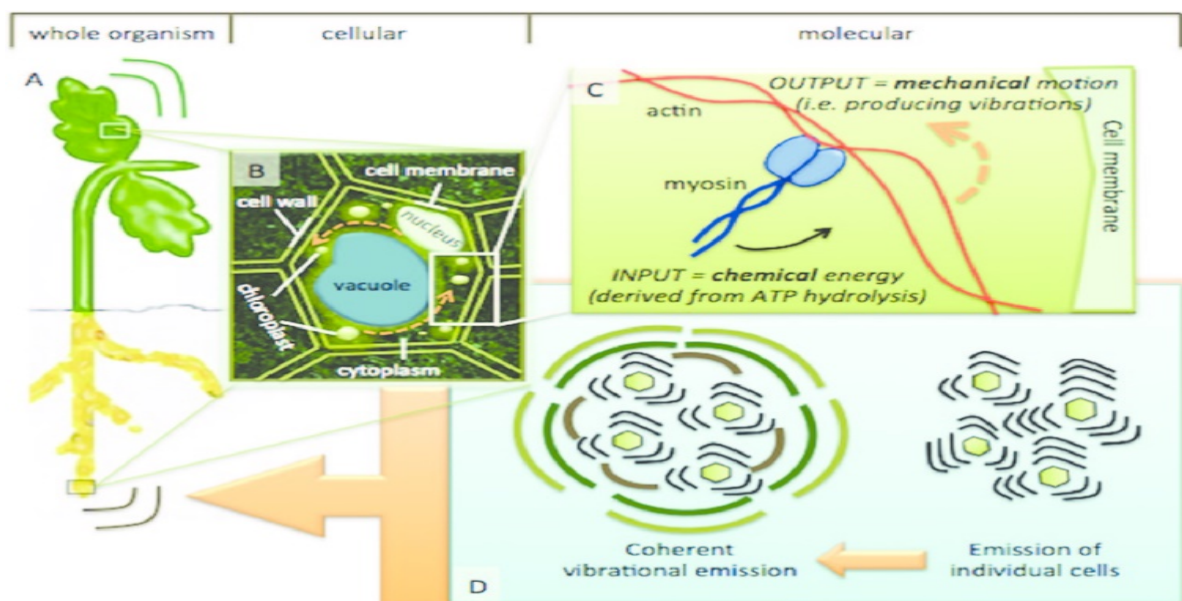
Οι μηχανισμοί παραγωγής ήχου των φυτών παραμένουν σε εξέλιξη. Τα φυτά είναι απίθανο να κατέχουν τις εξειδικευμένες μορφολογίες ή και όργανα που τα ζώα έχουν αποκτήσει βάσει της εξέλιξης για να παράγουν ήχους. Εντούτοις, οι βιοφυσικές αρχές σε κυτταρικό και μοριακό επίπεδο μπορεί και να μην παρουσιάζουν τόσες ανομοιότητες. Εξάλλου ο καθοριστικός μηχανισμός παραγωγής ήχων σε όλους τους ευκαρυωτικούς οργανισμούς είναι λίγο πολύ συντηρημένος.

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία αυτού του μηχανισμού υποδεικνύεται ένα υποθετικό μοντέλο. Αρχικά τα ηχητικά κύματα προκαλούν δόνηση τόσο στα κύτταρα όσο και στα συστατικά εντός των

κυττάρων. Κατά συνέπεια δημιουργούνται ενδοκυτταρικές κινήσεις όπως η δραστηριότητα των κινητικών πρωτεϊνών και του κυτταροσκελετού (Howard, 2009; Figure 1B, **Εικόνα 13**), (η κυτταροπλασματική ροή είναι διακριτή από τα πορτοκαλί βέλη). Πιο συγκεκριμένα, οι κινητικές πρωτεΐνες όπως οι μυοσίνες που ανήκουν στην κατηγορία των μηχανοχημικών ενζύμων χρησιμοποιούν χημική ενέργεια προερχόμενη από την υδρόλυση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) στα νημάτια ακτίνης για την παραγωγή μηχανικής κίνησης και ενίσχυσης των δονήσεων (Σχήμα 1C).

Η νανομηχανική κίνηση του κυττάρου αντιπροσωπεύει την μεταβολική του κατάσταση, αυτό σημαίνει ότι οι πληροφορίες εντοπίζονται στο δονητικό κύμα που εκπέμπεται. Τέτοιου είδους νανομηχανικές δονήσεις έχουν βρεθεί σε διαφορετικά συστήματα όπως κύτταρα καρδιάς σπονδυλωτών οργανισμών (Domke et al., 1999), τριχωτά κύτταρα του ακουστικού συστήματος, ο ρόλος των οποίων είναι να ενισχύει τους ασθενείς ήχους (Jülicher, 2001) και σε μικροβιακά κύτταρα (μαγιά του αρτοποιού-*Saccharomyces cerevisiae* με κινήσεις της τάξεως των 0,8-1,6 kHz (Pelling et al., 2004).

Η δόνηση ενός μεμονωμένου κυττάρου διαδίδεται σταδιακά προσεγγίζοντας τα γειτονικά κύτταρα. Τα κύτταρα επειδή είναι ενσωματωμένα σ' έναν ιστό, πλαισιώνονται από άλλα κύτταρα, τα οποία αν είναι δεκτικά στην συχνότητα θα επηρεαστούν από τις μηχανικές δυνάμεις των όμορων κυττάρων και οι οποίες συγκεντρώνονται σε μια συλλογική λειτουργία που ονομάζεται συνεκτική διέγερση Σχήμα 1D, (Pokorný, 1999) ενισχύοντας το σήμα. Η συγκεντρωμένη ενέργεια των κυττάρων γίνεται με συντονισμό προκαλώντας ακουστικές ροές των 150-200 Hz (Perelman and Rubinstein, 2006). Τέτοιου μεγέθους μηχανικής ισχύος δονήσεις ή ηχητικά κύματα είναι ικανά να επεκταθούν σε μεγάλες αποστάσεις μέσα και έξω από τον οργανισμό (**Εικόνα 13**, Σχήμα 1D ως A) τότε, οι πιθανότητες τα φυτά να χρησιμοποιούν τον ήχο για την μεταξύ τους επικοινωνία είναι εφικτή.



Εικόνα 13. (Σχήμα 1A-1D) Η παραγωγή του ήχου στα φυτά με ποιες ενδοκυτταρικές διαδικασίες επιτυγχάνεται.

(Πηγή: Behavioral Ecology, Gagliano, Sound-based communication in plants)

4.8 Η ακουστική των φυτών και η οικολογική της σημασία

Τα παραπάνω άρθρα, αναφέρονται σε διάφορα θέματα απορίες που σχετίζονται με την ακουστική φυτών όπως : α) αν τα φυτά μπορούν να εκπέμψουν και να ανιχνεύσουν τα ηχητικά ερεθίσματα, β) ποια είναι τα οφέλη και οι προσαρμοστικές αξίες της ακουστικής επικοινωνίας στις εγκαταστάσεις, γ) και αν τα ηχητικά ερεθίσματα συμβαίνουν απλώς τυχαία από τα φυτά ή αποτελούν σήματα που λαμβάνονται με ακρίβεια. Με βάσει αυτές τις κριτικές σημειώθηκαν 2 σημαντικές πληροφορίες φωτίζοντας την ακουστική των φυτών. Αρχικά προέκυψαν δύο ερευνητικά πεδία' Πρώτον, πως αντιμετωπίζεται η επικοινωνία των φυτών μεταξύ τους, μέσω ηχητικών δονήσεων και το μείζον ζήτημα με ποιον τρόπο τα φυτά αντιλαμβάνονται αυτά τα οικολογικά σήματα. Δευτερευόντως, η προσοχή πλέον έχει εστιαστεί περισσότερο στο για ποιο λόγο τα φυτά ανιχνεύουν και ανταποκρίνονται στις ηχητικές δονήσεις και με ποιους τρόπους. Μια πρόσφατη έκθεση από τους Appel and Cocroft (2014) έδειξε ότι τα φυτά ενίσχυσαν την άμυνα τους όταν εκτέθηκαν σε δονήσεις που προέρχονταν από το μάσημα της κάμπιας. Αυτό κατέδειξε την απάντηση στο καίριο ερώτημα «γιατί» ο ήχος αποτελεί ένα χαρακτηριστικό προσαρμογής για τα φυτά και θεωρήθηκε ένα κομβικό σημείο για την ακουστική επικοινωνία τους. Η τεκμηρίωση της επικοινωνίας μεταξύ των φυτών μέσω δονήσεων ο Gagliano (2013b) κατέληξε σ' ένα μοντέλο ότι τα φυτά παράγουν ήχους. Μέχρι τώρα, η θεματολογία που περικλείει τον τρόπο αντίληψης των φυτών απέναντι στον ήχο ήταν καθαρά «επιδερμική», δημιουργώντας ένα πληροφοριακό κενό.

Πρώτος ο Αριστοτέλης, είχε εκφράσει την άποψη που διακρίνει τα ζώα από τα φυτά σύμφωνα με την ικανότητα της αίσθησης. Το παράδειγμα των σαρκοφάγων φυτών για τις ταχύτερες ανακλαστικές κινήσεις τους αποδείχθηκε αναληθές. Την δεκαετία του 1950 πρωτοξεκίνησαν οι μελέτες για την ακουστική των φυτών με αρκετές διαφορετικές εκτιμήσεις που βασίζονταν στην επίδραση του μουσικού ήχου στα φυτά (Ekici et al., 2007).

4.9 Τα είδη των αποκρίσεων στα φυτά

Για να επιβιώσουν οι ζωντανοί οργανισμοί χρειάζεται να αισθανθούν ώστε να ανταποκριθούν κατάλληλα. Έχει αποδειχθεί ότι τα φυτά αισθάνονται και ανταποκρίνονται σε 3 διαφορετικούς τύπους ερεθισμάτων : μέσω του φωτός, των πτητικών ουσιών και της αφής.

Οι ερευνητές ανακάλυψαν τρία είδη αποκρίσεων (**Εικόνα 14**):

1. Άμεσες μηχανικές δονήσεις πχ. Μια προνύμφη που σέρνεται πάνω στο φυτό.

Ακόμη και το *Arabidopsis* ανταποκρίθηκε στις δονήσεις του μασήματος της κάμπιας αλλά όχι από τις δονήσεις που προκαλεί ο άνεμος ή το τραγούδι των εντόμων. Άρα ο μηχανισμός γι' αυτού του είδους

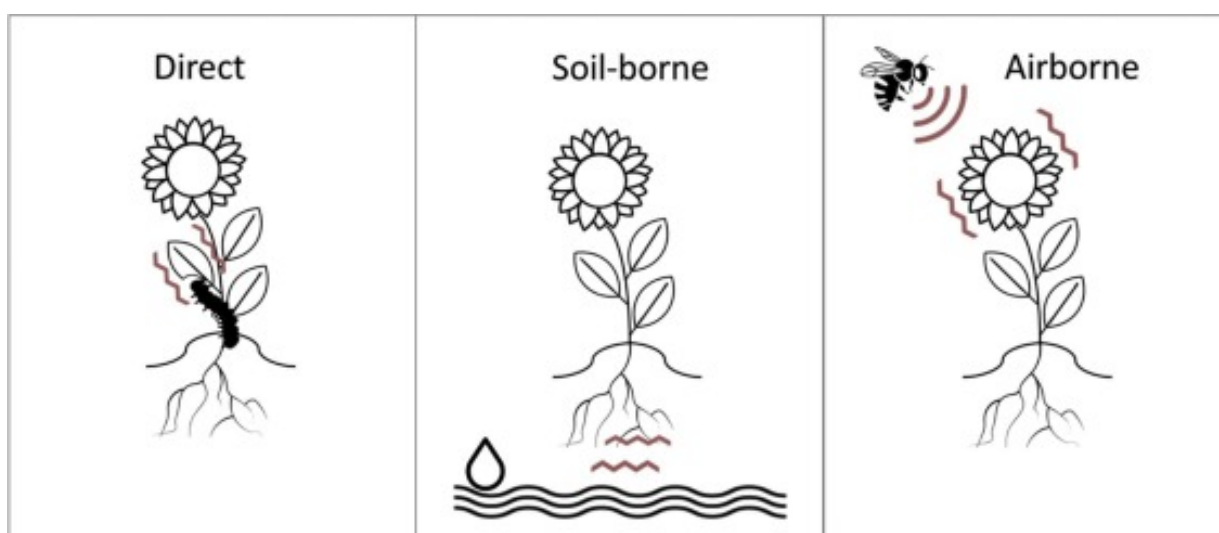
των δονήσεων πιθανότατα να συμμετέχει ένα είδος υποδοχέων αφής. Παρόλο που δεν φαίνεται να αντιδράνε σε ήχους μεσαίας έντασης, αποτελέσματα δεικνύουν θέλοντας να τονίσουν ότι ακόμη και το πολύ απαλό άγγιγμα προκαλεί δονήσεις μικρομετρικής κλίμακας.

2. Ήχοι που μεταδίδονται στο νερό και στο έδαφος

Ο ήχος μπορεί να διαδοθεί μέσω του νερού και του εδάφους. Ο ήχος του νερού που κυλάει κάτω από το έδαφος έχει επιπτώσεις στο φυτό. Μελέτη έδειξε ότι οι νεαρές ρίζες του *Pisum sativum* τείνουν να αναπτύσσονται προς τους ήχους του τρεχούμενου νερού. Μια άλλη μελέτη, το φυτό *Arabidopsis thaliana* παρουσίασε ανάπτυξη σε ήχο 200 kHz, συχνότητα που εντάσσεται στα πλαίσια του νερού που κυλάει.

3. Αερομεταφερόμενοι ήχοι

Τα φυτά φαίνεται πως ανταποκρίνονται στους αερομεταφερόμενους ήχους.



Εικόνα 14. Τα τρία είδη των αποκρίσεων από τα φυτά' άμεση (αριστερά), μέσω του εδάφους (κέντρο), αερομεταφερόμενοι (δεξιά). (Πηγή : I Khait et al, *Seminars in Cell and Developmental Biology* **92** (2019) 134-138)

Όμως, αυτές οι υπό αμφισβήτηση αναφορές συγκέντρωσαν όλο και περισσότερο την προσοχή και το ενδιαφέρον των επιστημόνων προς την ακουστική των φυτών (Miller, 1983; Collins and Foreman, 2001; Ekici et al., 2007; Jeong et al., 2008; Gagliano, 2013b; Chowhury et al., 2014; Mescher and De Moraes, 2015). Σε ακόλουθες μελέτες, προκειμένου να εξεταστεί περαιτέρω η ακουστική απόκριση στα φυτά, χρησιμοποιήθηκαν δονήσεις αντίστοιχα προερχόμενες από το φυσικό τους περιβάλλον όπως (κελάηδισμα πουλιών, ήχους από τους γρύλους, βόμβοι μιας μέλισσας κ.α). Βρέθηκε ότι οι φυσικές δονήσεις επιτάχυναν τους ρυθμούς βλάστησης στις μπάμιες (*Abelmoschus esculentus*), *Curcubita pepo* (Creath and Schwartz, 2004).

Υποθετικά, αν τα φυτά μπορούσαν να επωφεληθούν από την πρόσληψη και την απόκριση στους ήχους τότε μπορεί να είχαν εξελιχθεί για να ακούνε καλύτερα. Η επιλογή αυτή σαφώς θα είχε επηρεάσει το σχήμα, το μέγεθος και τη κατασκευαστική δομή στα φυτικά μέρη που συμμετέχουν στην ακοή δηλαδή το αυτί του φυτού καθώς επίσης και στον μηχανισμό μεταγωγής όπως παραδείγματος χάριν οι εσωτερικές μηχανικές δονήσεις σε εσωτερικά σήματα. Τα άνθη θα μπορούσαν κάλλιστα να χρησιμεύσουν ως αποτελεσματικοί δείκτες ήχου. Τα μεγάλα άνθη σχήματος μπουλ θυμίζουν το εξωτερικό αυτί των θηλαστικών, ενισχύοντας τον ήχο και ορισμένες περιοχές συχνότητας ήχων. Για τους επικονιαστές το εξωτερικό αυτί, από μορφολογική άποψη μπορεί να είναι το ίδιο το λουλούδι. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το φυτό *Mucuna holtonii* (**Εικόνα 15**). Τα φύλλα του που μοιάζουν σαν πιάτο, αντανakλούν δυνατά την ηχώ από ένα πολύ ευρύ φάσμα γωνιών. Λειτουργούν ως ηχητικός φάρος που ξεχωρίζει μέσα στην γενική ακαταστασία του δάσους, επιτρέποντας στις νυχτερίδες να βρουν λουλούδια καθοδηγώντας τις προς το νέκταρ.



Εικόνα 15. *Mucuna holtonii*. Η ειδική μορφολογία του επιτρέπει στους επικονιαστές την εύρεση νέκταρ.

(Πηγή : <https://botanyphoto.botanicalgarden.ubc.ca/2014/11/mucuna-holtonii/>)

4.10 Ο ήχος ως ρόλος προσαρμοστικής αξίας για τα φυτά

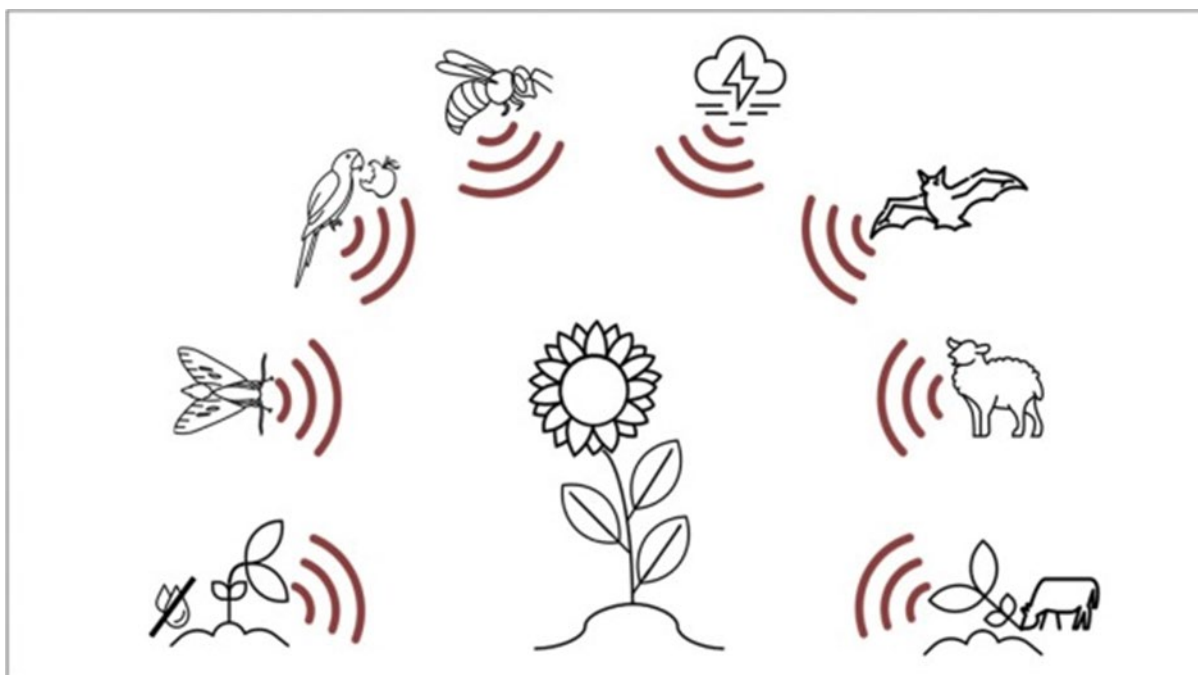
(1) Το περιβάλλον βρίθκει από ήχους οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες από βιοτικές και αβιοτικές πηγές με προσαρμοστική αξία. Μεταφέρουν σημαντικές πληροφορίες όπως : την παρουσία επικονιαστών, φυτοφάγων, φρουτοφάγων, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν ή αναμένονται να συμβούν (ξηρασία, καταιγίδα) και τους βασικούς πόρους (νερό). (**Εικόνα 16**)

(2) Αποτελεί ενδιαφέρον το γεγονός ότι διαφορετικά είδη φυτών και ιστοί αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο στις διάφορες συχνότητες. Αυτό το σημείο ίσως και να υποδεικνύει την άποψη περί οικολογικής σημασίας.

Η επέκταση του ερευνητικού πεδίου στις διαφορετικές συχνότητες και η απόκριση τους σ' αυτά, σε συνάρτηση με την ακουστική των φυτών να οδηγήσει μελλοντικά και σε άλλα χαρακτηριστικά

προσαρμογής τους. Τα ευεργετικά αποτελέσματα των ηχητικών δονήσεων και οι πρακτικές εφαρμογές τους, στους τομείς της γεωργίας τις δύο τελευταίες δεκαετίες δημιούργησαν πρόσφατα το μονοπάτι της αποκωδικοποίησης του οικολογικού χαρακτήρα αυτών των αντιδράσεων. Ακριβώς όπως τα ζώα χρησιμοποιούν τις ακουστικές επικοινωνίες προκειμένου να ανταλλάξουν πληροφορίες έχει αποδειχθεί τελευταία ότι κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με τα φυτά δηλαδή η επικοινωνία τους βασίζεται στις ηχητικές δονήσεις (*Gagliano et al., 2012c*). Τα φυτά έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν δονήσεις σε συγκεκριμένες συχνότητες και ως απόκριση να παράγουν αντίστοιχες ακουστικές ακτινοβολίες (*Gagliano et al., 2012a*). Μ' αυτόν τον τρόπο, τα φυτά εξυπηρετούν πολλές από τις απαραίτητες για την βιωσιμότητα τους λειτουργίες όπως είναι η επικοινωνία και η αφομοίωση του αζώτου, βασισμένη σε μια αμφίπλευρη συνεργασία με τους οργανισμούς του περιβάλλοντος τους (*Simon et al., 2011; De Luca and Vallejo-Marin, 2013; Schoner et al., 2015*). Η αμοιβαιότητα των σχέσεων μεταξύ των οργανισμών όχι μόνο διαμορφώνει μα εξασφαλίζει την ισορροπία και συνεπώς την συντήρηση ενός οικοσυστήματος. Η επικοινωνία μεταξύ ζώων και φυτών διεξάγεται μέσω ακουστικών στοιχείων με σκοπό την προσέλκυση της προσοχής και του ενδιαφέροντος των οργανισμών αμφοτέρων.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επικοινωνία με βόμβους και φαίνεται πως χρησιμοποιείται από 20000 είδη φυτών (*De Luca and Vallejo-Marin, 2013*). Ο τρόπος των φυτών συντελεί στην αναγνώριση των επικονιαστών από τα υπόλοιπα έντομα που απλώς απολαμβάνουν την γύρη. Σε συνάρτηση με όσα λέχθηκαν παραπάνω η γύρη των φυτών είναι προσβάσιμη από τα λουλούδια σε συγκεκριμένη συχνότητα που εκπέμπει η μέλισσα (*Gagliano, 2013a*). Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας αλληλεπίδρασης της ακουστικής επικοινωνίας ζώων-φυτών είναι το *Marcgravia evenia*. Πρόκειται για ένα κουβανέζικο αμπέλι, ο επικονιαστής του οποίου είναι μια νυχτερίδα. Η κατασκευή του φυτού είναι τέτοια ώστε τα ωοειδή φύλλα του είναι αναποδογυρισμένα ακριβώς πάνω από την ταξιανθία και αντικατοπτρίζουν τον ηχοεντοπισμό των νυχτερίδων καθοδηγώντας τα ακριβώς όπως τα φώτα ενός αεροδρομίου τη νύχτα. Ακόμη ένα παράδειγμα, αποτελεί το *Nepenthes hemsleyana*. Ένα σαρκοφάγο φυτό που λειτουργεί ως ανακλαστήρας υπερηχητικών συχνοτήτων και είναι ανιχνεύσιμο από τις νυχτερίδες. Το χρησιμοποιούν ως ησυχαστήριο ενώ το φυτό επωφελείται από τα περιττώματά του, αντιπροσωπεύοντας κατά μέσο όρο το 35% του συνολικού αζώτου (*Schoner et al., 2015*). Η επεξήγηση της οικολογικής σημασίας στην ακουστική επικοινωνία των φυτών-ζώων δημιουργεί νέες θεματολογίες προς διερεύνηση' δηλαδή κατά πόσο τα ακουστικά σήματα μπορούν να επέμβουν μορφολογικά στα φυτά. Ότι και αν συμβαίνει, το σίγουρο είναι πως μέσα από τις δομικές αλλαγές διασφαλίζεται η εξέλιξη και η διατήρηση των φυτών. Αξίζει να τονιστεί δε, ότι τα φυτά ως εξαιρετικά ευαίσθητοι οργανισμοί έχουν αντίληψη, αξιολογούν, αλληλοεπηρεάζονται ή ακόμη και διευκολύνουν το ένα το άλλο αποκτώντας άμεσα πληροφορίες από το περιβάλλον τους (*Karban, 2008; Baluška, 2009; Trewavas, 2009*).



Εικόνα 16. Ήχοι από το περιβάλλον που περιέχουν βιοτικές και αβιοτικές πληροφορίες σημαντικές για την προσαρμογή και επιβίωση του φυτού.

(Πηγή : I Khait et al, *Seminars in Cell and Developmental Biology* **92** (2019) 134-138)

5. Οι επιπτώσεις των θεραπειών του ήχου στην βιοτεχνολογία και την γεωργία

Οι δονήσεις των υπερηχητικών κυμάτων είχε δοκιμαστεί σημειώνοντας επιτυχία, ενισχύοντας τον μετασχηματισμό που συμβαίνει λόγω του *Agrobacterium* σε αρκετά φυτά όπως το *Glycine max* (σόγια), *Vigna unguiculata* (αμπελοφάσουλο), *Triticum aestivum* (μαλακό σιτάρι), *Zea mays* (καλαμπόκι) (Trick and Finer, 1997). Άλλα in vitro φυτά που αναπτύσσονται μέσω των δονήσεων είναι το *Daucus carota*- αγριοκάρτο (Wang et al., 1998), το *Oryza sativa*-ασιατικό ρύζι (Liu et al., 2003b), η *Aloe arborescens*-δενδροειδής αλόη (Liu et al., 2003a), η *Gerbera jamesonii*-ζέρμπερα (Wang et al., 2003b), το *Cucurbita pepo*-κολοκύθι (Ananthakrishman et al., 2007), το *Dendrobium officinale* (Wei et al., 2012), η *Corylus avellana*-φουντουκιά (Safari et al., 2013).

Το ερευνητικό κέντρο Φυσικής Γεωργικής Μηχανικής του Qingdao στην Κίνα, κατασκεύασε μια γεννήτρια ακουστικής συχνότητας για τα φυτά PAFT (*Plant Acoustic Frequency Technology*) και παράγει ηχητικές δονήσεις σε 8 επίπεδα σε διάφορες συχνότητες για την γεωργική παραγωγή. Τα φυτά βαμβακιού, που εκτέθηκαν στη εν λόγω γεννήτρια, εμφάνισαν αυξημένο ύψος, πλάτος φύλλου και αριθμό κλαδιών (Hou et al., 2010). Τα φυτά φράουλας έδειξαν αυξημένη φωτοσύνθεση και αντοχή στις ασθένειες δίχως να επιδρούν στην απόδοσή τους. (Qi et al., 2010). Οι ηχητικές δονήσεις

συμμετέχουν στην ενίσχυση της διατήρησης των καρπών ντομάτας μετά την συγκομιδή. Στα 1000 Hz, οι καρποί της ντομάτας καθυστέρησαν να ωριμάσουν από εκείνες χωρίς ηχητική δόνηση (Kim *et al.*, 2015). Αυτό θα μπορούσε να μειώσει την χρήση των λιπασμάτων κατά 25% (Hassanien *et al.*, 2014). Έχει βρεθεί ότι, έχουν αυξημένες ανοσολογικές αποκρίσεις σε έντομα, σε παράσιτα και ασθένειες. Το έλκος στο ρύζι μειώθηκε κατά 50% με τις δονήσεις (Hassanien *et al.*, 2014). Η επιτάχυνση που παρουσιάζουν τα φυτά στις διαδικασίες βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης οργανογένεσης πιθανόν να οφείλεται στα επίπεδα των φυτοορμονών που παρουσιάζουν αύξηση όπως (το γιββερελικό οξύ, η κυτοκίνη, το αιθυλένιο).

5.1 Πως ενεργοποιείται η άμυνα μέσω της ακουστικής των φυτών

Όπως και στο ζωικό βασίλειο, υπάρχει μια πληθώρα αποκρίσεων σε συνδυασμό με την χρήση οπτικών, ακουστικών ή οσφρητικών σημάτων για την επικοινωνία με συγκεκριμένους θηρευτές (Caro, 2005). Η ακουστική σηματοδότηση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος επικοινωνίας, μιας ποσότητας πληροφοριών με γρήγορο τρόπο. Τα ακουστικά σήματα κωδικοποιούνται σε πολλά κανάλια. Οι φυσικοί ήχοι χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα και ευρεία ζώνη δράσης. Δεν έχουν περιορισμό λόγω διαθεσιμότητας φωτός, ταξιδεύουν ακόμη και σε μέρη όπου δεν απαιτείται η οπτική επαφή ή άμεση εγγύτητα μεταξύ του σήματος και του δέκτη.

Σε μια πρόσφατη μελέτη από τους Appel and Coccoft (2014) οι ροζέτες του *Arabidopsis* είχαν εκτεθεί από πριν σε ηχητικές δονήσεις της προνύμφης *Pieris rapae*. Τα φυτά εμφάνισαν αυξημένα ποσοστά ουσιών που συμμετέχουν στην άμυνα τους όπως το γλυκοζινολικό και η ανθοκυανίνη από εκείνα που δεν εκτέθηκαν στις αντίστοιχες δονήσεις. Οι συγγραφείς κατέδειξαν ότι τα φυτά μπορούν να αναγνωρίσουν διάφορους ήχους από το οικείο περιβάλλον τους σύμφωνα με ανεπτυγμένο μηχανισμό αντίληψης των ηχητικών δονήσεων. Η μελέτη των Appel and Coccoft (2014) αποτελεί ένα καθοριστικό σημείο για την ακουστική των φυτών. Σε αρκετές προγενέστερες μελέτες είχε αναφερθεί ότι και σε απλές συχνότητες παρατηρήθηκε η άμυνα των φυτών (Hassanien *et al.*, 2014). Τα φυτά διαθέτουν ένα οπλοστάσιο χημικών σημάτων. Πρόκειται για μια άλλη μια μορφή επικοινωνίας των φυτών που γίνεται μέσω πτητικών οργανικών ενώσεων VOCs (*Volatile Organic Compounds*). Οι δονήσεις διεγείρουν τα μονοπάτια απόκρισης των πτητικών ενώσεων χτίζοντας στο φυτό μια ισχυρή και αποτελεσματική άμυνα κατά των παθογόνων. Πραγματοποιείται μέσω του αερομεταφερόμενου καναλιού μεταξύ φυτού-φυτού και ανταποκρίνονται σε σήματα προερχόμενα από τραυματισμένα γειτονικά φυτά, όταν δεν έχουν δεχθεί επίθεση ή δεν έχουν καταστραφεί ολοσχερώς, προωθώντας προληπτική αμυντική αντίδραση (Parè and Tumlinson, 1999; Karban *et al.*, 2000; Heil and Ton, 2008). Η διάδοση του ήχου επιτρέπει την μετάδοση ενός αυξημένου ρυθμού πληροφοριών και ακριβέστερου εντοπισμού της πηγής. Τα ακουστικά σήματα περιέχουν χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στον δέκτη να υπολογίσει την

απόσταση του πομπού (*Wiley and Richards, 1978*) κάτι που δεν συμβαίνει το ίδιο με την διασπορά των χημικών σημάτων (*Walker, 1998*). Η διασπορά των χημικών ουσιών στο περιβάλλον είναι σχετική με την μοριακή διάχυση και τη μαζική ροή (κατεύθυνση ανέμου).

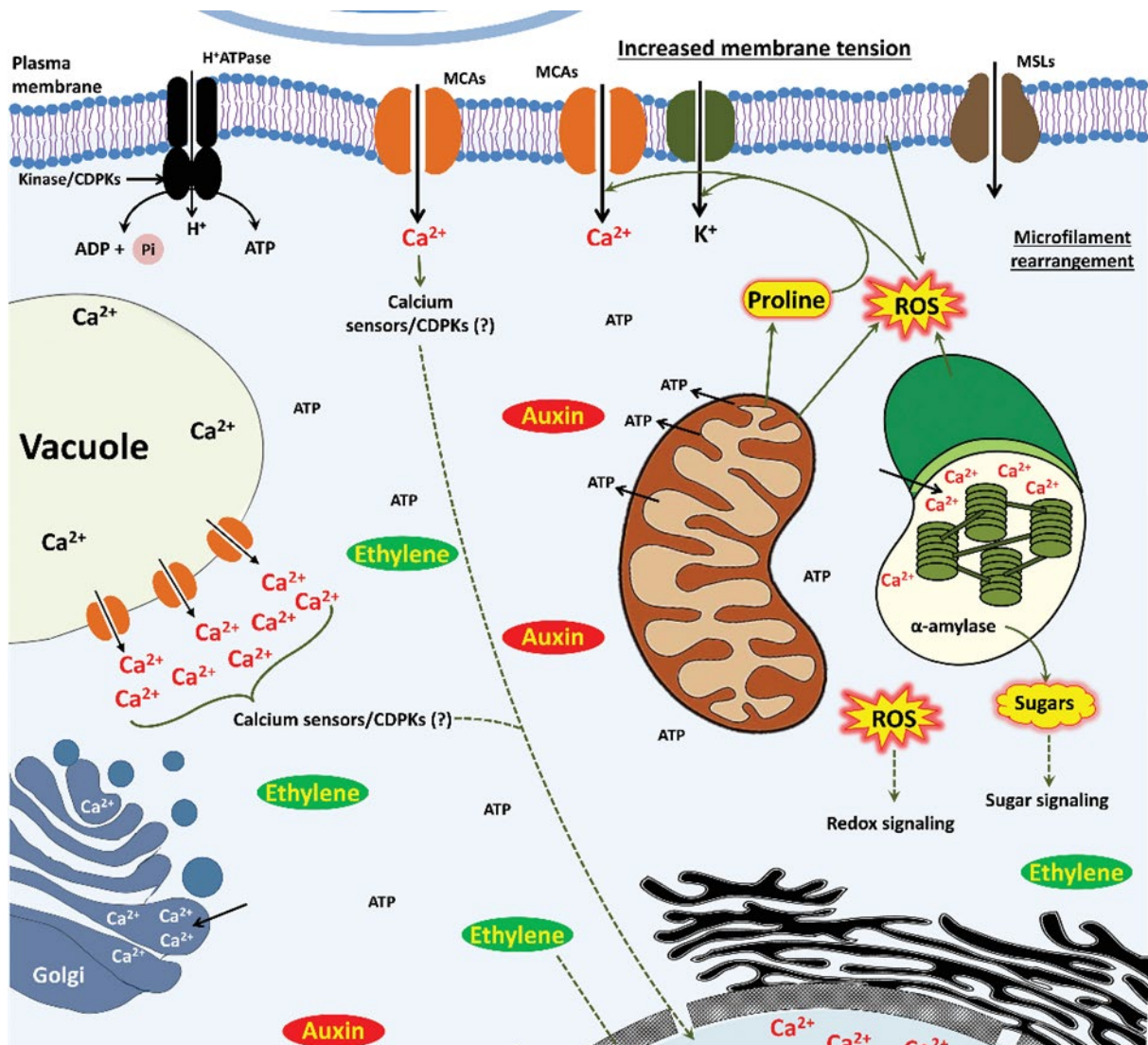
Η συγκεκριμένη σηματοδότηση διαθέτει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στην κατηγορία των πλεονεκτημάτων ανήκουν ότι είναι ανθεκτικά αφού οι χημικές ενώσεις που απελευθερώνονται παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα σήματα αυτά ενισχύουν με συστηματικό τρόπο την αντίσταση στα όμορα φυτά και τέλος μπορούν να προσελκύσουν ωφέλιμα σαρκοφάγα έντομα (*Dicke, 2009*). Υπάρχουν όμως και δύο αρνητικοί παράμετροι' το φυτό καταναλώνει αρκετή ενέργεια για την παραγωγή τους και απαιτείται ένας σημαντικός χρόνος για να φτάσει στον στόχο του και εξαρτώνται αρκετά από την διεύθυνση του ανέμου. Έτσι τα φυτά προκειμένου να αποφύγουν να βρεθούν σε δυσμενή θέση προσπαθούν να επωφεληθούν της κατάστασης με όσα μέσα διαθέτουν. Συνεπώς οι ακουστικές δονήσεις είναι η πιο εύκολη και εναλλακτική λύση. Ταξιδεύουν με ταχύτητα, δεν επηρεάζονται σημαντικά από τον άνεμο και έχει χαμηλό ενεργειακό κόστος για το φυτό (*Bailey et al., 2013*). Ενδεχομένως να συμβαίνει το εξής' η ακουστική σηματοδότηση να αποτελεί την πρώτη γραμμή άμυνας για τα φυτοφάγα και η σύνθεση των VOCs να συμβαίνει για να ενισχύσει είτε το σήμα είτε την ανθεκτικότητα του ερεθίσματος για να καταλήξει σε μια ισχυρή και ανυπέρβλητη άμυνα.

5.2 Η επίδραση του ήχου στις κυτταρικές διεργασίες των φυτών στην ηχητική σηματοδότηση

Ένα σχηματικό μοντέλο (**Εικόνα 17**) στο οποίο συνοψίζονται τα μοριακά γεγονότα που προκαλούνται σ' ένα φυτικό κύτταρο μετά από τη διέγερση του με ηχητικές δονήσεις (*Sound Vibrations-SV*). Μετά την επίδραση του ηχητικού ερεθίσματος, το φυτό αντιλαμβάνεται τις δονήσεις εξωτερικά ενώ αυτές συνεχίζουν να εκτείνονται προς το εσωτερικό του. Πρώτος σταθμός αντίληψης είναι το κυτταρικό τοίχωμα το οποίο και παρουσιάζει μια ελαστικότητα. Οι ηχητικές δονήσεις προκαλούν τροποποίηση του κυτταρικού τοιχώματος και αναδιαμόρφωση της αρχιτεκτονικής των μικροϊνιδίων.

Για να υπάρξει κυτταρική απόκριση, βασική προϋπόθεση είναι να γίνει η έναρξη ενός καταρράκτη σηματοδότησης. Σημαντικό ρόλο σ' αυτή την διαδικασία διαδραματίζει η πλασματική μεμβράνη η οποία αποτελεί τον δεύτερο σταθμό αντίληψης και επεξεργασίας των ηχητικών δονήσεων. Κατά μήκος της μεμβράνης βρίσκονται διάφορα μηχανοευαίσθητα κανάλια ιόντων όπως τα *MCA* (*Mid1-Complementing Activity Channels*) και τα *MSL* (*MscS-Like channels*) που μοιάζουν με τα κανάλια *MscS* (*Mechano-Sensitive channels of Small conductance*) τα οποία είναι διάυλοι ιόντων μικρής αγωγιμότητας. Ο ρόλος αυτών των καναλιών είναι να διευκολύνουν την είσοδο και την έξοδο των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) και όχι μόνο. Η είσοδος του ασβεστίου εντός του κυττάρου λειτουργεί ως δεύτερος αγγελιαφόρος προκειμένου η ηχητική δόνηση να καταλήξει σε αλλαγές στη γονιδιακή έκφραση. Τα ιόντα ασβεστίου εντοπίζονται από διάφορες πρωτεΐνες-αισθητήρες όπως οι εξαρτώμενες

από ασβέστιο πρωτεϊνικές κινάσες *CDPK* (*Calcium Dependent Protein Kinases*). Οι κινάσες αυτές μεταδίδουν το μήνυμα μέσω φωσφορυλίωσης/αποφωσφορυλίωσης σε άλλες σηματοδοτικές πρωτεΐνες ή σε μεταγραφικούς παράγοντες μεταβάλλοντας την γονιδιακή έκφραση. Το αμινοξύ προλίνη και οι δραστικές μορφές οξυγόνου ROS, τα επίπεδα των οποίων αυξάνονται προοδευτικά από τα ηχητικά κύματα (μέσω των μιτοχονδρίων), οδηγούν σε περαιτέρω ενεργοποίηση των καναλιών ασβεστίου, ενεργοποιώντας επιπλέον και κανάλια καλίου (K^+). Τα σήματα των ήχων αυξάνουν επίσης και την ενεργότητα της α-αμυλάσης στους χλωροπλάστες και κατά συνέπεια τα επίπεδα των σακχάρων στο κυτταρόπλασμα. Η σηματοδότηση ωστόσο δεν εξαρτάται από ένα μονοπάτι για να καταλήξει σε αλλαγές στον πυρήνα του κυττάρου. Έτσι το ασβέστιο μαζί με τις δραστικές μορφές οξυγόνου και τα σάκχαρα δρουν συνεργατικά πυροδοτώντας άλλα ξεχωριστά μονοπάτια σηματοδότησης το καθένα από τα οποία καταλήγουν σε αυξημένα επίπεδα γονιδιακής έκφρασης. Δύο ακόμη παράγοντες που εμπλέκονται στην απόκριση των φυτικών κυττάρων στην ηχητική διέγερση είναι η αυξίνη και το αιθυλένιο. Αυτές οι δύο ορμόνες επηρεάζουν άμεσα την ενεργότητα των μεταγραφικών παραγόντων το ARF (*Auxin Response Factor*) και το ERF (*Ethylene Response Factor*) αντίστοιχα και κατά συνέπεια την έκφραση των γονιδίων- στόχων τους. Στην εικόνα (κάτω αριστερά) διακρίνονται κάποιες από τις σημαντικότερες κατηγορίες γονιδίων που ενεργοποιούνται κατά την διέγερση του φυτικού κυττάρου από τα ηχητικά σήματα. Η ενέργεια που απαιτείται για τις παραπάνω διαδικασίες προέρχεται από τα μόρια ATP τα οποία συντίθεται με αυξανόμενο ρυθμό στα φυτικά κύτταρα που εκτίθενται στον ήχο.



Εικόνα 17. Κυτταρική σηματοδότηση εντός του κυττάρου υπό την επίδραση των ήχων.

(Πηγή : Mishra et al., *Acoustic responses in plants*, *Journal Experimental Botany*, Vol.67, No. 15 pp. 4483-4494, 2016)

5.3 Μετάδοση σήματος και επικοινωνίας μεταξύ των οργανισμών

Ένα φυσικό σήμα όπως είναι ο ήχος, η μετάδοση του γίνεται με ταχύτατο τρόπο και μεταφέρει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Τα ακουστικά σήματα μεταβάλλονται με τρόπους ώστε να παρέχουν στιγμιαίες αλλαγές στο σήμα που απελευθερώνεται. Τα σήματα αυτά αναλύονται γρήγορα και ανιχνεύονται σε χαμηλή ένταση και μεγάλες αποστάσεις. Δημιουργούνται και μεταδίδονται με χαμηλό ενεργειακό κόστος από την χρήση της ενέργειας που εξάγεται από τις βιοφυσικές διεργασίες (Πτηνά, Ward et al., 2004; Ερπετά, Conley and Lindstedt, 1996; Βακτήρια, Reguera, 2011). Ο ήχος μπορεί να προσφέρει έναν αποτελεσματικό μηχανισμό σηματοδότησης όταν χρειαστεί μια γρήγορη και άμεση απόκριση. Παραδείγματος χάριν, πολύ ταχύτερη και ενεργειακά φθηνότερη από τη χημική σηματοδότηση που έχει υψηλό κόστος ενέργειας για την παραγωγή πτητικών και αλλοχημικών

αγγελιαφόρων (*Parè and Tumlinson, 1999*). Ενδεχομένως, η προσαρμοστική χρήση του ήχου στην επικοινωνία των φυτών παραμένει ανεξιχνίαστη. Τα φυτά εντοπίζουν και αντιμετωπίζουν τους ανταγωνιστές και τους καταναλωτές μέσω ενός προηγμένου δικτύου ανίχνευσης που διενεργείται μέσω φυτοορμονών, τα οποία ξεκινούν αποκρίσεις σε γειτονικά φυτά, χημικές άμυνες στα φυτοφάγα και το σύνδρομο αποφυγής σκιάς. Οι ορμόνες αυτές μπορεί να είναι ένα πιθανό σημείο αλληλεπίδρασης ή διασταυρούμενης ομιλίας δημιουργώντας ένα ακόμα πιο σύνθετο σύμπλεγμα μονοπατιών, επιδρώντας στους μηχανισμούς του ανταγωνισμού και της άμυνας, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής αντίληψης των ήχων (κύματα πίεσης). Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η αυξίνη, η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις αμυντικές αποκρίσεις έπειτα από τραυματισμό (*Fabbri et al., 2000*) καθώς και στην επιμήκυνση των στελεχών του φυτού που συνδέεται με την αποφυγή σκιάς (*Tao et al., 2008; Ross et al., 2011*). Η ίδια ορμόνη συμμετέχει στους μηχανισμούς που σχετίζονται σε αλλαγές της μορφολογίας του κάλου που προκαλούνται από τον ήχο (*Wang et al., 2004*) και επιταχύνει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων σε τραυματισμένους ιστούς. Ταυτόχρονα μειώνεται το αμπισικό οξύ που αναστέλλει την επιμήκυνση (*Hasson and Poljakoff-Mayber, 1983*). Η διαφοροποίηση της μορφολογίας από τον ήχο επιτρέπουν πιο εύκολα την ανταγωνιστική ικανότητα πάνω από το έδαφος. Συνεπώς σύμφωνα με την ορολογία «αληθινή επικοινωνία» γίνεται λόγος για την σκόπιμη μεταφορά σημάτων προσφέροντας όφελος τόσο στον αποστολέα όσο και για τον παραλήπτη (*Bradbury and Vehrencamp, 1998*).

Αυτές οι ηχογραφήσεις δεν δείχνουν αν αυτοί οι ήχοι που παράγονται από τα φυτά μπορούν να ταξιδίσουν μέσω του αέρα και ως εκ τούτου μπορούν να ανιχνευθούν από άλλους οργανισμούς (φυτά ή ζώα) και δεν έχουν φυσική επαφή με το φυτό. Η αντίληψη του ήχου από τα φυτά παρουσιάζει πλεονεκτήματα στο πλαίσιο της αλληλεπίδρασης των φυτών με επικονιαστές, φυτοφάγα, φρουτοφάγα, νερό και άλλα φυτά.

5.4 Η συμβολή του κυτταρικού ασβεστίου στην ηχητική-κυτταρική σηματοδότηση

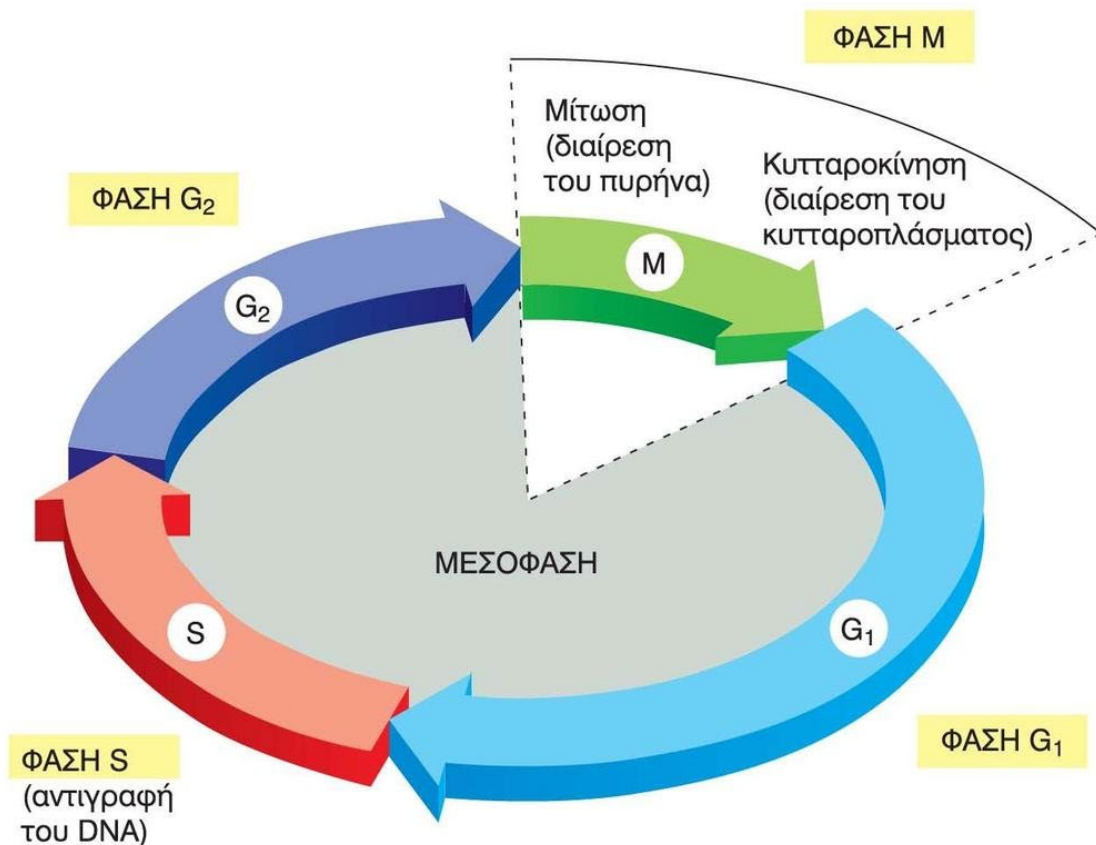
Το ενδοκυτταρικό ασβέστιο είναι υπεύθυνο για την μεταγωγή σήματος στα φυτά. Το ιόν ασβεστίου Ca^{2+} είναι γνωστό και ως «δεύτερος αγγελιαφόρος». Μεταφέρει πληροφορίες από τον εξωκυττάριο χώρο σε μια κυτταρική πρωτεΐνη- στόχο, κυρίως ένζυμο (*Sanders et al., 2002*). Κατά γενική ομολογία, το κυτταροπλασματικό ασβέστιο βρίσκεται τις περισσότερες σε χαμηλά επίπεδα απ' ό,τι στο κυτταρικό τοίχωμα. Με την ανίχνευση οποιουδήποτε ερεθίσματος, το ασβέστιο στο κυτταρόπλασμα παρουσιάζει μια άνοδο, γεγονός που οδηγεί στον καταρράκτη σηματοδότησης και τις αποκρίσεις (*Hepler, 2005*). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το ασβέστιο παρουσιάζει αύξηση ανάλογα με το ερέθισμα που θα δεχτεί (*White and Broadley, 2003*), ενώ σε κύτταρα τύλου (*callus*) στα χρυσάνθεμα που υποβλήθηκαν σε θεραπεία ηχητικών δονήσεων. Παρατηρήθηκε, ότι το ασβέστιο ανακατανεμήθηκε (*Liu et al., 2001*).

Πιο συγκεκριμένα το ασβέστιο στο κενοτόπιο άρχισε να συγκεντρώνεται στην κενοτοπική μεμβράνη και την ίδια στιγμή ξεκίνησε να συγκεντρώνεται και το κυτταροπλασματικό ασβέστιο. Ταυτόχρονα σημειώθηκε αύξηση στο σύμπλεγμα Golgi, στον πυρήνα και στους χλωροπλάστες (*Liu et al., 2001*). Η στιγμιαία αύξηση του ασβεστίου και της γρήγορης ανάπτυξης του φαινοτύπου στο τύλο του χρυσάνθεμου διεξήχθη μέσω φαρμακολογικών μελετών. Η προσθήκη EGTA (ένας χηλικός παράγοντας με ειδικευμένη δράση, εμποδίζει την κίνηση του ασβεστίου στο κυτταρικό τοίχωμα) σε μέσο που στερείται το ασβέστιο, είχε αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη του τύλου στο χρυσάνθεμο (*Wang et al., 2002*). Αυτό επιβεβαιώθηκε περαιτέρω από μια αντίστοιχη απόκριση στο φαινότυπο όταν προστέθηκε η Verapamil στο κανάλι ασβεστίου, εμποδίζοντας το (*Wang et al., 2002*). Αυτό δηλώνει ότι οι ηχητικές δονήσεις δημιουργούν ένα μοτίβο ιόντων ασβεστίου το οποίο και μεταφέρεται και έχει άμεση σχέση με το κυτταρικό τοίχωμα στο κυτταρόπλασμα μέσω των καναλιών ασβεστίου ώστε να σχηματίσουν τον σηματοδοτικό καταρράκτη. Πιθανόν, η ύπαρξη διαφορετικών μοτίβων ασβεστίου να αποτελέσει το στοιχείο εκείνο που τα φυτά θα μπορούν να διακρίνουν μέσω των δονήσεων ώστε να παράγουν διαφορετικές αποκρίσεις.

6. Η επίδραση του ήχου στη γονιδιακή έκφραση, στις βασικές διεργασίες του φυτικού κυττάρου και στη φυσιολογία του φυτού

Κάθε ζωντανός οργανισμός αποτελείται από μονάδες που ονομάζονται κύτταρα, τα οποία συγκροτούν ομάδες, τα λεγόμενα όργανα, που με την σειρά τους σχηματίζουν μεγαλύτερες ομάδες, τους ιστούς. Σκοπός του κυττάρου είναι να παράγει ένα αντίγραφο τελείως ίδιο με μια διαδικασία που ονομάζεται Κυτταρικός κύκλος. Διεξάγεται κάτω από συγκεκριμένες και αυστηρές προϋποθέσεις η απουσία των οποίων προκαλεί γενετική αστάθεια και επομένως τάση για την δημιουργία κάθε είδους ευπάθειας. Ο προγραμματισμός του κυτταρικού κύκλου δηλαδή η έναρξη, η συνέχιση ή ο τερματισμός του) εξαρτάται από διάφορα εξωτερικά ή εσωτερικά ερεθίσματα και έχει σαν επακόλουθο την τροποποίηση, είτε με την παραγωγή είτε με την απελευθέρωση συγκεκριμένων κυτταρικών προϊόντων (πρωτεΐνες). Τα εξωτερικά ερεθίσματα (μιτογόνα, αντιμιτωτικοί παράγοντες) κωδικοποιούν τις αποκρίσεις των κυττάρων μέσω της αντίδρασης τους, σε συγκεκριμένους διαμεμβρανικούς κυτταρικούς υποδοχείς. Όταν το συγκεκριμένο μόριο προσκολληθεί στον ανάλογο υποδοχέα της κυτταρικής μεμβράνης συνήθως προκαλεί την φωσφορυλίωση του είτε μέσω ενδογενούς υποδοχέα τυροσίνης-κινάσης είτε μέσω κάποιου άλλου ενζυμικού συστήματος.

Κατά γενική ομολογία ο κυτταρικός κύκλος αποτελείται από πέντε φάσεις.



Εικόνα 18. Ο γενετικός διακόπτης ενός κυττάρου (Πηγή : <https://docplayer.gr/125837216-Eleghos-kyttarikoy-kykloy-apoptosi-pefani-dafni-epikoyri-kathigitria-iatriki-sholi-ekpa-mihalakopoyloy-176-1-os-orofos.html>)

1. Φάση G1 (*Gap 1*, πρώτο χάσμα) :

Στην διάρκεια αυτής της φάσης, το κύτταρο υπόκειται σε πολύπλοκες βιοχημικές διαδικασίες που το προετοιμάζουν για την είσοδο του στην επόμενη φάση, εκείνης της σύνθεσης του θυγατρικού *DNA*.

2. Φάση S (*DNA synthesis* σύνθεση του *DNA*) :

Στην διάρκεια αυτής της φάσης, το *DNA* αντιγράφει με εξαιρετική ακρίβεια τον εαυτό του, δημιουργώντας ένα πανομοιότυπο αντίγραφο.

3. Φάση G2 (*Gap 2*, δεύτερο χάσμα) :

Το κύτταρο εδώ προετοιμάζεται για την είσοδο του στην επόμενη φάση, εκείνη της μίτωσης.

4. Φάση M (*Mitosis*, μίτωση) :

Το διπλασιασμένο πλέον *DNA* διαχωρίζεται με ακρίβεια σε δύο ίσα μέρη, έπειτα συμπυκνώνεται για να σχηματίσει τα χρωμοσώματα ώστε καθένα από τα δύο θυγατρικά κύτταρα να διαθέτει πλήρες αντίγραφο του γενετικού υλικού του μητρικού κυττάρου.

5. Φάση G0 (Φάση ηρεμίας) :

Το διαιρεμένο κύτταρο που προέκυψε από την μίτωση, που μόλις ολοκληρώθηκε, μπορεί αντί της εισόδου στην φάση G1 που το προπαρασκευάζει για άμεση νέα διαίρεση να εισέλθει στην φάση ηρεμίας (G0) πάντα σε συνάρτηση από τις επικρατούσες συνθήκες (επάρκεια ή έλλειψη εξωγενών μιτογόνων, αυξητικών ή άλλων παραγόντων), τις ανάγκες του οργάνου, του ιστού ή του οργανισμού. Οποιαδήποτε στιγμή, και με την επίδραση των μεταβολών (εξωτερικό ερέθισμα) η φάση ηρεμίας G0 μπορεί να περάσει στην φάση G1. Το κρίσιμο σημείο μετάπτωσης από τη φάση ηρεμίας στην φάση G1 ονομάζεται restriction point R (R- περιοριστικό σημείο «επαναλειτουργίας»). Με το πέρασμα από αυτό το σημείο R, το κύτταρο δεν υπακούει πλέον στους εξωγενείς παράγοντες και η πορεία του μέσου του κυτταρικού κύκλου μέχρι την ολοκλήρωση της μίτωσης είναι προδιαγεγραμμένη.

Προκειμένου, να διασφαλιστεί το τέλειο αποτέλεσμα υπάρχουν ασφαλιστικές δικλείδες τα αποκαλούμενα σημεία ελέγχου (*check points*) που βρίσκονται σε διάφορα χρονικά σημεία του κυτταρικού κύκλου (στο τέλος της φάσης G1, στο τέλος της φάσης G2 και στην μετάφαση).

Για να προχωρήσει ένα κύτταρο στην επόμενη φάση του κύκλου δέχεται εντολές (θετικές και αρνητικές) προερχόμενες από το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον του κυττάρου. Ως θετικοί ρυθμιστές είναι οι παράγοντες ανάπτυξης CDKs (*Cyclin-dependent Kinases*, πρωτεϊνικές κινάσες εξαρτώμενες από κυκλίνες) και οι κυκλίνες και ως αρνητικοί ρυθμιστές θεωρούνται οι πρωτεΐνες p53, p21, το pRb (*retinoblastoma protein*) και οι CKIs (*Cyclin-dependent Kinase Inhibitors*) (αναστολείς των CDKs).

6.1 Ο κυτταρικός κύκλος και οι μεταβολές που προκαλούνται στην πορεία του από τις ηχητικές δονήσεις

Τα ηχητικά κύματα μπορούν να αλλάξουν τον κυτταρικό κύκλο (Wang *et al.* 1998). Τα ηχητικά κύματα δονούν το φυτό φεύγει και επιταχύνει την πρωτοπλασματική κίνηση στα κύτταρα (Godbole 2013).

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα στα οποία τα ηχητικά κύματα άλλαξαν σε μεγάλο βαθμό τον κυτταρικό κύκλο των χρυσάνθεμων. Ο αριθμός των κελιών στο G0/G1 μειώθηκε ενώ αυξήθηκε στη φάση S. Αυτό υποδηλώνει ότι τα ηχητικά κύματα επιτάχυναν την ανάπτυξη των χρυσάνθεμων (Wang *et al.* 2003b). Η ανάπτυξη στα φυτά ορίζεται ως το σύνολο του κυτταρικού πολλαπλασιασμού στα μεριστώματα και την επακόλουθη επιμήκυνση του κύτταρα. Επιπλέον, ο κυτταρικός πολλαπλασιασμός συνήθως πραγματοποιείται με τη διαδικασία του κυτταρικού κύκλου. Στα φυσιολογικά κύτταρα, το κύτταρο, ο κύκλος διαίρεσης είναι ιδιαίτερα ρυθμισμένος και αποτελείται από τέσσερις εύκολα αναγνωρίσιμες φάσεις: φάση G1 (προετοιμασία για Αντιγραφή DNA), φάση S (αντιγραφή DNA), G2 φάση (προετοιμασία για μίτωση) και Μ-φάση (μίτωση). Η φάση S (φάση σύνθεσης) είναι το μέρος του κυτταρικού κύκλου στο οποίο το DNA αντιγράφεται, που εμφανίζεται μεταξύ G1 και Φάσεις G2. Η

ακριβής και ακριβής αντιγραφή του DNA είναι απαραίτητο για την πρόληψη γενετικών ανωμαλιών που συχνά οδηγούν σε κυτταρικό θάνατο ή ασθένεια (*Depamphilis 2003*).

Τα επίπεδα γονιδιακής έκφρασης είναι γνωστό ότι σχετίζονται με τις βιολογικές λειτουργίες των φυτών. Άμεσες και καταλυτικές διακυμάνσεις της γονιδιακής έκφρασης συμβαίνουν για να ανταποκριθούν σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και να οδηγήσει σε φυσιολογικές και αναπτυξιακές αλλαγές στα φυτά. Αυτές οι μοριακές αποκρίσεις διευκολύνουν στην προσαρμογή των φυτών σε διάφορες περιβαλλοντικές καταστάσεις.

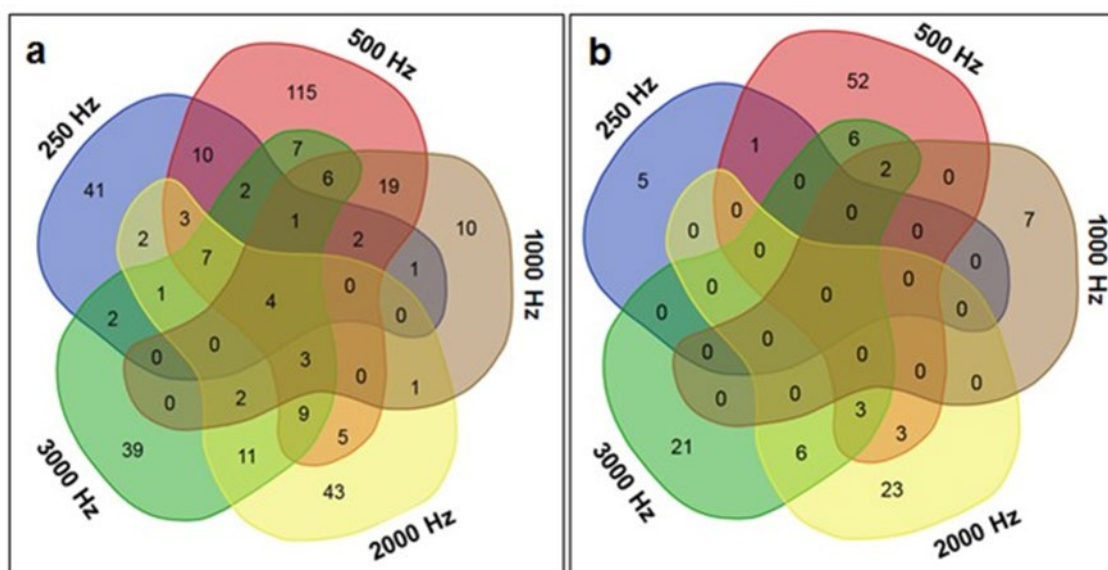
Η γενετική απόκριση των φυτών στα ηχητικά κύματα είναι όμοια με την απόκριση στην αφή και τον άνεμο, όπως ο ήχος είναι ένα μηχανικό κύμα δόνησης. Αρκετά γονίδια ρυθμίζονται πάνω και κάτω σε απόκριση με διαφορετικά εξωτερικά ερεθίσματα. Παραδείγματος χάριν, η μηχανική διέγερση προκαλείται από την έκφραση των γονιδίων αφής (*TCH genes*) (*Braam, 1992; Braam et al., 1997; Sistrunk et al., 1994; Braam, 2005*), και η συγκεκριμένη συχνότητα ήχου οδηγεί σε σημαντική αύξηση του κανονισμού έκφρασης των γονιδίων κωδικοποιώντας μια πιθανή φρουκτόζη 1,6 διφωσφορική αλδολάση και ριβουλόζη 1,5 διφωσφατάση καρβοξυλάση (*Rubisco*) μια μικρή υπομονάδα (*rbcS*) στα φυτά ρυζιού (*Jeong et al., 2008*). Χαρακτηριστικό είναι το 1,506- *bp Ald*-προωθητής, ένας ηχητικός ανταποκριτής – προωθητής δείχνοντας ότι ορισμένες συχνότητες του ήχου μπορούν να ρυθμίσουν την έκφραση οποιουδήποτε γονιδίου ανακατεμένο με το *Ald* -προωθητή (*Jeong et al., 2008*). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η έκφραση του γονιδίου ρυθμίστηκε προς τα πάνω στα 250 Hz και στα κάτω, στα 50 Hz. Η διέγερση του ηχητικού κύματος επιτάχυνε την σύνθεση και ολόκληρου του περιεχομένου του RNA (*Xiujuan et al., 2003c; Hongbo et al., 2008*), αλλά καμιά επίπτωση στο DNA περιεχόμενο (*Xiujuan et al., 2003c*).

Ορισμένα βιοτικά στρες ρύθμισαν κάτω, την έκφραση γονιδίων που εμπλέκονται στην φωτοσύνθεση (*Bilgin et al., 2010*). Η κάτω ρύθμιση σχετίζεται με τα γονίδια της φωτοσύνθεσης και η πάνω ρύθμιση με γονίδια που κωδικοποιούν την σύνθεση του ιασμονικού και σαλικυλικού οξέος τα οποία αποτελούν μέρος της αμυντικής απόκρισης σε διάφορα στρες.

6.2 Μεταγραφικές μεταβολές στο φυτό *Arabidopsis thaliana*

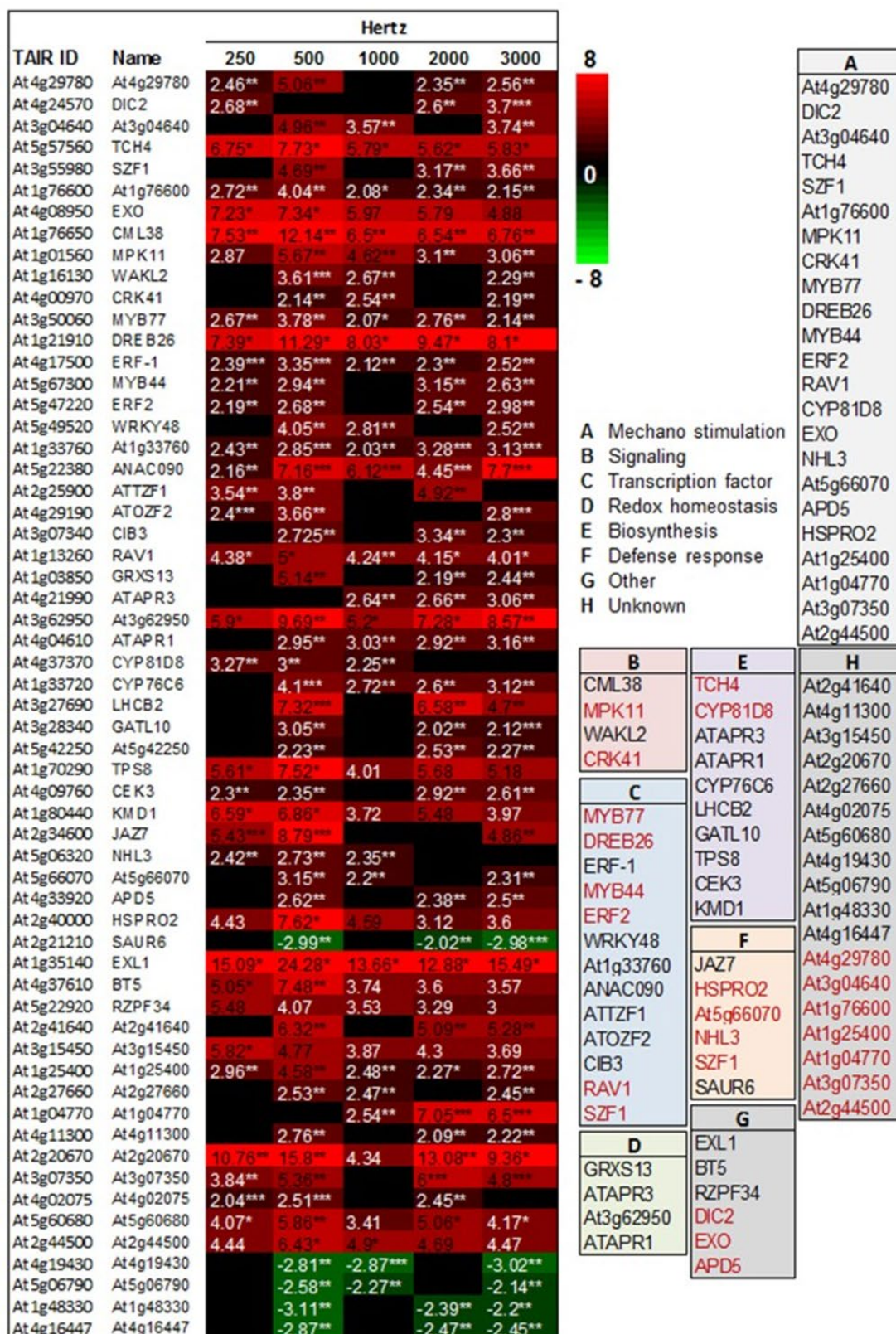
Για την ανάλυση της μικροσυστοιχίας, επιλέχθηκε το φυτό *Arabidopsis thaliana* τα δείγματα είχαν συλλεχθεί μετά από την επεξεργασία με ηχητικές δονήσεις (*SV*) για μία ώρα σε 5 διαφορετικές συχνότητες (250, 500, 1000, 2000, 3000 *Hz*) σε σταθερό ηχητικό εύρος 80 dB. Τα αποτελέσματα έδειξαν διαφορετικές εκφράσεις διάφορων γονιδίων. Ο μεγαλύτερος αριθμός των διαφορετικών εκφρασμένων γονιδίων παρατηρήθηκε στην συχνότητα των 500 *Hz*. Έγινε επιλογή όλα των γονιδίων

που έδειχναν περισσότερο από 2 πτυχές διαφορετικών εκφράσεων ($P < 0,05$) και γι' αυτό τον λόγο κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα Venn. (Εικόνα 19)



Εικόνα 19. Το διάγραμμα Venn που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να ερευνηθούν όλες οι πιθανές λογικές σχέσεις των εκφρασμένων γονιδίων σε σχέση με τις συχνότητες. (Πηγή : *Scientific Reports* 6 : 33370 DOI: 10.1038/srep33370)

Τέσσερα γονίδια (*At5g22380*, *At1g76650*, *At4g17500*, και *At1g33760*) βρέθηκαν να είναι ρυθμισμένα και στις 5 συχνότητες, δεν υπήρχε ούτε ένα γονίδιο που δεν ήταν ρυθμισμένο στο $P < 0,05$. Απεναντίας, δύο γονίδια (*At4g19430* και *At5g06790*) δεν ήταν ρυθμισμένα στις συχνότητες 500, 1000 και 3000 Hz. Ακόμη, τρία γονίδια (*At4g16447*, *At1g48330* και *At2g21210*) δεν ήταν ρυθμισμένα στις συχνότητες 500, 2000 και 3000 Hz. Για να επιτευχθεί ο χαρακτηρισμός των διαφορετικών εκφρασμένων γονιδίων πραγματοποιήθηκε, ανάλυση της Οντολογίας Γονιδίων (*Gene Ontology-GO*). Σύμφωνα μ' αυτήν, η πλειονότητα των διαφορετικών εκφρασμένων γονιδίων είναι τοποθετημένη στον πυρήνα (Εικόνα 19).



Εικόνα 20. Θερμικός χάρτης μικροσυστοιχίας επιλεγμένων γονιδίων που εκφράστηκαν ποικιλοτρόπως στο φυτό *Arabidopsis thaliana*. (Πηγή : *Scientific Reports* 6 : 33370 DOI: 10.1038/srep33370)

6.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων στα γονίδια του φυτού *Arabidopsis thaliana*

Επίσης αρκετά γονίδια εντοπίστηκαν στα πλαστίδια, στο κυτταρόπλασμα καθώς και στο πλάσμα των μεμβρανών. Πολλά απ' αυτά, έχουν δραστηριότητες τρανσφεράσης και κινάσης και λειτουργούν ως μεταγραφικοί παράγοντες (*TFs*). Το μεγαλύτερο μέρος των γονιδίων φαίνεται να ανταποκρίνεται σε αποκρίσεις στρες και σε διαδρομές μεταγωγών σημάτων.

Κατόπιν επιλέχθηκαν 59 γονίδια που είχαν διαφορετικό βαθμό έκφρασης σε 3 από τις επεξεργασίες με αλλαγές πτυχών περισσότερες από 2 και γι' αυτό το λόγο ετοιμάστηκε ένας «χάρτης θερμότητας». Σύμφωνα μ' αυτόν παρουσιάζεται ο μέγιστος αριθμός των ρυθμισμένων γονιδίων στη συχνότητα 500 Hz. **(Εικόνα 20)** Όπως προκύπτει με βάση τα χαρακτηριστικά τους τα 59 γονίδια ταξινομούνται στις ακόλουθες ομάδες :

1. Ομάδα Α (*Απόκριση Μηχανικής Διέγερσης στα Γονίδια*)
2. Ομάδα Β (*Γονίδια σχετικά με την Σηματοδότηση*)
3. Ομάδα C (*Μεταγραφικοί Παράγοντες*)
4. Ομάδα D (*Οξείδωση Ομοιόστασης*)
5. Ομάδα E (*Βιοσύνθεση*)
6. Ομάδα F (*Γονίδια σχετιζόμενα με την Άμυνα*)
7. Ομάδα G (*Άλλα*)
8. Ομάδα H (*Άγνωστοι*)

Συμπληρωματικά σε αυτό, οι διαφορετικές εκφρασμένες πρωτεΐνες με βάση την λειτουργία τους σχηματίζουν τις εξής κατηγορίες :

1. Φωτοσύνθεση
2. Αναπνοή
3. Βιοσύνθεση των Αμινοξέων
4. Ενεργειακός Μεταβολισμός
5. Μεταφοράς
6. ROS σαρωτής
7. Διάφορα
8. Φυτοορμονικό προφίλ μετά την διεργασία SV στα 500 Hz

Ενδιαφέροντα αποτελέσματα προέκυψαν από τις ομάδες Α, C και Η

Ομάδα Α

Ο *Lee et al.* απέδειξαν τις εκφράσεις των γονιδίων επαφής (*touch-induced*) σε 589 γονίδια (περίπου το 2.5% των γονιδίων) στην ανάλυση μικροσυστοιχίας στο φυτό *Arabidopsis*. 23 ρυθμισμένα γονίδια επαφής παρουσιάστηκαν με την επεξεργασία SV και χαρακτηρίστηκαν γονίδια με απόκριση μηχανικής

διέγερσης (*mechanostimulus responsive genes*). Ο TCH4 είναι ένας πολύ γνωστός δείκτης για αποκρίσεις επαφής, δείχνοντας υψηλή ρύθμιση ειδικότερα στην επεξεργασία τω 500 Hz. Ο *At1g21910* (*DREB26* που κωδικοποιεί το *AP2* έναν τύπο μεταγραφικού παράγοντα *TF*) έδειξε την πιο υψηλή ρύθμιση σε όλες τις επεξεργασίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετά γονίδια που ανήκουν σε αυτήν την ομάδα συμμετέχουν και σε άλλες βιολογικές διαδικασίες ή έχουν ένα διαφορετικό ρόλο. Συνεπώς, αυτά τα γονίδια αναφέρονται σε άλλες ομάδες με τον χαρακτηρισμό ως καλά.

Ομάδα C

Συνολικά 13 γονίδια που ανήκουν σε μια ποικιλία του περιεχομένου των μεταγραφικών παραγόντων (*TFs*) απαρτίζουν αυτήν την ομάδα. Απ' αυτά τα γονίδια τα 6 *TFs*, έχουν χαρακτηριστεί ως γονίδια μηχανικής διέγερσης στην ομάδα A τα οποία είναι τα εξής : *DREB26*, *At3g50060* (*MYB77*), *At5g67300* (*MYB44*), *At5g47220* (*ERF2*), *At3g55980* (*SZF1*), και *At1g13260* (*RAV1*). Δύο απ' αυτά τα *TFs*, το *DREB26* και το *At5g22380* (*ANAC090*) έδειξαν υψηλή ρύθμιση σε όλες τις επεξεργασίες. Σε αυτήν την ομάδα, συμπεριλαμβάνονται ακόμα το *MYB TFs* *MYB77* (που κωδικοποιεί έναν τύπο *TF* *R2R3* και το *MYB44* οι οποίοι φάνηκε να ρυθμίζονται με υπερβολικό τρόπο στα *SV*. Επιπλέον, 3 παράγοντες απόκρισης σε αιθυλένιο (*ERF*) ανήκουν σε αυτήν την οικογένεια [*At4g17500* (*ERF1*), *ERF2* και *At1g33760*], και τρία μέλη της οικογένειας *C3H*, [*SZF1*, *At2g25900* (*ATTZF1*) και *At4g29190* (*ATOZF2*)] εμφάνισαν και αυτά υπερβολική ρύθμιση στα *SV*. Εκτός από τα *At5g49520* (*WRKY48*) και *At3g07340* (*CIB3*, που κωδικοποιεί το *bHLH*) τα μέλη της είχαν υπερρυθμιστεί. Η *RAV1*, που κωδικοποιεί ένα *TF* της *APETALA2/ERF* (*AP2/ERF*) οικογένειας έδειξαν μια ρύθμιση στην μελέτη.

Ομάδα H

Αφορά γονίδια που δεν έχουν προσδιοριστεί από κάποια βιολογική διαδικασία Οντολογίας Γονιδίων (*GO*). Ανάμεσα σε αυτά το *At2g20670* είχε επηρεαστεί πολύ από όλες τις διεργασίες *SV* σε αντίθεση με τα *At4g19430*, *At5g06790*, *At1g48330* και *At4g16447* που παρουσίασαν χαμηλή ρύθμιση. Επτά γονίδια μηχανικής διεργασίας επίσης εντάχθηκαν σε αυτήν την ομάδα. Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι, πολλά από τα προαναφερθέντα γονίδια συζητήθηκαν σε διαφορετικές ομάδες λειτουργώντας στην βιοσύνθεση ορμονών ή στην διαδικασία της σηματοδότησης. Ένα μπρασινανοστεροειδές (*BR*) γονίδιο απόκρισης *EXO* (*Exordium gene*), το οποίο κωδικοποιεί μια εξωκυτταρική ορμόνη που εμπλέκεται στην εξάπλωση του κυττάρου ήταν υψηλά ρυθμισμένο σε όλες τις διεργασίες. Τα *TFs* *ERF1* και *ERF2* είναι ικανοποιητικοί παράγοντες στην διαδικασία σηματοδότησης του αιθυλενίου. Τα *DREB26*, *MYB77* και *MYB44* ανταποκρίνονται στην *SA* σύμφωνα με την Οντολογία Γονιδίων (*GO*). Ακόμη, το *MYB77* συμμετέχει στην διαδικασία σηματοδότησης της αυξίνης, δρώντας με άμεσο τρόπο με τους αποκριτικούς παράγοντες της αυξίνης (*ARFs*). Παράλληλα, τα *EXO* και *RAV1* είναι άλλα γονίδια *BR*

που διεγείρουν. Εξάλλου, το RAV1 ως αρνητικός ρυθμιστής του αμψισικού οξέος (*ABA*) σηματοδοτεί την διαδικασία της βλάστησης του σπόρου και τα πρώτα στάδια του σπορόφυτου.

6.4 Η παραγωγή των κινασών και των ενζύμων που προάγουν την γονιδιακή ρύθμιση μέσω των ηχητικών δονήσεων

Στην διάδοση ενός ηχητικού σήματος εξίσου σημαντικά συμμετέχουν και οι πρωτεϊνικές κινάσες (*Sheen, 1996*). Πρόκειται για ένα είδος ενζύμων που φωσφορυλιώνουν και τροποποιούν την λειτουργία διάφορων πρωτεϊνών-στόχων όπως τους παράγοντες της μεταγραφής και αυτόματα άμεση παρέμβαση στην ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης (*Choi et al., 2005*). Με τις ηχητικές δονήσεις τα κύτταρα είχαν ενισχυμένη λειτουργία των πρωτεϊνικών κινασών (*Zhao et al., 2002c*). Έτσι, προκύπτει ότι η φωσφορυλίωση των πρωτεϊνών σηματοδότησης ή ακόμη και των παραγόντων μεταγραφής που ενεργοποιούνται από τις πρωτεϊνικές κινάσες με τη μεσολάβηση των δονήσεων μπορεί τελικώς να οδηγήσει σε προς τα πάνω ρύθμιση των αποκρινόμενων γονιδίων. Παράλληλα και κοντά σ' αυτό, τα γονίδια εκφράζονται ιδιόμορφα από τις ηχητικές δονήσεις (*Wang et al., 2005; Jeong et al., 2008; Shao et al., 2008; Safari et al., 2003*). Έχει αναφερθεί ότι οι δονήσεις επιταχύνουν την σύνθεση του *mRNA* (*Wang et al., 2003b; Zhao et al., 2003*). Σε μια προκαταρκτική μελέτη οι *Wang et al. (2003b)* ανέφεραν ότι οι δονήσεις είχαν ως αποτέλεσμα την έκφραση 6 διαφορετικών cDNA σε πολλαπλά μεγέθη που κυμαίνονταν από 200-600bp. Οι *Jeong et al. (2008)* ανέλυσαν την έκφραση του mRNA από το οποίο εντόπισαν ένα σύνολο γονιδίων που ανταποκρίνονται στις δονήσεις, στην «αφαιρετική βιβλιοθήκη» που είχε επεξεργαστεί με δονήσεις. Ακόμη ανέφεραν ότι, σε συνθήκες σκοταδιού και φωτός, τα γονίδια που κωδικοποιούν την μικρή υπομονάδα (*RBCS-Rubisco*) και την αλδολάση (*ALD-Aldolase*) ρυθμίζονται πάντα προς τα πάνω. Οι *Shao et al. (2008)* διαπίστωσαν την προς τα πάνω και προς τα κάτω ρύθμιση ορισμένων γονιδίων στο χρυσάνθεμο με δονήσεις. Οι *Safari et al. (2013)* παρατήρησαν ότι ενισχύθηκε η έκφραση των γονιδίων που κωδικοποιούν την καταλάση (*CAT*) και την αμμωνιαλυάση της φαινυλαλανίνης (*PAL-Phenylalanine ammonia lyase*) στα κύτταρα του *Corylus avellana* σε θεραπεία με υπέρηχους χαμηλής έντασης. Με μικροσυστοιχίες ερευνήθηκαν μεταγραφικές αλλαγές στο *Arabidopsis* σε δονήσεις (500 Hz, 80 dB) και την ρύθμιση προς τα πάνω ορισμένων κινασών όπως της MPK1 (*Mitogen activated Protein Kinases1*) καθώς και μεταγραφικών παραγόντων όπως (*MYB77, DREB26, RAV1*), (Αρ. πρόσβασης δεδομένων μικροσυστοιχίας *Gene Expression Omnibus GSE68944*; Μη δημοσιευμένα δεδομένα). Η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης με δονήσεις συμβαίνει και στο επίπεδο των πρωτεϊνών. Οι *Kwon et al. (2012)* με πρωτεομική ανάλυση από ιστούς φύλλων από το *Arabidopsis* στα 500 Hz έδωσε εντυπωσιακά αποτελέσματα. Με την χρήση δισδιάστατης ηλεκτροφόρησης γέλης (2-DE), ανιχνεύθηκαν 38 διαφορετικά ρυθμιζόμενα σημεία στα

επεξεργασμένα δείγματα πρωτεΐνης. Περαιτέρω, με την φασματομετρία μάζας εκρόφησης και ιοντισμού με laser, (*MALDI-TOF MS*) και *MALDI-TOF/TOF MS* οι διαφορετικά ρυθμιζόμενες πρωτεΐνες αναγνωρίστηκαν ότι συμμετέχουν σε επίπεδο λειτουργίας στη φωτοσύνθεση, στο στρες, την άμυνα, τον μεταβολισμό του αζώτου και των υδατανθράκων. Με την επενέργεια των δονήσεων, οι κινάσες αλληλεπιδρούν άμεσα με τις $H^+ - ATPases$. Παρατηρήθηκε ότι στα κύτταρα του τύλου (*callus*) στο χρυσάνθεμο για μία ώρα στα 1000 Hz και 100 dB αύξησαν σημαντικά την δράση των $H^+ - ATPases$ (*Zhao et al., 2002a*). Μέσα από φαρμακολογικές μελέτες, οι ίδιες φαίνεται πως ενεργοποιούνται μέσω της φωσφορυλίωσης από την συμβολή των κινασών. Όταν αναστέλλεται η δράση της κινάσης από την σταυροπορίνη, ταυτόχρονα διακόπτεται και η δράση των $H^+ - ATPases$ (*Jia et al., 2003*). Ακόμη η ενεργοποίηση των κινασών επιτυγχάνεται με το ασβεστίο. Παράγοντες όπως η Verapamil και ο ανασταλτικός παράγοντας του ασβεστίου (A23187) μπλοκάρουν το κανάλι ασβεστίου επηρεάζοντας την δραστηριότητα των $H^+ - ATPases$. Πιο συγκεκριμένα, η χηλοποίηση του ασβεστίου μειώνει σημαντικά την λειτουργία τους (*Zhao et al., 2002a*). Το μεταβατικό ιόν ασβεστίου ενεργοποιεί με την σειρά του το ασβέστιο των πρωτεϊνικών κινασών, αυξάνοντας την ισχύ της φωσφορυλίωσης των $H^+ - ATPases$ και άρα ακόμα πιο αυξημένη δραστηριότητα. Άλλωστε, ο ρόλος τους είναι η παραγωγή ηλεκτροχημικής τάσης στην πλασματική μεμβράνη, βοηθώντας τα φυτά να ανταποκρίνονται καλύτερα στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Μαζί με τις πρωτεϊνικές κινάσες τα ένζυμα που εμπλέκονται στην σάρωση των ROS εμφανίζουν αυξημένες δραστηριότητες στις δονήσεις (*Li et al., 2008; Safari et al., 2013*). Τα είδη των προστατευτικών ενζύμων όπως : η υπεροξειδική δισμουτάση (*SOD-Superoxide dismutase*), η καταλάση (*CAT-Catalase*), η δισμουτάση υπεροξειδίου (*POD-Peroxidase*), η ασκορβική δισμουτάση (*APX-Ascorbate peroxidase*) μαζί με την υπεροξειδάση (*PRX-Peroxidase*) παρουσιάζουν έντονη δραστηριότητα με τις δονήσεις. Αυτό δηλώνει ότι κατά την διέγερση με δονήσεις η ποσότητα του ROS αυξάνεται σταδιακά. Η συγκέντρωση του ROS είναι αντιληπτή από την αρχική αύξηση της μηλονοδιαλδεϋδης (*MDA-Malondialdehyde*), ένα παράγωγο που προκύπτει από την υπεροξείδωση των λιπιδίων από το ROS μετά από την θεραπεία με δονήσεις, η οποία ελαττώνεται με την αύξηση των αντιοξειδωτικών δραστηριοτήτων (*Li et al., 2008*). Γενικά η παραγωγή των ROS εντός του κυττάρου αποτελεί ένα δείγμα καταπόνησης και γι' αυτό τον λόγο εμπλέκονται στην σηματοδότηση (*Corpas et al., 2015*). Τα υψηλά επίπεδα του ROS και της σχετικής σηματοδότησης αποτελεί την απάντηση στην ξηρασία (*Cruz de Carvalho, 2008*). Ακόμη το ROS είναι ο ρυθμιστής της δραστηριότητας των διαύλων ιόντων της μεμβράνης και ειδικότερα των καναλιών ασβεστίου και καλίου (*Pottosinet et al., 2014*). Η δόνηση αυξάνει την δράση των καναλιών του καλίου ενισχύοντας την συχνότητα του ανοίγματος (*Zhao et al., 2002a*). Τα κανάλια ιόντων καλίου συμμετέχουν ενεργά στο ανοιγοκλείσιμο των στομάτων του φυτού σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Η αυξημένη ικανότητα των φυτών να ανταπεξέρχονται στην ξηρασία αποτελείται από

ένα σύνολο δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα' το κανάλι ιόντων καλίου μαζί με τα ROS και τα αντιοξειδωτικά ένζυμα. Προσφάτως διαπιστώθηκε ότι τα κανάλια ασβεστίου και καλίου ρυθμίζονται από την συνεργασία των ROS και των πολυαμινών (*Pas-Polyamines*) (*Pottosinet et al., 2014*). Σε θεραπεία με δονήσεις σημειώθηκε άνοδος στα επίπεδα των πολυαμινών (*Qin et al., 2003*).

6.5 Πως ο ήχος επηρεάζει την συμβολή των φυτοορμονών στο φυτικό κύτταρο

Με την εφαρμογή της δόνησης ένα κοινό χαρακτηριστικό που παρουσιάζουν τα φυτά είναι η ανάπτυξη. Οι φυτοορμόνες κανονίζουν την διαδικασία της ανάπτυξης στα φυτά προκαλώντας με γρήγορο τρόπο την κυτταρική διαίρεση δηλαδή την επιμήκυνση. Μια οποιαδήποτε αλλαγή στα επίπεδα των φυτοορμονών και στον κυτταρικό κύκλο που διευκολύνει την κυτταρική διαίρεση λόγω των δονήσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση. Με την χρήση κυτταρομετρίας ροής οι *Wang et al. (2003b)* έδειξαν ότι οι δονήσεις δημιουργούν μια επιτάχυνση στην κυτταρική διαίρεση μεταβάλλοντας τον κυτταρικό κύκλο του χρυσάνθεμου' ειδικότερα μειώθηκε ο αριθμός των κυττάρων στην φάση G0/G1 και αυξήθηκε στην φάση S. Μελέτες επιβεβαίωσαν τις αλλαγές που συμβαίνουν στα επίπεδα των φυτοορμονών μέσω των δονήσεων. Ωθεί στην αύξηση των ενδογενών ορμονών όπως : το ινδολο-3-οξικό οξύ (*IAA*), η γιββερελλίνη (*GA- Gibberellic acid*), η κυτοκίνη (*Zeatin Riboside-ZR*) στα φυτά ντομάτας, αγγουριού, μοσχοκάρυδου, μπιζελιού, μελιτζάνας (*Wei et al., 2012; Hassanien et al., 2014*). Εντούτοις, στα κύτταρα τύλου του χρυσάνθεμου που εφαρμόστηκε δόνηση στα 1400 Hz και 95 dB υπήρξε μια άνοδος στο *IAA* και ταυτόχρονη μείωση στην ορμόνη του στρες το αμπισισικό οξύ (*Abscisic acid-ABA*) (*Wang et al., 2004*). Είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι το *IAA*, το *GA* και το *ZR* βοηθά στην κυτταρική διαίρεση/επιμήκυνση των φυτών με άλλα λόγια την ανάπτυξη σε αντίθεση με το *ABA* που αναστέλλει την ανάπτυξη ως ένας αρνητικός ρυθμιστής. Είναι πλέον διακριτό ότι η δόνηση ενισχύει σημαντικά την ανάπτυξη μέσω των ορμονών που είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη. Η συγκέντρωση του *GA* μέσω δονήσεων συντελεί στην εκβλάστηση σε αδρανείς σπόρους. Εκτός από τις φυτοορμόνες αυξήθηκε το διαλυτό σάκχαρο και η πρωτεΐνη (*Yi et al., 2003b; Zhao et al., 2003*). Η υψηλή μεταβολική δραστηριότητα και η κατάσταση έντονης κυτταρικής διαίρεσης συμβαίνει από το *ATP* το οποίο παρουσιάζει και αυτό αύξηση με τις δονήσεις (*Yang et al., 2003*). Οι δονήσεις εν τέλει έχουν ένα θετικό αντίκτυπο στα φυτά καθώς προσομοιάζουν στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα προκαλώντας μεταβολές στην μοριακή- φυσιολογική κατάσταση τους με κύριο χαρακτηριστικό την ανάπτυξη. Οι *Appel and Cocroft (2014)* αναφέρουν το αιθυλένιο ως πιθανό μέτοχο στην σηματοδότηση μέσω δονήσεων με απόκριση στην άμυνα. Η σηματοδότηση του αιθυλενίου ενισχύει την εκβλάστηση των σπόρων του *Arabidopsis* (*Ushida and Yamamoto, 2002*). Έχει αποδειχθεί ακόμη ότι οι δονήσεις προκαλούν καθυστέρηση στην ωρίμανση των καρπών της ντομάτας αφού αναστέλλει την βιοσύνθεση του αιθυλενίου και των γονιδίων σηματοδότησης (*Kim et al., 2015*). Επομένως η δόνηση αλληλεπιδρά

με το στάδιο της ανάπτυξης και η δράση της συμβαίνει ποικιλοτρόπως και με ειδικό τρόπο στους ιστούς. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι η απόκριση των φυτών στις μηχανικές δονήσεις ρυθμίζονται μερικώς από την σηματοδότηση του αιθυλενίου (Braam, 2005; Chehab et al., 2009). Πιθανώς και να ενυπάρχει μια μοριακή διασταύρωση μεταξύ του ήχου και της αφής.

6.6 Πως τα συστήματα του ήχου και της αφής συνδέονται σε μια κοινή ενδοκυτταρική επικοινωνία

Όπως προαναφέρθηκε, οι ηχητικές δονήσεις είναι κύματα πίεσης όπως η αφή, αφήνοντας μια μηχανική επίπτωση στην επιφάνεια του κυττάρου. Επειδή οι δονήσεις και η αφή είναι μηχανικής φύσεως, τα επικαλυπτόμενα μόρια για την μεταγωγή του σήματος θα μπορούσαν να αποτελέσουν το θεμέλιο για μια διασταυρούμενη επικοινωνία μεταξύ των 2 συστημάτων αίσθησης. Σ' αυτό συμβάλλει το γεγονός ότι τα φυτά σ' ένα αεικίνητο και γεμάτο περιβάλλον πιθανόν να υπάρχει μια παράλληλη ταύτιση μεταξύ του ήχου και της αφής, λόγω των ομοιοτήτων που παρουσιάζουν. Και τα δύο ερεθίσματα προκαλούν σηματοδότηση σ' όλη την πλασματική μεμβράνη από την διέγερση που συμβαίνει στα μηχανοευαίσθητα κανάλια (Haswell and Meyerowitz, 2006). Γενικά τα μηχανικά ερεθίσματα όπως η αφή και ο άνεμος δημιουργούν μεταβατικά ιόντα ασβεστίου στα φυτικά κύτταρα (Braam, 2005). Πιο συγκεκριμένα, τα γονίδια του *Arabidopsis* που ρυθμίζουν την προς τα πάνω απόκριση στην αφή κωδικοποιούν πρωτεΐνες που συμμετέχουν στην μετατροπή του κυτταρικού τοιχώματος, στη δέσμευση ασβεστίου, στις κινάσες, στους μεταγραφικούς παράγοντες και στην άμυνα (Braam, 2005). Οι κωδικοποιημένες πρωτεΐνες που εμπλέκονται στον καταρράκτη σηματοδότησης, εξαρτώνται τα ιόντα ασβεστίου και παραμένουν λειτουργικές στην περίπτωση των ηχητικών δονήσεων. Αυτή η άποψη ενισχύεται από την συμβολή των δονήσεων (50 Hz, 90 dB), την προς τα πάνω ρύθμιση διάφορων γονιδίων ιδίως αυτών που ανταποκρίνονται στην αφή όπως (*TCH2*, *TCH3* και *TCH4*) στο *Arabidopsis* (Johnson et al., 1998). Μάλιστα, η μελέτη σε μικροσυστοιχίες απέδειξε τη ρύθμιση προς τα πάνω, αρκετών άλλων γονιδίων που διεγείρονται από την αφή όπως (*CML38*, *MYB77*, *DREB26*, *HSPRO2* και *RAVI*) από τις δονήσεις στο *Arabidopsis* (*Gene Expression Omnibus*, δεδομένων μικροσυστοιχίας Αρ. πρόσβασης δεδομένων *GSE68944*, μη δημοσιευμένα). Η διέγερση με την αφή επίσης προκαλεί την παραγωγή των ROS (Monshausen et al., 2009). Η διέγερση με μηχανικό τρόπο οδηγεί στην πλευρική επαγωγή του ριζικού συστήματος, ένα φαινότυπο που αποδίδεται στην συγκέντρωση της αυξίνης (Monshausen and Gilroy, 2009). Με τις δονήσεις και την συγκέντρωση της αυξίνης τονίζεται η διασταυρούμενη επικοινωνία μεταξύ αφής και ήχου. Και τα δύο αισθητηριακά συστήματα οδηγούν σε συγκέντρωση PRX (Saidi et al., 2009). Το κοινό χαρακτηριστικό τους μπορεί να υπογραμμίζει την μοριακή αλληλεξάρτηση στην σηματοδότηση. Θα πρέπει να τονιστεί όμως ότι οι ηχητικές δονήσεις ως ερέθισμα διαφοροποιούνται οικολογικώς από την αφή και το φυτό ανταποκρίνεται ανάλογα στον ήχο.

Έχει βρεθεί ότι τα μηχανικού τύπου ερεθίσματα όπως ο άνεμος προκαλούν καθυστέρηση και αύξηση της δευτερογενούς ανάπτυξης ενώ οι δονήσεις προωθούν την ανάπτυξη.

7. Συμπεράσματα

Ο τρόπος αντίληψης και επεξεργασίας των ηχητικών δονήσεων ως μορφή κυμάτων από τα φυτά, φέρει πολλά πλεονεκτήματα και για τον λόγο αυτό, το συγκεκριμένο πεδίο παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Από διάφορες μελέτες προκύπτει ότι τα φυτά μπορούν να διακρίνουν το ερέθισμα της δόνησης από άλλα ερεθίσματα του περιβάλλοντος τους. Η αξιολόγηση αυτή καθορίζει μια προσαρμοστική αξία γι' αυτά και αφορά κυρίως την επιβίωση τους. Διεξάγεται μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ηχητική σηματοδότηση και καταλήγει στον πυρήνα του κυττάρου προκειμένου να συνθέσει γονίδια αντίστοιχα με την προσαρμοστική συνθήκη που βρίσκονται τα φυτά. Η συμβολή της Μοριακής Βιολογίας μέσω των καινοτόμων και εξειδικευμένων τεχνολογιών της, θα συνεπικουρήσει στην καταγραφή του γονιδιώματος ώστε να ανιχνευθούν όλα τα γονίδια που τυχόν επηρεάζονται από τις δονήσεις. Η ενασχόληση μ' αυτό το αναδυόμενο κεφάλαιο της φυτικής βιολογίας θα βοηθήσει αφενός μεν, να εξερευνήσουμε τα μυστικά στο Βασίλειο των φυτών, αφετέρου δε, εστιάζοντας στο φυτό όχι απλά ως μεμονωμένη οντότητα μα ως ένα πολύπλοκο οργανισμό που αισθάνεται, αντιλαμβάνεται και προσαρμόζεται. Αυτή η προσαρμογή του, πιθανότατα θα ανοίξει νέους δρόμους για μια νέα, πολλά υποσχόμενη οικολογική ματιά στο περιβάλλον, μειώνοντας δραστικά τα λιπάσματα και τα λοιπά χημικά, δημιουργώντας μια πιο βιώσιμη και λειτουργική οικονομία για όλους.

8. Βιβλιογραφία

- Akimoto, K. et al. (2018) 'Effect of 528 Hz Music on the Endocrine System and Autonomic Nervous System', *Health*, **10**(09), pp. 1159–1170. doi: 10.4236/health.2018.109088.
- Akiyama, K. and Sutoo, D. 2011. Effect of Different Frequencies of Music on Blood Pressure Regulation in Spontaneously Hypertensive Rats. *Neuroscience Letters* **487**: 58-60.
- Alexandersson E, Saalbach G, Larsson C, Kjellbom P. 2004. Arabidopsis plasma membrane proteomics identifies components of transport, signal transduction and membrane trafficking. *Plant and Cell Physiology*, **45**: 1543–1556.
- Ananthakrishnan G, Xia X, Amutha S, Singer S, Muruganantham M, Yablonsky S, Fischer E, Gaba V. 2007. Ultrasonic treatment stimulates multiple shoot regeneration and explant enlargement in recalcitrant squash cotyledon explants in vitro. *Plant Cell Reports*, **26**: 267–276.
- Appel HM, Cocroft RB. 2014. Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing. *Oecologia*, **175**: 1257-1266.
- Arch VS, Narins PM. 2008. 'Silent' signals: selective forces acting on ultrasonic communication systems in terrestrial vertebrates. *Anim Behav.* **76**: 1423–1428.
- Baakek, Y. N. E. H. and Debbal, S. M. E. A. (2021) 'Digital drugs (binaural beats): how can it affect the brain/their impact on the brain', <https://doi.org/10.1080/03091902.2021.1936236>, *45*(7), pp. 546–551. doi: 10.1080/03091902.2021.1936236.
- Babayi, T. and Riazzi, G. H. (2017) 'The Effects of 528 Hz Sound Wave to Reduce Cell Death in Human Astrocyte Primary Cell Culture Treated with Ethanol', *Journal of Addiction Research & Therapy* 2017 **8**:4, **8**(4), pp. 1–5. doi: 10.4172/2155-6105.1000335.
- Bailey NW, Fowler-Finn KD, Rebar D, Rodriguez RL. 2013. Green symphonies or wind in the willows? Testing acoustic communication in plants. *Behavioral Ecology* **24**, 797-798.
- Baluška F. 2009. Plant-environment interactions—signaling and communication in plants. Berlin: Springer-Verlag.
- Baluška F, Mancuso S. 2007. Plant neurobiology as a paradigm shift not only in the plant sciences. *Plant Signal Behav.* **2**: 205–207.
- Bilgin, D. D., Zavala, J. A., Zhu, J., Clough, S. J., Ort, D. R. and Delucia, E. H. 2010. Biotic stress globally down regulates photosynthetic genes. *Plant Cell Environ.* **33**: 1597-1613.
- Bochu W et al., Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the Chrysanthemum mature callus, *Colloids Surf. B Biointerfaces* **37** (3–4) (2004) 107–112.
- Braam J. 2005. In touch: plant responses to mechanical stimuli. *New Phytologist* **165**, 373–389.
- Braam, J. 1992. Regulated expression of the calmodulin-related TCH genes in cultured Arabidopsis cells: induction by calcium and heat shock. *Proc. Natl. Acad Sci. USA* **89**: 3213-3216.
- Braam, J., Sistrunk, M. L., Polisensky, D. H., Xu ,W., Purugganan, M. M., Antosiewicz, D. M., Campbell, P. and Johnson, K. A. 1997. Plant responses to environmental stress: regulation and function of the Arabidopsis TCH genes. *Planta* **203**: 35-41.
- Bradbury JW, Vehrencamp SL. 1998. Principles of animal communication. Sunderland: Sinauer.
- Brady C, Fruit ripening, *Annu. Rev. Plant Physiol.* **38** (1) (1987) 155–178.
- Calamassi, D. and Pomponi, G. P. (2019) 'Music Tuned to 440 Hz Versus 432 Hz and the Health Effects: A Double-blind Cross-over Pilot Study', *EXPLORE*, **15**(4), pp. 283–290. doi: 10.1016/J.EXPLORE.2019.04.001.
- Campbell P, Braam J. 1998. Co- and/or post-translational modifications are critical for TCH4 XET activity. *The Plant Journal* **15**, 553–561.
- Carazo P, Font E. 2010. Putting information back into biological communication. *J Evol Biol.* **23**: 661–669.

- Caro TM. 2005. Antipredator defenses in birds and mammals. Chicago: *Chicago University Press*.
- Cate ten C, Acoustic communication in plants: do the woods really sing? *Behav. Ecol.* **24** (4) (2013) 799–800.
- Chamovitz D. 2012. Music is not ecologically relevant for plants, but there are sounds that it could be advantageous for them to hear. *New Scientist* **215**, 37.
- Chapin FS. 1991. Integrated responses of plants to stress. *BioScience*. **41**: 29–36.
- Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS, Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant, *Funct. Plant Biol.* **30** (3) (2003) 239–264.
- Chehab EW, Eich E, Braam J. 2009. Thigmomorphogenesis: a complex plant response to mechanostimulation. *Journal of Experimental Botany* **60**, 43–56.
- Choi B et al., Positive regulatory role of sound vibration treatment in *Arabidopsis thaliana* against *Botrytis cinerea* infection, *Sci. Rep.* **7** (1) (2017) 2527.
- Choi HI, Park HJ, Park JH, Kim S, Im MY, Seo HH, Kim YW, Hwang I, Kim SY. 2005. *Arabidopsis* calcium-dependent protein kinase AtCPK32 interacts with ABF4, a transcriptional regulator of abscisic acid-responsive gene expression, and modulates its activity. *Plant Physiology* **139**, 1750–1761.
- Chory J, Light signal transduction: an infinite spectrum of possibilities, *Plant J.* **61** (6) (2010) 982–991.
- Chowdhury MEK, Lim H, Bae H. 2014. Update on the Effects of Sound Wave on Plants. *Research in Plant Disease* **20**, 1–7.
- Cipollini ML, Levey DJ, Secondary metabolites of fleshy vertebrate-dispersed fruits: adaptive hypotheses and implications for seed dispersal, *Am. Nat.* **150** (3) (1997) 346–372.
- Cochard H et al., Methods for measuring plant vulnerability to cavitation: a critical review, *J. Exp. Bot.* **64** (15) (2013) 4779–4791.
- Collins ME, Foreman JEK. 2001. The effect of sound on the growth of plants. *Canadian Acoustics* **29**, 3–8.
- Conley K, Lindstedt SL. 1996. Minimal cost per twitch in rattlesnake tail muscle. *Nature*. **383**: 71–72.
- Corpas F, Gupta D, Palma J. 2015. Production sites of reactive oxygen species (ROS) in organelles from plant cells. In: Gupta DK, Palma JM, Corpas FJ, eds. *Reactive oxygen species and oxidative damage in plants under stress*. Springer International Publishing, 1–22.
- Creath K, Schwartz GE. 2004. Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay. *Journal of Alternative and Complementary Medicine* **10**, 113–122.
- Cruz de Carvalho MH. 2008. Drought stress and reactive oxygen species: Production, scavenging and signaling. *Plant Signaling & Behavior* **3**, 156–165.
- da Silva JAT, Dobranszki J. 2014. Sonication and ultrasound : impact on plant growth and development. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* **117**, 131–143.
- De Luca PA, Vallejo-Marin M. 2013. What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Current Opinion in Plant Biology* **16**, 429–435.
- Depamphilis ML. 2003. Review the 'ORC cycle' : A novel pathway for regulating eukaryotic DNA replication. *Gene*, **310**, 1–15.
- Dicke M. 2009. Behavioural and community ecology of plants that cry for help. *Plant, Cell & Environment* **32**, 654–665.
- Dixon HH, Joly J. 1895. On the ascent of sap. *Philos Trans R Soc B.* **186**: 563–576.
- Domke J, Parak WJ, George M, Gaub HE, Radmacher M. 1999. Mapping the mechanical pulse of single cardiomyocytes with the atomic force microscope. *Eur Biophys J.* **28**: 179–186.
- Dudley SA, File AL. 2007. Kin recognition in an annual plant. *Biol Lett.* **3**: 435–438.
- Ekici N, Dane F, Mamedova L, Metin I, Huseyinov M. 2007. The effects of different musical elements on root growth and mitosis in onion (*Allium cepa*) root apical meristem (musical and biological experimental study). *Asian Journal of Plant Sciences* **6**, 369–373.

- Fabbri AA, Fanelli C, Reverberi M, Ricelli A, Camera E, Urbanelli S, Rossini A, Picardo M, Altamura MM. 2000. Early physiological and cytological events induced by wounding in potato tuber. *J Exp Bot.* **51**: 1267–1275.
- Falik O, Mordoch Y, Quansah L, Fait A, Novoplansky A. 2011. Rumor has it...: relay communication of stress cues in plants. *PLoS One* **6**, e23625.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev.* **29**: 185–212.
- Feng AS, Narins PM, Xu C-H, Lin W-Y, Yu Z-L, Qiu Q, Xu ZM, Shen JX. 2006. *Ultrasonic communication in frogs. Nature.* **440**: 333–336.
- Feng, C. Z. et al. Arabidopsis RAV1 transcription factor, phosphorylated by SnRK2 kinases, regulates the expression of ABI3, ABI4, and ABI5 during seed germination and early seedling development. *The Plant journal: for cell and molecular biology* **80**, 654–668 (2014).
- Fujimoto, S. Y., Ohta, M., Usui, A., Shinshi, H. & Ohme-Takagi, M. Arabidopsis ethylene-responsive element binding factors act as transcriptional activators or repressors of GCC box-mediated gene expression. *Plant Cell* **12**, 393–404 (2000).
- Furuichi T, Iida H, Sokabe M, Tatsumi H. 2012. Expression of Arabidopsis MCA1 enhanced mechanosensitive channel activity in the *Xenopus laevis* oocyte plasma membrane. *Plant Signaling & Behavior* **7**, 1022–1026.
- Gagliano M. et al., Tuned in: plant roots use sound to locate water, *Oecologia* **184** (1) (2017) 151–160.
- Gagliano M. 2013a. The flowering of plant bioacoustics : how and why. *Behavioral Ecology* **24**, 800–801.
- Gagliano M. 2013b. Green Symphonies : a call for studies on acoustic communication in plants. *Behavioral Ecology* **24**, 789–796.
- Gagliano M, Mancuso S, Robert D. 2012. Towards understanding plant bioacoustics. *Trends Plant Sci.* **17**: 323–325.
- Gagliano M, Mancuso S, Robert D. 2012a. Towards understanding plant bioacoustics. *Trends in Plant Science* **17**, 323–325.
- Gagliano M, Renton M, Duvdevani N, Timmins M, Mancuso S. 2012b. Acoustic and magnetic communication in plants : is it possible? *Plant Signaling & Behavior* **7**, 1346–1348.
- Gagliano M, Renton M, Duvdevani N, Timmins M, Mancuso S. 2012c. Out of sight but not of mind : alternative means of communications in plants. *PLoS One* **7**, e37382.
- Garstang M. 2004. Long-distance, low-frequency elephant communication. *J Comp Physiol A.* **190**: 791–805.
- Gersani M, Brown JS, O'Brien EE, Maina GM, Abramsky Z. 2001. Tragedy of the commons as a result of root competition. *J Ecol.* **89**: 660–669.
- Ghosh R et al., Exposure to sound vibrations lead to transcriptomic, proteomic and hormonal changes in Arabidopsis, *Sci. Rep.* **6** (2016) 33370.
- Ghosh R et al., Expression analysis of sound vibration-regulated genes by touch treatment in Arabidopsis, *Front. Plant Sci.* **8** (2017) 100.
- Godbole M. 2013. Does music affect plant growth ? [2013-3-6]. <http://www.buzzle.com/articles/does-music-affect-plant-growth.html>
- Grace G.E.Ja.J, Field measurements of xylem cavitation: are acoustic emissions useful? *J. Exp. Bot.* **47** (1996) 1643–1650.
- Gruntman M, Novoplansky A. 2004. Physiologically mediated self/non-self discrimination in roots. *Proc Natl Acad Sci USA.* **101**: 3863–3867.
- Gutbrodt B, Dorn S, Mody K. 2012. Drought stress affects constitutive but not induced herbivore resistance in apple plants. *Arthropod Plant Interact.* **6**: 171–179.

- Hassanien RHE, Hou TZ, Li YF, Li BM. 2014. Advances in effects of sound waves on plants. *Journal of Integrative Agriculture* **13**, 335–348.
- Hasson E, Poljakoff-Mayber A. 1983. Changes in osmolarity and solute content of pea plants exposed to salinity and abscisic acid. *Aust J Plant Physiol.* **10**: 573–583.
- Haswell ES, Meyerowitz EM. 2006. MscS- like proteins control plastid size and shape in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biology* **16** 1–11.
- Haswell ES, Phillips R, Rees DC. 2011. Mechanosensitive Channels : what can they do and how do they do it ? *Structure* **19**, 1356– 1369.
- Heil M, Ton J. 2008. Long-distance signalling in plant defence. *Trends Plant Sci.* **13**: 264–272.
- Heil M, Karban R, Explaining evolution of plant communication by airborne signals, *Trends Ecol. Evol.* **25** (3) (2010) 137–144.
- Helversen von D, Helversen von O, Acoustic guide in bat-pollinated flower, *Nature* **398** (6730) (1999) 759.
- Hepler PK. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. *Plant Cell* **17**, 2142–2155.
- Hewitt PG. 2002. Conceptual physics. San Francisco (CA): Addison Wesley.
- Holden C. 2004. The origin of speech. *Science.* **303**: 1316–1319.
- Hongbo, S., Biao, L., Bochu, W., Kun, T. and Yilong, L. 2008. A study on differentially expressed gene screening of Chrysanthemum plants under sound stress. *C R Biol.* **331**: 329–333.
- Horowitz, Leonard G., Puleo, Joseph, Barber, Joseph E., Healing Codes for the Biological Apocalypse, Tetrahedron Publishing LLC, 1999.
- Hou TZ, Li BM, Wang W, Teng GH, Zhou Q, Qi LR, Li YF. 2010. Influence of acoustic frequency technology on cotton production. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* **26**, 170–174.
- Howard J. 2009. Mechanical signaling in network of motor and cytoskeleton proteins. *Annu Rev Biophys.* **38**: 217–234.
- Hsiao TC, Plant responses to water stress, *Annu. Rev. Plant Physiol.* **24** (1) (1973) 519–570.
- Jackson GE, Grace J. 1996. Field measurements of xylem cavitation: are acoustic emissions useful? *J Exp Bot.* **47**: 1643–1650.
- Jiao Y, O.S. Lau, X.W. Deng, Light-regulated transcriptional networks in higher plants, *Nat. Rev. Genet.* **8** (3) (2007) 217–230.
- Jeong MJ, Cho JI, Park SH, Kim KH, Lee SK, Kwon TR, Park SC, Siddiqui ZS. 2014. Sound frequencies induce drought tolerance in rice plant. *Pakistan Journal of Botany* **46**, 2015–2020.
- Jeong MJ, Shim CK, Lee JO, Kwon HB, Kim YH, Lee SK, Byun MO, Park SC. 2008. Plant gene responses to frequency-specific sound signals. *Molecular Breeding* **21**, 217–226.
- Jia Y, Wang BC, Wang XJ, Duan CR, Yang XC. 2003. Effect of sound stimulation on roots growth and plasmalemma H⁺-ATPase activity of chrysanthemum (*Gerbera jamesonii*). *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **27**, 65–69.
- Johnson KA, Sistrunk ML, Polisensky DH, Braam J. 1998. *Arabidopsis thaliana* responses to mechanical stimulation do not require ETR1 or EIN2. *Plant Physiology* **116**, 643–649.
- Jones G. 2008. Sensory ecology: echolocation calls are used for communication. *Curr Biol.* **18**: R34–R35.
- Jülicher F. 2001. Mechanical oscillations at the cellular scale. *C R Acad Sci (Paris) Ser IV.* **6**: 849–860.
- Karban R. 2008. Plant behavior and communication. *Ecol Lett.* **11**: 727–739.
- Karban R, Baldwin IT, Baxter KJ, Laue G, Felton GW. 2000. Communication between plants: induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush. *Oecologia.* **125**: 66–71.
- Kennedy AD, Water as a limiting factor in the Antarctic terrestrial environment: a biogeographical synthesis, *Arct. Alp. Res.* **25** (4) (1993) 308–315.

- Khait I et al., Plants Emit Remotely Detectable Ultrasounds That Can Reveal Plant Stress *BIORXIV* 2018/507590, (2018).
- Kikuta SB, Lo Gullo MA, Nardini A, Richter H, Salleo S. 1997. Ultrasound acoustic emissions from dehydrating leaves of deciduous and evergreen trees. *Plant Cell Environ.* **20**: 1381–1390.
- Kim JY et al., Sound waves increases the ascorbic acid content of alfalfa sprouts by affecting the expression of ascorbic acid biosynthesis-related genes, *Plant Biotechnol. Rep.* **11** (5) (2017) 355–364.
- Kim J-Y, Lee J-S, Kwon T-R, Lee S-I, Kim J-A, Lee G-M, Park S-C, Jeong M-J. 2015. Sound waves delay tomato fruit ripening by negatively regulating ethylene biosynthesis and signaling genes. *Postharvest Biology and Technology* **110**, 43–50.
- Klein AM et al., Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* **274** (1608) (2007) 303–313.
- Klein RM, Edsall PC. 1965. On the reported effects of sound on the growth of plants. *BioScience.* **15**: 125–126.
- Kwon YS, Jeong MJ, Cha J, Jeong SW, Park SC, Shin SC, Chung WS, Bae H, Bae DW. 2012. Comparative proteomic analysis of plant responses to sound waves in Arabidopsis. *Journal of Plant Biotechnology* **39**, 261–272.
- Langbauer WR, Payne KB, Charif RA, Rapaport L, Osborn F. 1991. African elephants respond to distant playbacks of low- frequency conspecific calls. *J Exp Biol.* **157**: 35–46.
- Laschimke R, Burger M, Vallen H. 2006. Acoustic emission analysis and experiments with physical model systems reveal a peculiar nature of the xylem tension. *J Plant Physiol.* **163**: 996–1007.
- Leblanc-Fournier N, Martin L, Lenne C, Decourteix M. 2014. To respond or not to respond, the recurring question in plant mechanosensitivity. *Frontiers in Plant Science* **5**.
- Lee, D., Polisensky, D. H. & Braam, J. Genome-wide identification of touch- and darkness-regulated Arabidopsis genes: a focus on calmodulin-like and XTH genes. *The New phytologist* **165**, 429–444 (2005).
- Li B, Wei JM, Wei XL, Tang K, Liang YL, Shu KX, Wang BC. 2008. Effect of sound wave stress on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation of *Dendrobium candidum*. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **63**, 269–275.
- Lipton Bruce H. Ph.D., Hay House, 2008, The Biology of Belief: Unleashing the Power of Consciousness, Matter and Miracles.
- Liu YY, Takatsuki H, Yoshikoshi A, Wang BC, Sakanishi A. 2003a. Effects of ultrasound on the growth and vacuolar H⁺-ATPase activity of *Aloe arborescens* callus cells. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **32**, 105–116.
- Liu YY, Wang BC, Zhao HC, Duan CR, Chen X. 2001. Alternative stress effects on Ca²⁺ localization in *Chrysanthemum* callus cells. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **22**, 245–249.
- Liu YY, Yoshikoshi A, Wang BC, Sakanishi A. 2003b. Influence of ultrasonic stimulation on the growth and proliferation of *Oryza sativa* Nipponbare callus. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **27**, 287–293.
- Lopez F. 2004. Profound listening and environmental sound matter. In: Cox C, Warner D, editors. Audio culture: readings of modern music. New York (NY): *Continuum International Publishing Group*. p. 82–87.
- López-Ribera I, C.M. Vicent, Drought tolerance induced by sound in Arabidopsis plants, *Plant Signal. Behav.* **12** (10) (2017) p. e1368938.
- Matsushashi M, Pankrushina AN, Takeuchi S, Ohshima H, Miyoi H, Endoh K, Murayama K, Watanabe H, Endo S, Mano Y, et al. 1998. Production of sound waves by bacterial cells and the response of bacterial cells to sound. *J Gen Appl Microbiol.* **44**: 49–55.
- Mayr S, Rosner S, Cavitation in dehydrating xylem of *Picea abies*: energy properties of ultrasonic emissions reflect tracheid dimensions, *Tree Physiol.* **31** (1) (2011) 59–67.

- Mescher MC, De Moraes CM. 2015. Role of plant sensory perception in plant–animal interactions. *Journal of Experimental Botany* **66**, 425–433.
- Milburn JA, Johnson RPC. 1966. The conduction of sap II. Detection of vibrations produced by sap cavitation in *Ricinus* xylem. *Planta*. **69**: 43–52.
- Miller DL. 1983. The botanical effects of ultrasound: A review. *Environmental and Experimental Botany* **23**, 1–27.
- Mishra RC, and Grover A. 2014. Intergenic sequence between *Arabidopsis* caseinolytic protease B-cytoplasmic/heat shock protein100 and choline kinase genes functions as a heat-inducible bidirectional promoter. *Plant Physiology* **166**: 1646 – 1658 .
- Monshausen GB, Bibikova TN, Weisenseel MH, Gilroy S. 2009. Ca²⁺ regulates reactive oxygen species production and pH during mechanosensing in *Arabidopsis* roots. *Plant Cell* **21**, 2341–2356.
- Monshausen GB, Haswell ES, A force of nature: molecular mechanisms of mechanoperception in plants, *J. Exp. Bot.* **64** (15) (2013) 4663–4.
- Murphy GP, Dudley SA. 2007. Above- and below-ground competition cues elicit independent responses. *J Ecol.* **95**: 261–272.
- Murphy GP, Dudley SA. 2009. Kin recognition: competition and cooperation in *Impatiens* (Balsaminaceae). *Am J Bot.* **96**: 1990–1996.
- Nakajima, Y., Tanaka, N., Mima, T. and Izumi, S.I. 2016. Stress Recovery Effects of High- and Low-Frequency Amplified Music on Heart Rate Variability. *Behavioural Neurology*, Article ID: 5965894.
- Noy-Meir I, Desert ecosystems: environment and producers, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **4** (1) (1973) 25–51.
- Okada K, Moe PC, Blount P. 2002. Functional design of bacterial mechanosensitive channels – Comparisons and contrasts illuminated by random mutagenesis. *Journal of Biological Chemistry* **277**, 27682–27688.
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S, How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* **120** (3) (2011) 321–326.
- Osakabe Y et al., Response of plants to water stress, *Front. Plant Sci.* **5** (2014) 86.
- Pandey S, Zhang W, Assmann SM. 2007. Roles of ion channels and transporters in guard cell signal transduction. *FEBS Letter* **581**, 2325–2336.
- Paré PW, Tumlinson JH. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiol.* **121**: 325–331.
- Pelling AE, Sehati S, Gralla EB, Valentine JS, Gimzewski JK. 2004. Local nanomechanical motion of the cell wall of *Saccharomyces cerevisiae*. *Science*. **305**: 1147–1150.
- Peña J, Grace J. 1986. Water relations and ultrasound emissions of *Pinus sylvestris* before, during and after periods of water stress. *New Phytol.* **103**: 515–524.
- Perelman ME, Rubinstein GM. 2006. Ultrasound vibrations of plant cells membranes: water lift in trees, electrical phenomena. <http://arxiv.org/abs/physics/0611133>.
- Perks MP, Irvine J, Grace J. 2004. Xylem acoustic signals from mature *Pinus sylvestris* during an extended drought. *Ann Forest Sci.* **61**: 1–8.
- Pokorný J. 1999. Conditions for coherent vibrations in the cytoskeleton. *Bioelectrochem Bioenerg.* **48**: 267–271.
- Pottosin I, Velarde-Buendia AM, Bose J, Zepeda-Jazo I, Shabala S, Dobrovinskaya O. 2014. Cross-talk between reactive oxygen species and polyamines in regulation of ion transport across the plasma membrane: implications for plant adaptive responses. *Journal of Experimental Botany* **65**, 1271–1283.
- Qi L, Teng G, Hou T, Zhu B, Liu X. 2010. Influence of sound wave stimulation on the growth of strawberry in sunlight greenhouse. *Computer and Computing Technologies in Agriculture III* **317**, 449–454.

- Qin YC, Lee WC, Choi YC, Kim TW. 2003. Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures. *Ultrasonics* **41**, 407–411.
- Qiu GY, Okushima L, Sase S, Lee IB. 2002. Acoustic emissions in tomato plants under water stress conditions. *Jpn Agric Res Q.* **36**: 103–109.
- Raschi A, Mugnozsa GS, Surace R, Valentini R, Vazzana C. 1989. The use of ultrasound technique to monitor freezing and thawing of water in plants. *Agric Ecosyst Environ.* **27**: 411–418.
- Raschi A, Zipoli G, Galli L, Vazzana C. 1990. Ultrasound emissivity in corn submitted to water stress. *Acta Hort.* **278**: 325–332.
- Reguera G. 2011. When microbial conversations get physical. *Trends Microbiol.* **19**: 105–113.
- Rodrigo-Moreno A et al., Root phonotropism: early signaling events following sound perception in Arabidopsis roots, *Plant Sci.* **264** (2017) 9–15.
- Rosner S, Klein A, Wimmer R, Karlsson B. 2006. Extraction of features from ultrasound acoustic emissions: a tool to assess the hydraulic vulnerability of Norway spruce trunkwood? *New Phytol.* **171**: 105–116.
- Ross JJ, Weston DE, Davidson SE, Reid JB. 2011. Plant hormone interactions: how complex are they? *Physiol Plant.* **141**: 299–309.
- Rothrock J, The fertilization of flowering plants, *Am. Nat.* **1** (2) (1867) 64–72.
- Safari M, Ghanati F, Behmanesh M, Hajnorouzi A, Nahidian B, Mina G. 2013. Enhancement of antioxidant enzymes activity and expression of CAT and PAL genes in hazel (*Corylus avellana* L.) cells in response to low intensity ultrasound. *Acta Physiologiae Plantarum* **35**, 2847–2855.
- Saidi I, Ammar S, Demont-Caulet N, Thevenin J, Lapierre C, Bouzid S, Jouanin L. 2009. Thigmomorphogenesis in *Solanum lycopersicum*: Morphological and biochemical responses in stem after mechanical stimulation. *Plant Science* **177**, 1–6.
- Sanders D, Pelloux J, Brownlee C, Harper JF. 2002. Calcium at the crossroads of signaling. *Plant Cell* **14 Suppl**, S401–417.
- Schaefer HM, Schaefer V, Levey DJ, How plant–animal interactions signal new insights in communication, *Trends Ecol. Evol.* **19** (11) (2004) 577–584.
- Schoner MG, Schoner CR, Simon R, Grafe TU, Puechmille SJ, Ji LL, Kerth G. 2015. Bats are acoustically attracted to mutualistic carnivorous plants. *Current Biology* **25**, 1911–1916.
- Schroder, F., Lisso, J. & Mussig, C. EXORDIUM-LIKE1 promotes growth during low carbon availability in Arabidopsis. *Plant physiology* **156**, 1620–1630 (2011).
- Schussler EE, Olzak L. 2008. It's not easy being green: student recall of plant and animal images. *J Biol Educ.* **42**: 112–118.
- Scott-Phillips TC. 2007. Defining biological communication. *J Evol Biol.* **21**: 387–395.
- Shao HB, Li B, Wang BC, Tang K, Liang YL. 2008. A study on differentially expressed gene screening of Chrysanthemum plants under sound stress. *Comptes Rendus Biologies* **331**, 329–333.
- Sheen J. 1996. Ca²⁺-dependent protein kinases and stress signal transduction in plants. *Science* **274**, 1900–1902.
- Shin, R. et al. The Arabidopsis transcription factor MYB77 modulates auxin signal transduction. *Plant Cell* **19**, 2440–2453 (2007).
- Simon R, Holderied MW, Koch CU, von Helversen O. 2011. Floral acoustics: conspicuous echoes of a dish-shaped leaf attract bat pollinators. *Science* **333**, 631–633.
- Smith H. 2000. Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis. *Nature.* **407**: 585–591.
- Sistrunk, M. L., Antosiewicz, D. M., Purugganan, M. M. and Braam, J. 1994. Arabidopsis TCH encodes a novel Ca²⁺ binding protein and shows environmentally induced and tissue specific regulation. *Plant Cell* **6**: 1553–1565.

- Takahashi H, Suge H, Kato T. 1992. Growth promotion by vibration at 50 Hz in rice and cucumber seedlings. *Plant Cell Physiol.* **32**: 729–732.
- Tao Y, Ferrer JL, Ljung K, Pojer F, Hong F, Long JA, Li L, Moreno JE, Bowman ME, Ivans LJ, et al. 2008. Rapid synthesis of auxin via a new tryptophan-dependent pathway is required for shade avoidance in plants. *Cell.* **133**: 164–176.
- Telewski FW. 2006. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. *American Journal of Botany* **93**, 1466–1476.
- Trewavas A. 2003. Aspects of plant intelligence. *Ann Bot.* **92**: 1–20.
- Trewavas A. 2009. What is plant behaviour? *Plant Cell Environ.* **32**: 606–616.
- Trewavas AJ, Malho R. 1997. Signal perception and transduction: the origin of the phenotype. *Plant Cell* **9**, 1181–1195.
- Trick HN, Finer JJ. 1997. SAAT: sonication-assisted Agrobacterium mediated transformation. *Transgenic Research* **6**, 32.
- Turin L., 2009. Colin McClare (1937–1977): a tribute. *Journal of Biological Physics* **35**:9-15
- Tyree MT, Sperry JS. 1989. Characterization and propagation of acoustic emission signals in woody plants: towards an improved acoustic emission counter, *Plant Cell Environ.* **12** (4) (1989) 371–382.
- Tyree MT, Sperry JS. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* **40**: 19–38.
- Uchida A, Yamamoto KT. 2002. Effects of mechanical vibration on seed germination of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Plant and Cell Physiology* **43**, 647–651.
- Walker SF. 1998. Animal communication. In: Mey JL, editor. Concise encyclopedia of pragmatics. Amsterdam: Elsevier. p. 26–35.
- Wang BC, Chen X, Wang Z, Fu QZ, Zhou H, Ran L. 2003a. Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **32**, 29–34.
- Wang BC, Shao JP, Biao L, He L, Duan CR. 2004. Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the Chrysanthemum mature callus. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **37**, 107–112.
- Wang BC, Yoshikoshi A, Sakanishi A. 1998. Carrot cell growth in a stimulated ultrasonic environment. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **12**, 89–95.
- Wang BC, Zhang J, Li B, Wang DH, Duan CR. 2005. Study of mRNA expression of *Arabidopsis thaliana* under stimulation using modified differential display RT-PCR with silver staining. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **40**, 31–34.
- Wang BC, Zhao HC, Duan CR, Sakanishi A. 2002. Effects of cell wall calcium on the growth of Chrysanthemum callus under sound stimulation. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **25**, 189–195.
- Wang XJ, Wang BC, Jia Y, Huo DQ, Duan CR. 2003b. Effect of sound stimulation on cell cycle of chrysanthemum (*Gerbera jamesonii*). *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **29**, 103–107.
- Ward S, Lampe HM, Slater PJB. 2004. Singing is not energetically demanding for pied flycatchers, *Ficedula hypoleuca*. *Behav Ecol.* **15**: 477–484.
- Wei M, Yang CY, Wei SH. 2012. Enhancement of the differentiation of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* to shoots by ultrasound treatment. *Journal of Plant Physiology* **169**, 770–774.
- Weinberger P, Burton C. 1981. The effect of sonication on the growth of some tree seeds. *Can J For Res.* **11**: 840–844
- White PJ, Broadley MR. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany* **92**, 487–511.
- Wiley RH. 1983. The evolution of communication: information and manipulation. In: Halliday TR, Slater PJB, editors. *Animal behaviour, Vol. 2, communication*. Oxford (UK): Blackwell Scientific. p. 156–189.

- Wiley RH, Richards DG. 1978. Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalizations. *Behav Ecol Sociobiol.* 3:6.
- Wolkerstorfer SV, Rosner S, Hietz P, An improved method and data analysis for ultrasound acoustic emissions and xylem vulnerability in conifer wood, *Physiol. Plant.* **146** (2) (2012) 184–191.
- Xiaocheng Y, Bochu W, Chuanren D, Effects of sound stimulation on energy metabolism of *Actinidia chinensis* callus, *Colloids Surf. B Biointerfaces* **30** (1–2) (2003) 67–72.
- Xiujuan W et al., Effect of sound stimulation on cell cycle of chrysanthemum (*Gerbera jamesonii*), *Colloids Surf. B Biointerfaces* **29** (2–3) (2003) 103–107.
- Xiujuan W et al., Effects of sound stimulation on protective enzyme activities and peroxidase isoenzymes of chrysanthemum, *Colloids Surf. B Biointerfaces* **27** (1) (2003) 59–63.
- Xiujuan W et al., Effect of sound wave on the synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum, *Colloids Surf. B Biointerfaces* **29** (2–3) (2003) 99–102.
- Yang XC, Wang BC, Duan CR. 2003. Effects of sound stimulation on energy metabolism of *Actinidia chinensis* callus. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **30**, 67–72.
- Yi J, Bochu W, Xiujuan W, Chuanren D, Toyama Y, Sakanishi A. 2003a. Influence of sound wave on the microstructure of plasmalemma of chrysanthemum roots. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **29**, 109–113.
- Yi J, Wang BC, Wang XJ, Wang DH, Chuanren D, Toyama Y, Sakanishi A. 2003b. Effect of sound wave on the metabolism of chrysanthemum roots. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **29**, 115–118.
- Yiyao L et al., Effects of sound field on the growth of *Chrysanthemum* callus, *Colloids Surf. B Biointerfaces* **24** (3–4) (2002) 321–326.
- Zhao HC, Wang BC, Liu BA, Cai SX, Xi BS. 2002a. The effects of sound stimulation on the permeability of K⁺ channel of *Chrysanthemum* Callus plasma. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **26**, 329–333.
- Zhao HC, Wu J, Xi BS, Wang BC. 2002b. Effects of sound-wave stimulation on the secondary structure of plasma membrane protein of tobacco cells. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **25**, 29–32.
- Zhao HC, Wu J, Zheng L, Zhu T, Xi BS, Wang BC, Cai SX, Wang YN. 2003. Effect of sound stimulation on *Dendranthema morifolium* callus growth. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **29**, 143–147.
- Zhao HC, Zhu T, Wu J, Xi BS. 2002c. Role of protein kinase in the effect of sound stimulation on the PM H⁺-ATPase activity of *Chrysanthemum* callus. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* **26**, 335–340.
- Zimmerman MH. 1983. Xylem structure and the ascent of sap. *New York (NY): Springer.*
- Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Haase A. 2004. Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytol.* **162**: 575–615. © The Author 2013. Published by Oxford University Press on behalf of the International Society for Behavioral Ecology.
- Zweifel R, Zeugin F. 2008. Ultrasonic acoustic emissions in drought-stressed trees--more than signals from cavitation? *New Phytologist* **179**, 1070–1079.

9.ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

Earcare:

www.youtube.com/watch?V=2LMFIUdpBak

Πως λειτουργεί το ανθρώπινο αυτί:

<https://www.youtube.com/watch?v=YWMhKq3aRNY>

Sound Transduction:

<http://www.sumanasinc.com/>

Αισθητικό σύστημα:

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1

Αμυγδαλή - η έδρα των συναισθημάτων και του πάθους:

<https://www.healthyliving.gr/2016/05/24/amygdalh-egkefalos/>

Η επιστήμη του ήχου:

<https://www.klik.gr/el/epistimi/i-epistimi-tou-ichou/>

Η ετυμολογία της λέξης μουσική:

<https://www.facebook.com/musicisnetwork/posts/1472757392985292/>

Η ετυμολογία της λέξης μουσική:

http://odeioopera.blogspot.com/2014/06/blog-post_6227.html

Μουσική:

<http://www.peemde.gr/portal/index.php>

Ήχος:

<https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%89%CF%87%CE%BF%CF%82>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%87%CE%BF%CF%82>

Κύμα:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BC%CE%B1>

Βασικές έννοιες και παράμετροι του θορύβου:

<https://elinyae.gr/themata-yae/thorybos/page/basikes-ennoies-kai-parametroi-toy-thoryboy>

Τι είναι η επικοινωνία για τα ζώα:

<https://www.kynagon.gr/kynagon-blog/item/474-ti-einai-epikoinonia-gia-ta-zoa>

Πως να επικοινωνούν μεταξύ τους τα ζώα' η γλώσσα, η κίνηση:

<https://el.delachieve.com/%CF%80%CF%8E%CF%82-%CE%BD%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%BF%CF%8D%CE%BD-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BE%CF%8D-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82-%CF%84%CE%B1-%CE%B6%CF%8E%CE%B1/>

Οι γλώσσες των ζώων' ένας ξεχωριστός κώδικας:

<https://www.maxmag.gr/politismos/glossa/oi-quot-glosses-quot-ton-zoon-enas-xechoristos-kodikas/>

432Hz vs 440Hz : μύθοι & αλήθειες:

<http://alive.gr/gr/recording/item/4569-432hz-vs-440hz-%CE%BC%CF%8D%CE%B8%CE%BF%CE%B9-%CE%B1%CE%BB%CE%AE%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82.html>
<https://www.healingfields.pl/czestotliwosci-solfeggio-harmonia-ciala-i-ducha/>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550830718302763>

Γιάννης Πετρίδης :

<https://www.athensvoice.gr/contributors/giannis-petridis>

Ρυθμιστές του κυτταρικού κύκλου :

<https://www.khanacademy.org/science/biology/cellular-molecular-biology/stem-cells-and-cancer/a/cell-cycle-regulators>

Κυτταρικός κύκλος, η Φάση ηρεμίας :

<https://www.xn--mxaafdcskbbdjf5cbbqjk8acaf.gr/2019/08/03/%CE%BF-%CE%BA%CF%85%CF%84%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%83-%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%83-%CE%B7-%CF%86%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CE%B7%CF%81%CE%B5%CE%BC%CE%B9%CE%B1%CF%83-%CE%BA%CE%B1%CE%B9/>

Η ρύθμιση του κυτταρικού κύκλου :

<http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SEYC170/%CE%9A%CF%85%CF%84%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CE%BA%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%82.pdf>

Κυτταρικός κύκλος :

http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SEYC170/Cooper_chapter%2016%20%CE%9A%CF%85%CF%84%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CE%BA%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%82.pdf
<https://docplayer.gr/1048977-Kefalaio-9-o-kyttarikos-kuklos.html>

Η επιστήμη της Κυματικής :

<http://www.cymaticssource.com>
<http://cymascope.com>
<http://www.cymatics.org>
<http://www.healingsounds.com/cymatic-research-3>
https://www.youtube.com/watch?v=Q3oItpVa9fs&ab_channel=NigelJohnStanford

Συμπαντικές συχνότητες :

<https://anagennisi.shop/ixoterapeia-syxnotites-doniseis-Hz>
<https://www.filosofikilithos.gr/doniseis-amp-sychnotites/>

Τσάκρας :

<https://anagennisi.shop/i-klimaka-Solfeggio-kai-ta-chakras>
<file:///C:/Users/HP%20User/Desktop/the-role-of-musical-notes-and-color-frequencies-for-balancing-chakras-in-the-human-body.pdf>

Μηχανοϋποδοχείς :

https://www.researchgate.net/figure/Mechanoreceptors-can-operate-at-several-distinct-scales-a-Mechanosensitive-ion-channels_fig3_318432408

10.ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 : <https://physiquiz.gr/tag/%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%AC%CF%81%CF%83%CE%B9%CE%B1/>

Εικόνα 2 : <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%85%CF%84%CE%AD%CF%81%CF%80%CE%B7>

Εικόνα 3 : <https://learn-era.gr/>

Εικόνα 4 : <https://www.psychografimata.com/i-spira-tis-thetikis-energias/>
<https://www.olabisi.gr/2019/01/simasia-tou-symboloy-tis-speiras.html>

Εικόνα 5 : <https://el.green-ecolog.com/15340077-caring-for-the-venus-flytrap>

Εικόνα 6 – 9 : The American Biology Teacher, Volume **81**, NO. 7, SEPTEMBER 2019

Εικόνα 10 : Jung et al., 2018, Front.Plant.Sci.**9** :25

Εικόνα 11 : I Khait et al, Seminars in Cell and Developmental Biology **92** (2019) 134-138

Εικόνα 12 : Reda H E Hassanien, Journal of Integrative Agriculture 2014, **13**(2): 335-348

Εικόνα 13 : Behavioral Ecology, Gagliano, Sound-based communication in plants

Εικόνα 14 : I Khait et al, Seminars in Cell and Developmental Biology **92** (2019) 134-138

Εικόνα 15 : <https://botanyphoto.botanicalgarden.ubc.ca/2014/11/mucuna-holtonii/>

Εικόνα 16 : I Khait et al, Seminars in Cell and Developmental Biology **92** (2019) 134-138)

Εικόνα 17 : Mishra et al., Acoustic responses in plants, Journal Experimental Botany, Vol.**67**, No. 15 pp. 4483-4494, 2016)

Εικόνα 18 : <https://docplayer.gr/125837216-Eleghos-kyttarikoy-kykloy-apoptosi-pefani-dafni-epikoyri-kathigitria-iatriki-sholi-ekpa-mihalakopoyloy-176-1-os-orofos.html>

Εικόνα 19 : Scientific Reports 6 : 33370 DOI: 10.1038/srep33370

Εικόνα 20 : Scientific Reports 6 : 33370 DOI: 10.1038/srep33370