Utjecaj različitih frekvencija zvuka na rast i klijanje biljke graha

Nika Baričić, 4. razred
Marina Margetić, 4. razred

V. gimnazija, Zagreb
Mentor: *Romana Halapir Franković*

SAŽETAK
Ovim istraživanjem nastojao se proučiti utjecaj različitih frekvencija zvuka na klijanje i rast biljke graha *(Phaseolus vulgaris* L.). 60 sjemenki podijeljeno je u 6 skupina (od kojih je jedna bila kontrolna) te je svakoj skupini puštana odgovarajuća frekvencija zvuka (20, 100, 1000, 10 000 i 20 000 Hz). Svaka se skupina sastojala od dviju teglica te su one svaki dan bile odnesene u izoliranu prostoriju u kojoj im je puštana odgovarajuća frekvencija na 60 minuta. Rezultati su pokazali da frekvencija od 1000 Hz potiče klijanje sjemenke graha. Početna hipoteza da će niže frekvencije zvuka bolje utjecati na rast je opovrgnuta, no došlo je do metodološkog nedostatka; kontrolna skupina najbolje je rasla jer nije bila premještana tijekom istraživanja. Ako se kontrolna skupina ne uzima u obzir, više frekvencije bolje utječu na rast graha te je ustanovljeno da valna duljina optimalne frekvencije za rast biljaka odgovara širini njegovog lišća.

Ključne riječi: *bioakustika; valna duljina; visina biljke; širina lista; razvoj biljke graha*

UVOD

Zvuk je česti način komunikacije u živom svijetu, pa tako i ponekad kod biljaka. Saznali smo da mogu prepoznati zvuk zujanja pčela (frekvencija 250-300Hz) i drugih oprašivača te stoga proizvesti nektar veće slatkoće (Veits i sur., 2019), što nas je potaklo na istraživanje.

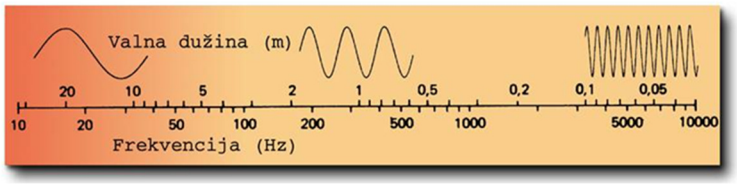
Biostimulatori su proizvodi koji sadrže prirodne ili sintetičke tvari koje poboljšavaju fiziološke procese biljaka, čime se povećava njihova otpornost na stres, učinkovitost upotrebe hranjivih tvari i opći rast. Za razliku od klasičnih gnojiva koja opskrbljuju biljke hranjivim tvarima, biostimulatori djeluju na procese unutar biljaka, poboljšavajući njihovu sposobnost iskorištavanja dostupnih resursa i suočavanja s nepovoljnim uvjetima (Vitakemija, 2025). Dok su čimbenici poput vode, zraka, tla, temperature i dr. poznati i proučavani, postoji malo istraživanja o utjecaju zvuka na rast biljaka.

Zvuk je mehanički val te se širi prenošenjem poremećaja elastičnog medija, to jest titranjem čestica koje čine medij. Kažemo da zvuk ima frekvencije u rasponu od 20 Hz do 20 kHz, odnosno u rasponu u kojem ga čuje ljudsko uho. Frekvencije ispod 20 Hz naziva se infrazvukom, a zvuk iznad 20 kHz jest ultrazvuk. Zvuk nastaje periodičnim titranjem izvora zvuka koji u neposrednoj okolici mijenja tlak medija, poremećaj tlaka prenosi se na susjedne čestice medija i tako se širi u obliku uglavnom longitudinalnih valova u plinovima i tekućinama i longitudinalnih i transverzalnih valova u čvrstim tvarima. Zvuk se širi bez prijenosa mase, ali se zvukom prenose impulsi i energija. Valna duljina (λ) najkraća je udaljenost između dviju točaka koje titraju u fazi (slika 1). Jedan puni val ujedno predstavlja i jedan puni titraj čestice, a broj valova koji u sekundi prođu nekim mjestom naziva se frekvencijom tog vala (Hrvatska enciklopedija, 2013).

Zvuk putujući stvara valove kompresije i regresije tlaka. Kompresija rezultira pozitivnim tlakom (iznad atmosferskog), a regresija negativnim (ispod atmosferskog) i predstavlja se kao sinusoidna varijacija tlaka zraka. Brzina čestice proporcionalna je zvučnom tlaku. Čestice medija zvuka giba se po površini lista te ono stvara ribanje ili djelovanje četkanja po površini lista koje briše ustajali film vlage i olakšava

Autori zadržavaju autorska prava te časopisu daju pravo prvog objavljivanja rada u skladu s licencijom CC BY 4.0, koja dopušta drugima dijeljenje rada uz navođenje autorstva i izvornog mjesta objavljivanja rada u časopisu.

biljci transpiraciju i omogućava brži ulazak CO2 što utječe na proces fotosinteze (Collins i Foreman, 2001).



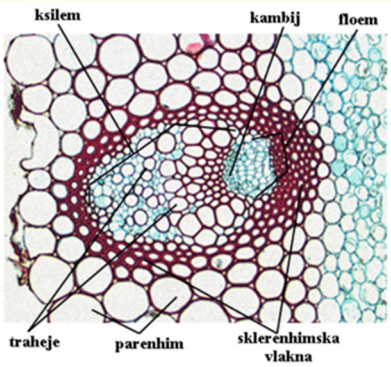
Slika 1 Valne duljine različitih frekvencija
Izvor: Audiologs, 2025.

Grah (*Phaseolus vulgaris* L.) biljka je koja raste na toplim područjima. Minimalna temperatura potrebna za klijanje je 10 do 12 °C, a idealna je oko 22 °C. Mlade biljke su osjetljive na niske temperature pa stradaju već na temperaturama manjima od -0,5 °C. Grahu treba mnogo svjetlosti, pogotovo u prvih 7 dana kad sjemenka klije te mu je potrebna velika količina vode (Gospodarski list, 2025). Biljka graha posjeduje tri tipa listova. Prvi su kotiledoni, zatim prvi par listova i treći tip su ostali listovi odrasle biljke. Prvi listovi su jednostavno građeni i nasuprotno položeni. Pravi listovi (slika 2) odnosno listovi odrasle biljke mogu biti složeni, sastavljeni iz tri liske na kratkim peteljkama od kojih je srednja liska nešto jače razvijena. Listovi se pojavljuju naizmjenično na stabljici, a liske po obliku mogu biti ovalne, romboidne, izdužene i slično. A njihova površina je prekrivena finim dlačicama (Golubov, 2018).



Slika 2 Izgled pravog lista graha
Izvor: Golubov, 2018.

Provodno (žilno) tkivo u biljaka (slika 3) sastoji se od dvije vrste provodnih elemenata. Jedan dio je ksilem, drveni dio žile kojeg čine mrtvi elementi koji provode vodu. Drugi dio je floem, živi dio koji provodi produkte fotosinteze (Strasburger i sur., 1978).



Slika 3 Poprečni presjek kroz stabljiku dvosupnice
Izvor: Botanic.hr, 2025

Način komunikacije među biljkama nije dovoljno istražen, no poznato je da biljke proizvode spontano zvuk relativno niskih frekvencija 50 Hz – 120 Hz ovisno o stadiju rasta i situaciji u kojoj se nalaze. Naime, biljke izložene stresu od suše doživljavaju kavitaciju – proces u kojem zračni mjehurići nastaju, šire se i rasprsnu se u ksilemu, mrtvom provodnom elementu, uzrokujući vibracije (Cochard i sur., 2013).

Zvučni valovi utječu na stanični ciklus biljke, vibraciju lišća i protoplazmatsko kretanje u stanicama biljke, te poboljšanje procesa fotosinteze (Xiujuan i sur., 2003).

Zvuk stimulira otvaranje puči lista te se time povećava učinkovitost upijanja tvari preko lista (Carlson, 2013). Dokazano je da zvučna stimulacija snižava potrebu za kemijskim gnojivima i pesticidima (15 - 25%), povećava otpornost na bolesti te da može poslužiti kao herbicid (Hassanien i sur., 2014).

U dosad provedenim istraživanjima dokazano je da drukčije frekvencije zvuka imaju različit utjecaj na rast biljaka, ali nije ustanovljeno da nužno vrlo visoke frekvencije najbolje utječu na rast biljke, već da postoji optimalna frekvencija za svaku biljku (Collins i Foreman, 2001).

Ciljevi istraživanja:

1. Utvrditi kako promjena visine frekvencije zvuka kojoj su izložene biljke graha utječe na njihov rast i razvoj.
2. Odrediti optimalnu frekvenciju zvuka, to jest optimalni raspon frekvencija zvuka za ubrzani rast i razvoj biljke graha.
3. Istražiti koja je granica između pozitivnog djelovanja (ubrzavanja rasta) te negativnog djelovanja (usporavanja rasta) frekvencija na biljku graha.

S obzirom na saznanje da biljke mogu spontano proizvoditi zvuk frekvencije 50 – 120 Hz, glavna hipoteza ovog istraživanja jest da će niže frekvencije ubrzati klijanje i rast te da će biljke u tim skupinama imati veću površinu plojki od biljaka u skupinama tretiranim višim frekvencijama.

METODE

Tijekom istraživanja praćen je rast običnog graha (*Phaseolus vulgaris* L.) koji je odabran su zbog lake dostupnosti, nezahtjevnosti brige i brzog klijanja.

Istraživanje je provedeno na 60 sjemenki graha podijeljenih u 6 skupina po 10 sjemenki od čega je jedna skupina kontrolna. Svaka skupina sastojala se od dvije teglice (60 x 15 x 15; 40 x 15 x 15) u kojima je bilo po 5 sjemenki. Svaka od 5 skupina bila je izložena jednoj od izabranih frekvencija zvuka (20, 100, 1000, 10 000 i 20 000 Hz). Frekvencije od 20 i 20 000 Hz odabrane su kao ekstremi spektra koje čuje ljudsko uho. Biljke mogu spontano proizvoditi frekvencije u rasponu 50 – 120 Hz (Cochard i sur., 2013) te je stoga odabrana frekvencija od 100 Hz za jednu od skupina. Odabrane frekvencije (pronađene na YouTube-u) po skupinama bile su raspoređene kao:
1. skupina - 20 Hz, λ = 17 m (https://www.youtube.com/watch?v=riVal-VBLzg)
2. skupina - 100 Hz, λ = 3 m (https://www.youtube.com/watch?v=Cdi0jQtMqV8)
3. skupina - 1000 Hz, λ = 34 cm (https://www.youtube.com/watch?v=TbPh0pmNjo8)
4. skupina - 10 000 Hz, λ = 3,4 cm (https://www.youtube.com/watch?v=y412fwrht3E)
5. skupina - 20 000 Hz, λ = 1,7 cm (https://www.youtube.com/watch?v=0DyVytR5aO4)
kontrolna skupina – nije bila izložena frekvencijama.

Sjemenke su preko noći ostavljene u vodi iz slavine sobne temperature te su sljedeći dan posađene. Teglice su napunjene do polovine visine zemljom za biljke marke *Compo* (kupljene u *Bauhausu*). Sastav korištene zemlje: 200 – 450 mg/L topivi dušik (N) ($CaCl_2$), 200 – 500 mg/L topivog fosfornog pentoksida (P_2O_5) (CAL), 300 – 600 mg/L topljivog kalijevog oksida (K_2O) (CAL).

Smještene su u izoliranoj prostoriji u podrumu škole sobne temperature (20 °C). Svaki dan prostorija se provjetravala dva sata. Budući da u toj prostoriji nema dovoljno sunčeve svjetlosti, kao zamjenu za nju korištene su tri LED žarulje jačine 600 lm jer je utvrđeno da biljke graha izložene svjetlosti LED

žarulja jačine oko 1800 lm rastu najsličnije biljkama graha koje rastu na sunčevoj svjetlosti (u usporedbi s ostalim umjetnim izvorima svjetlosti (Periša, 2018)). Žarulje su postavljene na 60 cm visine od dna teglica te su ravnomjerno postavljene s obzirom na teglice. Rasvjeta je bila uključena preko noći (kako bi se preko dana mogle puštati frekvencije) 9 sati jer je danje svjetlo u ovo doba godine (veljača) prosječno dugo 9 sati (Zvjezdarnica Zagreb, 2025).



Slika 4 Postav teglica i žarulja u školskom podrumu



Slika 5 Led žarulje korištene tijekom istraživanja
Izvor: Bauhaus, 2025

Dok nisu proklijale, sve sjemenke su zalijevane s 5 mL vode iz slavine svaki dan, a nakon klijanja prema potrebi. Svaka skupina bila je jednako zalijevana.

Svaki su dan skupine, jedna po jedna, bile udaljene od ostalih (odnesene u drugu prostoriju i postavljene u ormarić) te su bile izložene određenoj frekvenciji zvuka, ovisno o skupini, na 60 minuta. Ormarić je iznutra obložen stiroporom i pokriven dekama kako bi se smanjio utjecaj zvukova iz okoline na biljke. Za puštanje frekvencija korišten je prijenosni bluetooth zvučnik Sony SRS-XB10 na jačini od 60 dB koji je postavljen u isti ormarić, pokraj teglica.

Rast biljaka praćen je 21 dan. Visina stabljike prvi je put izmjerena nakon 7 dana te je nakon toga mjerena svaka tri dana te je izračunata prosječna vrijednost visine po skupinama. Pri svakom mjerenju visine prebrojane su proklijane sjemenke te izračunat postotak. Također je na svaki dan mjerenja zabilježeno kojim biljkama su narasla prva dva i kojima prvi pravi listovi.

Zadnji dan istraživanja odrezani su prvi par listova i prvi pravi listovi sa svake stabljike te im je izmjerena površina plojki preko programa *SketchAndCalc Area Calculator*. Određena je prosječna vrijednost površine plojki prvog para listova po stabljici i ukupna prosječna površina plojki zbroja površina prvih pravih listova. Iz tih podataka izračunate su prosječne vrijednosti po skupinama. Nakon prikupljenih podataka napravljen je ANOVA test te Tukey HSD post hoc analiza kojim je utvrđeno između kojih skupina se nalazi statistički značajna razlika. Za značajnu razliku uzeta je p-vrijednost manja od 0,05. Navedena statistička obrada provedena je preko stranice *Social Science Statistics* (Social Science Statistics, 2025).

REZULTATI

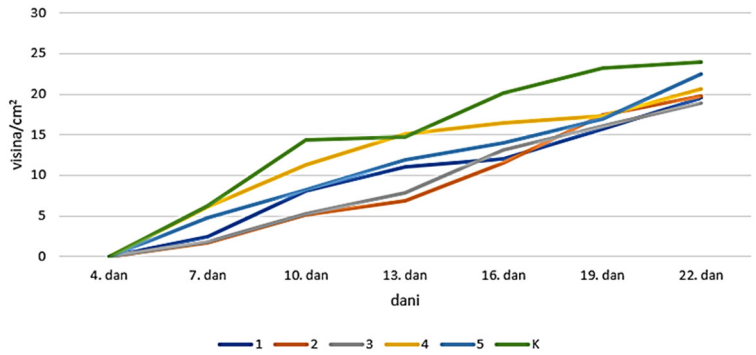
Dobiveni rezultati ne potvrđuju hipotezu da će niže frekvencije ubrzati rast biljke graha jer su bolji utjecaj na rast graha imale više frekvencije. U tablici 1 prikazan je postotak proklijalih sjemenki po skupinama kroz dane.

Tablica 1 Postotak proklijalih sjemenki po skupinama kroz dane

	7. dan	10. dan	13. dan	16. dan	19. dan	22. dan
1. skupina	75%	87%	87%	100%	100%	100%
2. skupina	85%	85%	85%	85%	85%	100%
3. skupina	90%	100%	100%	100%	100%	100%
4. skupina	71%	100%	100%	100%	100%	100%
5. skupina	88%	100%	100%	100%	100%	100%
kontrola	88%	88%	100%	100%	100%	100%

Na slici 6 prikazana je promjena visine biljaka kroz dane po skupinama u centimetrima. Za svaku skupinu izračunata je prosječna visina po danu svaka tri dana. Vidljivo je kako je kontrolna skupina imala najbolji rast, a 3. skupina (1000 Hz) najslabiji. Među ispitanim skupinama najviše je u visinu narasla 5. skupina kojoj se puštala frekvencija od 20 000 Hz. Uočljivo je kako brzine rasta po skupinama nisu konstantne i nisu proporcionalni s visinom frekvencije zvuka, već su promjenjive.

U početku je najviše rasla 4. skupina kojoj je puštana frekvencija od 10 000 Hz, valne duljine 3,4 cm, dok je nakon 20. dana naglo narasla 5. skupina kojoj se puštao zvuk frekvencije 20 000 Hz, valne duljine 1,7 cm. Ovi rezultati u skladu su sa zaključkom Collinsa i Foremana (2001) da najbolje rastu skupine izložene frekvencijama valnih duljina koje su jednake prosječnoj širini lista (koja je u njihovom eksperimentu određena prema površini lista kontrolne skupine). U našem istraživanju, unutar perioda od 7. dana do 13. dana 4. skupina ima najveću visinu (jer valna duljina frekvencije odgovara prosječnoj širini lista).



Slika 6 Promjena prosječne visine biljaka u cm po skupinama tijekom dana

Pojavom prvih pravih listova 5. skupini frekvencija od 20 000 Hz postaje optimalna te joj se rast naglo ubrzava. Između 19. i 22. dana brzina rasta 5. skupine nastavlja se povećavati, a u podatcima 4. skupine pojavljuje se blagi porast brzine jer je jednoj od biljaka 19. dana izrastao prvi par listova koji je povećao prosječnu visinu skupine. Također, 4. i 5. skupina imale su najveću brzinu rasta prvih dvaju i prvih pravih listova. Ostalim skupinama nije moguće pronaći pravilnost u rezultatima prosječne visine s obzirom na to da im valne duljine frekvencija kojima su bile izložene nikada nisu odgovarale širini lišća.
U tablici 2 prikazan je udio biljaka po skupinama kojima su izrasli prva dva lista istraživanja, a u tablici 3 prikazan je udio biljaka po skupinama kojima su izrasli prvi pravi listovi tijekom istraživanja.

Tablica 2 Postotak biljaka po skupinama kojima su izrasla prva dva lista

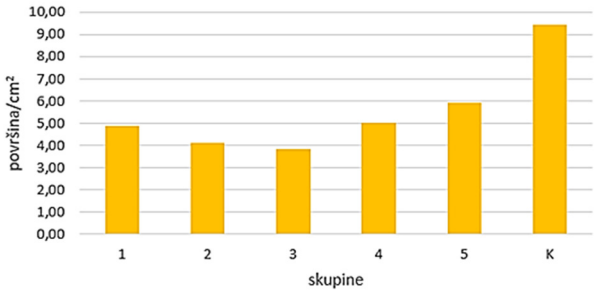
	7. dan	10. dan	13. dan	16. dan	19. dan	22. dan
1. skupina	0%	25%	50%	75%	87.5%	100%
2. skupina	0%	29%	29%	71%	86%	86%
3. skupina	0%	20%	30%	80%	80%	80%
4. skupina	14%	57%	71%	86%	100%	100%
5. skupina	22%	44%	67%	89%	100%	100%
kontrola	22%	56%	67%	100%	100%	100%

Tablica 3 Postotak biljaka po skupinama kojima su izrasli prvi pravi listovi

	7. dan	10. dan	13. dan	16. dan	19. dan	22. dan
1. skupina	0%	12.5%	12.5%	37.5%	37.5%	37.5%
2. skupina	0%	0%	0%	14%	14%	29%
3. skupina	0%	10%	20%	20%	30%	30%
4. skupina	0%	14%	43%	57%	57%	57%
5. skupina	0%	11%	22%	22%	44%	44%
Kontrola	0%	33%	33%	56%	56%	56%

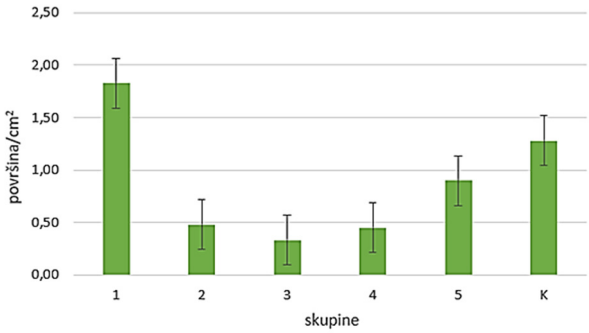
U kontrolnoj skupini našeg istraživanja prosječna širina plojki prvog para listova iznosila je 4,75 cm što je najbliže valnoj duljini zvuka frekvencije 10 000 Hz, no prosječna širina plojki prvih pravih listova izraslih oko 20. dana istraživanja iznosila je 1,13 cm što je najbliže valnoj duljini zvuka frekvencije 20 000 Hz Iz navedenog se može zaključiti da je optimalna frekvencija zvuka za rast biljke graha promjenjiva s obzirom na stadij rasta i broju listova. Slične rezultate navode Hassanien i sur. (2014) u svojem pregledu literature utjecaja zvučnih valova na različite parametre rasta biljke u različitim fazama rasta).

Najveću prosječnu površinu prvog para listova po stabljici imala je kontrola skupina, a zatim peta skupina (slika 7). Najmanju površinu imala je treća skupina.



Slika 7 Ukupna prosječna površina plojki prvog para listova stabljici u cm² po skupinama

Slično prvom paru listova, treći, prvi pravi listovi imali su najveću površinu u kontrolnoj skupini, a zatim u petoj skupini (Slika 8). Najmanju površinu imali su listovi u trećoj skupini.



Slika 8 Ukupna prosječna površina plojki prvih pravih listova u cm² po skupinama

RASPRAVA

Prema dobivenim rezultatima vidljivo je kako je 3. skupina, kojoj je puštana frekvencija od 1000 Hz, najbrže klijala. U pregledu literature Hassanien i sur. (2014) navodi se kako frekvencije raspona 400 – 800 Hz ubrzavaju klijanje što je u skladu s dobivenim rezultatima. Hipoteza da će biljke izložene nižim frekvencijama imati lišće veće površine također nije potvrđena, naprotiv, istraživanje je pokazalo suprotno. Biljke izložene višim frekvencijama imaju veću površinu plojki. Pretpostavlja se da je kontrolna skupina najbolje rasla jer je ona jedina skupina koja je tijekom cijelog istraživanja bila u jednoj prostoriji. Ostale su teglice stepenicama nošene u drugu prostoriju što je dovelo do mehanički uzrokovanog stresa i usporilo njihov rast (Biddington, 1986). Smatra se da su ispitane skupine od početka trebale biti u odvojenim prostorijama ili komorama, kao što je učinjeno u radu Collinsa i Foremana (2001), pod jednakim uvjetima kako bi se izbjegao stres. Naime, takvi uvjeti nisu mogli biti omogućeni jer je istraživanje provedeno u školskim uvjetima i u ograničenom prostoru. Na rezultate su još mogli utjecati građevinski radovi i proizvedene buke za vrijeme istraživanja. ANOVA testom dobivene se statistički neznačajne p-vrijednosti zbog nedovoljnog broja uzoraka za pravilnu statističku

obradu podataka. Na temelju dobivenih rezultata, pod uvjetom da zanemarimo kontrolnu skupinu, može se zaključiti da više frekvencije zvuka bolje utječu na rast i razvoj graha.

ZAKLJUČCI

Na osnovi provedenog istraživanja izvedeni su sljedeći zaključci:

- valna duljina optimalne frekvencije za rast biljaka odgovara širini njegovog lišća;
- optimalna frekvencija ovisi o stadiju rasta biljke;
- niže frekvencije bolje utječu na klijanje graha;
- više frekvencije bolje utječu na rast graha;
- mehanički stres (uzrokovan premještanjem teglica) usporava rast graha.

LITERATURA

Audiologs. 2025. Bilan Audio Site. https://www.audiologs.com/ozrenbilan/osnovez.htm, pristupljeno 5.3.2025.
Bauhaus. 2025. Green Tech LED žarulja (E27, Hladna bijela, 600 lm, 6 W) https://www.bauhaus.hr/led-zarulje/green-tech-led-zarulja-wi-fi/, pristupljeno 30.1.2025.
Benko B. 2022. Uzgoj graha mahunara. Gospodarski list, https://gospodarski.hr/rubrike/povrcarstvo-rubrike/uzgoj-grahamahunara/, pristupljeno 15.2.2025.
Biddington N. L. 1986. The effects of mechanically-induced stress in plants — a review. Plant Growth Regul 4: 103–123
Botanic.hr. 2025. Botanički praktikum On-line. http://www.botanic.hr/praktikum/Ranun_repe4.htm, pristupljeno 17.1.2025.
Carlson D. 2013. Sonic bloom. https://dancarlsonsonicbloom.com/, pristupljeno 17.1.2025.
Cochard H., Badel E., Herbette S., Delzon S., Choat B., Jansen S. 2013. Methods for measuring plant vulnerability to cavitation: a critical review. Journal of Experimental Biology 64: 4779–4791.
Collins M. E., Foreman J. E. K. 2001. The effect of sound on the growth of plants. Canadian Acoustics 2(29): 3–8.
Golubov F. 2018. Tehnologija uzgoja graha (*Phaseolus vulgaris* L.). Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek.
Hassanien R. H. E., Tian-zhen H., Yu-feng L., Bao-ming L. 2014. Advances in effects of sound waves on plants. Journal of Integrative Agriculture 13(2): 335–348.
Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2025. https://www.enciklopedija.hr/clanak/zvuk, pristupljeno 11.1.2025.
Periša L. 2018. Utjecaj različitih izvora svjetlosti na rast i razvoj biljaka. Bioznalac 4: 80–92.
Social Science Statistics. 2025. Social Science Statistics, https://www.socscistatistics.com/, pristupljeno 30.1.2025.
Strasburger E., Noll F., Schneck H., Schimper A. F. W. 1978. Provodna tkiva. U: Strasburgcr, E., Noll F., Schenck H. i Schimper A. F. W., Udžbenik botanike za visoke škole - Morfologija i fiziologija. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, str. 127–134.
Veits M., Khait I., Obolski U., Zinger E., Boonman A., Goldshtein A., Saban K., Seltzer R., Ben-Dor U., Estlein P., Kabat A., Peretz D., Ratzersdorfer I., Krylov S., Chamovitz D., Sapir Y., Yovel Y., Hadany L. 2019. Flowers respond to pollinator sound within minutes by increasing nectar sugar concentration. Ecology Letters 22: 1483–1492.
Vitakemija. 2025. Biostimulatori. Vitakemija, https://www.vitakemija.hr/biostimulatori, pristupljeno 22.2.2025.
Xiujuan W., Bochu W., Yi J., Chuanren D. i Sakanishi A. 2003. Effect of sound wave on the synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 29: 99–102.
Zvjezdarnica Zagreb. 2025. Izlasci i zalasci Sunca u Zagrebu. Zvjezdarnica Zagreb, https://zvjezdarnica.hr/znanost/izlazak-i-zalazak-sunca-u-zagrebu/, pristupljeno 22.2.2025.