

## STUDI PERFORMA AKAR JAGUNG (*Zea mays L.*) PADA APLIKASI PUPUK ORGANIK DAN ANORGANIK

Oleh:

Odit F. Kurniadina, Rusdiansyah dan Nurul P. Palupi<sup>1)</sup>

Email : odit.ferry@gmail.com

### ABSTRACT

*High adaptability causes maize to be cultivated in different geographical conditions. The physical properties of the soil have an effect on the growth of maize, including the growth and distribution of plant roots. Organik and inorganik applications will affect the growth and development of root maize crops. This study aims to: (1) Identify the effect of application of organik fertilizer (bokashi chicken manure) and inorganik (NPK compound fertilizer) to root growth and development; (2) Developing Rekomedasi root performance optimization technology to improve nutrient uptake and translocation to fruit tissue. The experiment was conducted using non factorial Randomized Block Design (RAK) with 3 replications, the treatment of fertilizer application (P) consisting of 6 levels: c0 = control (without fertilizer); c1 = 100% bokashi Application; c2 = 100% NPK Fertilizer Application; c3 = Bokasi Application 50% + NPK 50%; c4 = Bocation Application 75% + NPK 25%; and c5 = Application Bocation 25% + NPK 75%. The results showed that: (1) the application of 75% and inorganik (25%) organik fertilizer (NPK) increased the total root length, root diameter and root depth respectively 57.4 cm, 58.3 cm and 20.1 cm (2) To increase the growth and development of maize roots the application of combinations of organik and inorganik fertilizers can be given.*

*Keywords:* root aeration, root, rhizosphere, fertilizer, maize

### ABSTRAK

Daya adaptasi yang tinggi menyebabkan Jagung dapat dibudidayakan pada kondisi geografis berbeda. Sifat fisik tanah memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan jagung, diantaranya adalah pertumbuhan dan sebaran akar tanaman. Aplikasi organik dan anorganik akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman jagung. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi pengaruh aplikasi pupuk organik (bokashi kotoran ayam) dan anorganik (pupuk majemuk NPK) terhadap pertumbuhan dan perkembangan akar; (2) Mengembangkan Rekomendasi teknologi optimasi performa akar untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) non faktorial dengan 3 ulangan, terdiri atas perlakuan pertama yaitu aplikasi pupuk (P) yang terdiri atas 6 taraf yaitu: c0 = kontrol (tanpa pupuk); c1= Aplikasi bokashi 100%; c2 = Aplikasi Pupuk NPK 100%; c3 = Aplikasi Bokasi 50% + NPK 50%; c4 = Aplikasi Bokasi 75% + NPK 25%; dan c5 = Aplikasi Bokasi 25% + NPK 75%. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa: (1) aplikasi pupuk organik (bokashi) 75% dan anorganik (NPK) 25% mampu meningkatkan panjang akar total, diameter sebaran akar dan kedalaman akar masing-masing sebesar 57.4 cm, 58.3 cm dan 20.1 cm (2) Untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan akar jagung maka aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik dapat diberikan.

Kata Kunci: aerasi tanah, akar, rhizosphere, pupuk, jagung

---

<sup>1)</sup>Staf Pengajar Program Studi Agroteknologi,Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman

## PENDAHULUAN

Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu tanaman pangan selain gandum dan padi. Daya adaptasi yang tinggi menyebabkan Jagung dibudidayakan di banyak tempat pada kondisi geografis berbeda. Kebutuhan masyarakat terhadap komoditi tanaman jagung terus mengalami peningkatan, yaitu meningkatnya permintaan pasar baik lokal maupun internasional untuk memenuhi kebutuhan pangan dan pakan. Selain untuk pangan dan pakan, jagung juga telah banyak digunakan dalam industri makanan, minuman, kimia, dan farmasi. Dalam bentuk biji utuh, jagung dapat diolah misalnya menjadi tepung jagung, beras jagung, dan pop corn, selain itu jagung dapat pula diolah menjadi minyak goreng, margarin, dan jenis makanan lainnya (Nafziger 2009).

Perbedaan kondisi lingkungan menyebabkan produksi tanaman jagung dapat berbeda antara daerah satu dengan yang lain. Donahue et al. (1977) dan Passiora (2002) menjelaskan bahwa salah satu hal yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman adalah perbedaan sifat fisik tanah. Karena produksi tanaman merupakan fungsi dari faktor-faktor internal (sifat genetis tanaman) dan faktor-faktor eksternal seperti manajemen pengelolaan tanaman, sifat tanah dan iklim. Sifat fisik tanah memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan jagung, diantaranya adalah pertumbuhan dan sebaran akar tanaman. Tingkat Kepadatan

tanah, porositas, aerasi tanah dan faktor fisik tanah lainnya yang tidak tepat akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung. Hal ini disebabkan oleh terganggunya pertumbuhan akar baik secara ukuran besaran maupun luasan sebaran yang selanjutnya akan mempengaruhi kemampuan akar untuk mendapatkan dan menyerap unsur hara penting seperti N, P, K, dan Ca.

Menurut Hestiati et.al. (1998), bokashi merupakan kompos yang berasal dari hasil fermentasi bahan organik dengan campuran larutan Effective microorganism-4 (EM4) yang dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk menyuburkan tanah dan meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K) merupakan beberapa unsur-unsur hara utama yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman, dan serapannya sangat dipengaruhi oleh perfoma akar. Serapan hara oleh tanaman selain dipengaruhi oleh transpirasi juga dipengaruhi oleh kondisi aerasi di tanah. Menurut Marschner (1995) serapan hara selain dipengaruhi oleh proses transpirasi tanaman, juga dipengaruhi oleh kondisi aerasi didaerah perakaran. Dengan kondisi aerasi tanah yang baik maka respirasi akar dapat berjalan baik dan mendorong peningkatan pertumbuhan dan perkembangan akar. Peningkatan pertumbuhan dan perkembangan akar akan meningkatkan serapan air dan berbagai unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman termasuk

hara. Peningkatan aerasi di daerah perakaran diharapkan juga meningkatkan serapan hara oleh tanaman dan kemudian meningkatkan distribusi hara ke jaringan buah. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi pengaruh aplikasi pupuk organik (bokashi kotoran ayam) dan anorganik (pupuk majemuk NPK) terhadap pertumbuhan dan perkembangan akar; (2) Mengembangkan Rekomendasi teknologi optimasi performa akar untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman jagung.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Waktu dan Tempat

Percobaan dilakukan di Kebun Pendidikan Teluk Dalam Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Pengamatan dan pengukuran akar tanaman jagung dilaksanakan di Laboratorium Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Penelitian berlangsung selama lebih kurang 3 bulan yaitu pada bulan Agustus 2017 hingga Oktober 2017.

### Bahan dan Alat

Bahan tanaman yang digunakan adalah tanaman Jagung hibrida. Peralatan yang dipergunakan antara lain cooling box, pisau cutter, serta peralatan lapang dan laboratorium lainnya yang mendukung.

### Metode Penelitian

Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) *non faktorial dengan 3 ulangan*, yaitu aplikasi pupuk (P) yang terdiri atas 6 taraf :  
c0 = kontrol (tanpa pupuk);  
c1 = Aplikasi bokashi 100%;  
c2 = Aplikasi Pupuk NPK 100%;  
c3 = Aplikasi Bokasi 50% + NPK 50%;  
c4 = Aplikasi Bokasi 75% + NPK 25%; dan  
c5 = Aplikasi Bokasi 25% + NPK 75%;

### Parameter Amatan

- 1) Pengukuran panjang akar total (cm). Pada metode ini akar-akar tanaman jagung diambil dari daerah perakaran. Ruang pengambilan akar adalah sebesar 0.30 m x 0.30m x 0.30 m. Semua akar yang didapat kemudian dipisahkan dari tanah dan benda lain. Akar-akar kemudian diletakkan dan disebar merata dalam sebuah wadah yang telah diisi dengan sedikit air. Akar kemudian ditekan dengan plastik fiber transparan yang telah diberi pola bergaris dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Tahap selanjutnya menghitung jumlah akar yang berpotongan dengan garis secara horizontal dan vertikal. Data yang didapat kemudian dihitung dengan persamaan Line Intersect Marsh (Tennant 1975).
- 2) Pengukuran diameter sebaran akar (cm). Pengamatan dilakukan dengan membuat potongan vertikal dari permukaan tanah

- hingga kedalaman 0.20 m. Panjang potongan adalah 0.20 m. sehingga terbentuk potongan vertikal dan melintang pada profil tanah seluas 0.20 m x 0.20 m. Pada permukaan potongan vertikal dari profil tanah tersebut diletakkan plastik fiber transparan. Semua akar tanaman jagung yang terlihat/nampak pada plastik fiber tersebut kemudian digambar pola sebarannya. Pola yang didapatkan kemudian diukur menggunakan curvimeter digital Silva. Panjang akar yang didapatkan kemudian dikonversikan dalam satuan cm.
- 3) Pengukuran kedalaman akar (cm). Pengamatan dilakukan dengan membuat potongan vertikal dari permukaan tanah hingga kedalaman 0.20 m. Panjang potongan adalah 0.20 m. sehingga terbentuk potongan vertikal dan melintang pada profil tanah seluas 0.20 m x 0.20 m. Pada permukaan potongan vertikal dari profil tanah tersebut diletakkan plastik fiber transparan. Semua akar tanaman jagung yang terlihat/nampak pada plastik fiber tersebut kemudian digambar pola sebarannya. Pola yang didapatkan kemudian diukur menggunakan curvimeter digital Silva dari permukaan tanah hingga posisi akar pada kedalaman tanah terdalam. Kedalaman akar yang didapatkan kemudian dikonversikan dalam satuan cm. Data yang didapat kemudian dihitung dengan persamaan *Line Intersect Marsh* (Tennant 1975).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik dengan perbandingan Bokasi 75%+NPK 25% menunjukkan peningkatan panjang akar total mencapai 57.4 cm, lebih panjang 13.8% apabila dibandingkan dengan tanpa aplikasi pupuk yang hanya menghasilkan panjang akar total sebesar 50.4 cm. Demikian pula diameter sebaran akar, Aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik dengan perbandingan Bokasi 75%+NPK 25% mampu menghasilkan diameter sebaran akar 47.4 cm, lebih luas 20.6% apabila dibandingkan dengan tanpa aplikasi pupuk yang hanya memiliki diameter sebaran akar 39.3cm (Tabel 1).

Adanya seresah (bahan organik) yang dibenamkan didaerah perakaran tanaman jagung akan mendorong aktivitas berbagai organisme mikro dan makro dalam proses dekomposisi bahan organik tersebut. Dalam proses ini akan terbentuk pori-pori alami di sekitar lubang dan perakaran tanaman. Pori-pori yang terbentuk secara alami sangat bermanfaat bagi tanaman jagung. Pori-pori tanah akan terisi oleh air dan udara yang akan meningkatkan aerasi tanah di sekitar perakaran. Kondisi aerasi yang baik akan mendorong terjadinya peningkatan serapan dan distribusi hara dalam jaringan akar menuju xylem dan kemudian ke jaringan buah (Marschner 1995; Dong et al. 2009).

Aplikasi pupuk anorganik (NPK) 100% menunjukkan

menghasilkan panjang akar total yang berbeda tidak nyata dengan aplikasi Bokasi 50%+NPK 50% dan kombinasi pupuk organik dan anorganik dengan perbandingan Bokasi 25%+NPK 75% (Tabel 1).

Tabel 1. Panjang Akar Total, Diameter Sebaran Akar dan Kedalaman Akar Tanaman Jagung Pada Aplikasi Pupuk Organik dan Anorganik

Perlakuan	Panjang Akar Total (cm)	Diameter sebaran akar (cm)		Kedalaman Akar (cm)	
		50.5	39.4	13.0	b
kontrol	50.5	b	39.4	b	13.0 b
Bokashi 100%	58.7	a	47.5	a	20.5 a
Bokasi 75%+NPK 25%	57.4	a	58.3	a	20.2 a
Bokasi 50%+NPK 50%	48.5	b	55.0	b	17.0 a
Bokasi 25%+NPK 75%	48.0	b	43.2	b	18.7 a
NPK 100%	49.0	b	37.5	ab	18.4 a

Ket: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5 %

Tanaman membutuhkan udara dan air dalam tanah, serta keseimbangan yang baik antara ruang pori makro dan mikro untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Setelah pori-pori tanah terbentuk, terjadi peningkatan kondisi aerasi tanah yang berkaitan dengan peningkatan pertukaran gas seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  di daerah perakaran serta peningkatan porositas tanah. Tanah yang padat menyebabkan terjadinya penurunan jumlah pori-pori dalam tanah. Kondisi ini akan menghambat pertumbuhan akar atau mengubah pola pertumbuhan akar. Hal ini terkait dengan kondisi aerasi tanah. Kondisi porositas yang rendah menyebabkan terjadinya peningkatan  $\text{CO}_2$  dan penurunan  $\text{O}_2$  pada daerah perakaran tanaman jagung. Hal ini disampaikan oleh Albert dan Armstrong (1931) bahwa terjadinya peningkatan kepadatan

Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman jagung sangat dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik dibagian perakaran.

tanah akan mendorong peningkatan kelembaban tanah yang selanjutnya akan menyebabkan terjadinya peningkatan  $\text{CO}_2$  dan penurunan  $\text{O}_2$ .

Jumlah, ukuran dan distribusi pori tanah akan mempengaruhi aerasi yang berkaitan dengan pergerakan dan ketersediaan air dan udara di dalam tanah. Aerasi yang baik di daerah perakaran tanaman akan meningkatkan serapan hara oleh akar (Marschner 1995). Selain itu kondisi aerasi yang baik juga akan meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan akar serta proses respirasi akar. Pergerakan dan translokasi hara menuju xylem di dalam kortex terjadi secara aktif dan pasif yaitu secara simplas dan apoplas (Rigney dan Wills 1981; Song et al. 2014). Serapan hara secara aktif oleh sel-sel akar berkaitan dengan adanya hara-ATPase dan  $\text{H}^+$ /hara -antiporter serta Calsium channel, sehingga

dibutuhkan energi dalam proses tersebut (Park et al. 2005). Energi yang dihasilkan dari proses respirasi akar akan dimanfaatkan dalam meningkatkan serapan dan translokasi hara secara aktif oleh sel-sel akar tanaman menuju jaringan xylem (Chiu 1980; Wiebel et al. 1994; White dan Broadley 2003).

Dari hasil pengamatan pada penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi pertumbuhan akar-akar baru selama fase pertumbuhan tanaman jagung. Terbentuknya akar-akar baru diduga terkait dengan upaya pertumbuhan dan perkembangan buah. Pori-pori di rhizosphere akan mendukung terbentuknya akar-akar muda termasuk pembentukan akar sekunder dan tersier pada tanaman jagung. Hal ini akan memberikan nilai positif terhadap peningkatan serapan hara oleh akar (Wiebel et al. 1994).

Akar baru menjadi faktor penting dalam mekanisme serapan dan translokasi hara dari daerah perakaran menuju xylem (Drazeta et al. 2004). Terbentuknya akar-akar baru diduga terkait dengan upaya pertumbuhan dan perkembangan buah. Serapan hara terutama terjadi secara optimal didaerah perpanjangan akar, yaitu didaerah diantara jaringan meristem dan diferensiasi akar (Marschner 1995). Hasil penelitian Hidayat (2002) menunjukkan bahwa terjadi pertumbuhan akar yang cepat. Pertumbuhan akar yang cepat pada tanaman disebabkan karena adanya peningkatan kebutuhan asimilat akibat jaringan meristem aktif melakukan pembelahan sel.

Selanjutnya berdasarkan urutan waktu pertumbuhan akar, setelah akar terinisiasi akan terjadi pertumbuhan akar, termasuk pembentukan akar sekunder dan tersier, terjadi penebalan akar dan akhirnya pertumbuhan akar akan berhenti (Huxley 1999). Akar baru menjadi faktor penting dalam mekanisme serapan dan translokasi hara dari daerah perakaran menuju xylem. Dijelaskan oleh Himmelrick dan McDuffie (1983) serta Marschner (1995) bahwa hara terutama diserap pada jaringan akar yang masih muda. Hara akan melalui jaringan endodermis akar muda yang masih belum terbentuk pita kaspari. Pita kaspari merupakan substansi yang menghalangi masuknya air dan berbagai zat lain di jaringan endodermis akar. Pita kaspari yang telah menutupi sel-sel endodermis akar akan menghambat translokasi hara menuju xylem (Kurniadinata et al. 2016). Berdasarkan tingkat pertumbuhan akar, setelah akar terinisiasi terjadi pertumbuhan akar secara cepat termasuk pembentukan akar sekunder dan tersier (Marschner 1995). Aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik akan mendukung pertumbuhan dan perkembangan akar-akar muda tersebut. Saat pori-pori tanah telah terbentuk maka akar-akar muda dapat tumbuh dengan lebih baik. Akar-akar muda pada tanaman kontrol hanya sebagian kecil yang dapat rumbuh dan berkembang dengan baik. Akar tanaman jagung dengan aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik terbukti memiliki panjang

akar yang lebih besar dibandingkan tanaman tanpa aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik.

Pertumbuhan jagung dapat dikelompokkan ke dalam tiga tahap yaitu (1) fase perkembahan, saat proses imbibisi air yang ditandai dengan pembengkakan biji sampai dengan sebelum munculnya daun pertama; (2) fase pertumbuhan vegetatif, yaitu fase mulai munculnya daun pertama yang terbuka sempurna sampai tasseling dan sebelum keluarnya bunga betina (silking), fase ini diidentifikasi dengan jumlah daun yang terbentuk; dan (3) fase reproduktif, yaitu fase pertumbuhan setelah silking sampai masak fisiologis (Subekti 2010).

Pada fase V6-V10, yaitu fase dimana jumlah daun terbuka sempurna berjumlah 6-10 helai. Fase ini berlangsung pada saat tanaman berumur antara 18 -35 hari setelah berkecambah. Titik tumbuh sudah di atas permukaan tanah, dan pada fase ini terjadi perkembangan akar dan penyebarannya di tanah yang sangat cepat. Selanjutnya Fase Fase V11- Vn (jumlah daun terbuka sempurna 11 sampai daun terakhir 15-18), pada fase ini berlangsung pada saat tanaman berumur antara 33-50 hari setelah berkecambah. Tanaman tumbuh dengan cepat dan akumulasi bahan kering meningkat dengan cepat pula. Kebutuhan hara dan air relatif sangat tinggi untuk mendukung laju pertumbuhan tanaman, seiring dengan terjadinya perkembangan akar dan penyebarannya di tanah yang sangat cepat (Akil 2009). Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa

aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik dengan perbandingan Bokasi 75%+NPK 25% dapat mengingkatkan tingkat kedalaman pertumbuhan akar terdalam. Kondisi ini juga didapatkan pada perlakuan aplikasi pupuk organik 100%.

Terjadi peningkatan kedalaman pertumbuhan akar pada perlakuan aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik dengan perbandingan Bokasi 75%+NPK 25% serta perlakuan aplikasi pupuk organik 100%, masing-masing sebesar dan 20,2 dan 20,3 cm (Gambar 1). Peningkatan pertumbuhan dan perkembangan akar yang lebih baik pada kedua kombinasi tersebut disebabkan kondisi rhizosphere tanaman jagung mendukung pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman jagung. Kondisi aerasi dan porositas tanah yang dibentuk oleh pupuk organik serta tersedianya unsur hara menyebabkan akar dapat tumbuh lebih dalam (Donahue et al. 1977, Gardner et al. 1991). Pori-pori alami yang terbentuk akan memberikan kondisi yang menguntungkan bagi tanaman, diantaranya yaitu terjadinya peningkatan kondisi aerasi di daerah perakaran tanaman jagung dan menyediakan ruang bagi pertumbuhan akar-akar muda untuk tumbuh dan memberikan kontak lebih luas dengan tanah. Dijelaskan oleh Marschner (1995) bahwa akar selain berfungsi untuk menyerap air dan zat hara dari dalam tanah, juga berfungsi sebagai penyokong dari tanaman agar tanaman bisa kokoh berdiri, serta membawa zat yang

diserap dan juga mengangkut air ke bagian tubuh dari tumbuhan.

Kepadatan tanah merupakan salah satu kendala fisik bagi pertumbuhan akar. Pengaruh pemanatan tanah mengganggu diameter akar sebagian besar pada lapisan hardpan dalam tanah. Dijelaskan oleh Barley (1962) dan Materechera et al. (1991) bahwa di tanah yang padat (hardpan), akar biasanya tumbuh lebih tebal. Sedangkan pendapat lain dijelaskan oleh Taylor & Ratliff (1969) dan Duruoha et al. (2007) dalam risetnya bahwa di tanah yang padat, laju pemanjangan akar akan melambat, dan pertumbuhan dihentikan sama sekali jika tanahnya terlalu kuat. Pupuk organik akan mengurangi tingkat kekerasan tanah di daerah rhizosphere tanaman jagung.

Panjang akar total, diameter sebaran akar dan kedalaman pertumbuhan akar menjadi hal penting dalam memastikan tanaman jagung tumbuh dengan baik dan mampu menyerap air dan unsur hara yang dibutuhkan selama fase hidupnya. Seperti yang dijelaskan oleh Marschner (1995), Pessarakli (2002), Poovarodom (2009), dan Wilsdorf (2011) yang menyatakan bahwa sepanjang fase pertumbuhan tanaman, khususnya tanaman berbuah, semua unsur hara akan ditranslokasi ke semua jaringan tumbuhan termasuk ke jaringan buah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan buah.

## KESIMPULAN

Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Aplikasi pupuk organik (bokashi) 75% dan anorganik (NPK) 25% mampu meningkatkan panjang akar total, diameter sebaran akar dan kedalaman akar masing-masing sebesar 57.4 cm, 58.3 cm dan 20.1 cm.
2. Untuk meningkatkan performa akar, maka aplikasi kombinasi pupuk organik dan anorganik perlu diaplikasikan dalam menunjang pertumbuhan dan produksi tanaman jagung yang berkeberlanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

Akil, M. 2009. Penempatan Pupuk Anorganik yang Efisien pada Tanaman Jagung di Lahan Kering. Dalam Anonym (Ed). Prosiding Seminar Nasional Serealia. Maros, 29 Juli 2009. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Hal 169-176

Albert W. B., and Armstrong, G. M. 1931. Effects of high soil moisture and lack of soil aeration upon fruiting behavior of young cotton plants. *Plant Phys.* 6:585

Barley, K.P. 1962. The effects of mechanical stress on the growth of roots. *Journal of experimental Botany*, v.13, p.95-110.

Chiu TF. 1980. Calcium-45 mobility in young apple trees grown under different nutrient

- calcium condition. J.Agric.Res.China. 29(3): 183-194.
- Donahue RL, Miller RW, Shickluna JC. 1977. SOILS. An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 626p.
- Dong T, Renxue Xia, Zhiyan Xiao, Peng Wang, Wenhua Song. 2009. Effect of pre-harvest application of calcium and Boron on dietary fibre, hydrolases and ultrastructure in 'Cara Cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit. *Scientia Horticulturae* 121 (2009) 272-277.
- Drazeta L, Lang A, Hall AJ, Volz RK, Jameson PE. 2004. Causes and Effect of Changes in Xylem Functionality in Apple Fruit. *Ann.Bot.* 93, 275-282
- Duruoha C, Piffer Cr, Silva Pa. 2007. Corn (*Zea Mays* L.) Root Length Density and Root Diameter as Affected by Soil Compaction and Soil Water Content. *Irriga*, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 14-26, janeiro-março, 2007
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. 1991. Physiology of Crop Plant. Terjemahan: Susilo H. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. UI Press. Jakarta.
- Hestiati, E., T. Bunomoti dan I.G.S. Sutarna. 1998. Pengaruh pemberian zat pengatur tumbuh natrium nitrofenol dan pupuk bokashi terhadap pertumbuhan tomat. *Buletin Kyusei Nature Farming* Vol. 01.Jakarta.
- Hidayat R. 2002. Kajian Ritme Pertumbuhan Tanaman Manggis (*Garcinia mangostana* L) dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi.[Disertasi].Institut Pertanian Bogor. Bogor, Indonesia.
- Himelrick DG, McDuffie RF. 1983. The calcium cycle: Uptake and distribution in apple trees. *HortScience*, 18(2), 147-150.
- Huxley P. 1999. Tropical Agroforestry. Blackwell Science Ltd. Oxford. 371 p.
- Kurniadinata O.F., Susi O.S. Depari, Roedhy Poerwanto, Darda Efendi, Ade Wachjar. 2016. Solving yellow sap contamination problem in mangosteen (*Garcinia mangostana*) with Ca<sup>2+</sup> application based on fruit growth stage. *Communications In Biometry And Crop Science* VOL. 11, NO. 2, 2016, PP. 105-113. *International Journal of The Faculty of Agriculture and Biology, Warsaw University of Life Sciences – Sggw, Poland.*
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edition. Academic Press. London.

- Materechera, S.A., Alston, A.M., Kirby, J.M., Dexter, A.R. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil*, Springer, v.144, p.297-303.
- Nafziger. 2009. Corn. Illinois Agronomy Handbook. 13-26.
- Park, Sunghun, Ning Hui Cheng, Jon K Pittman, Kil Sun Yoo, Jungeun Park, Roberta H Smith, dan Kendal D Hirschi, 2005. Increased calcium levels and prolonged shelf life in tomatoes expressing *arabidopsis* H+/Ca transporters. *Plant Physiology* 139:1194-1206.
- Passioura. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*. 25, 311–318
- Pessarakli M .2002. *Handbook of Plant & Crop Physiology* Revised & Expanded. Marcel Dekker, Inc. New York
- Poovarodom S. 2009. Growth and Nutrient Uptake into Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruit. The Proceedings of International Plant Nutrition Colloquium XVI, Department of Plant Sciences, UC Davis.
- Rigney CJ, Wills RBH. 1981 Calcium movement, a regulating factor in the initiation of tomato fruit ripening. *HortScience* 16:550-551.
- Song Wen-pei Chen Wei, Kurniadina OF, Wang Hui-cong, Huang Xu-ming. 2014. Application of electron probe to the observation of in situ calcium distribution in fruit tissues. *J. of Fruit Sci.* 31 (4) : 730-732.
- Subekti. 2010. *Morfologi Tanaman dan Fase Pertumbuhan Jagung. Teknik Produksi dan Pengembangan Tanaman Jagung*, 20-21.
- Taylor, H.M., Ratliff, L.F. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Science*, v.108, p.113-119.
- Tennant. 1975. A Test Of A Modified Line Intersect Method of Estimating Root Length. *J. of Ecology* 63(3): 995-1001.
- White PJ, Broadley MR. 2003. Calcium in plant. *Annals of Botany*. 92: 487-511.
- Wiebel J, Chacko EK, Downton WJS, Ludders P. 1994. Influence of irradiance on photosynthesis, morphology and growth of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) seedlings. *Tree Physiology* 14, 263-274.
- Wilsdorf R. 2011. Evaluating the seasonal changes in calcium concentration and distribution in apple fruit after application of different calcium fertilisation strategies. [Thesis]. Department of

Horticultural Science,  
Stellenbosch University