

# Kesan nisbah ammonium/nitrat ke atas pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan alpukat dalam keadaan hidroponik

P. Lobit, L. López-Pérez, R. Cárdenas-Navarro, VC Castellanos-Morales dan R. Ruiz-Corro

Institut Penyelidikan Pertanian dan Perhutanan, Universiti Michoacán San Nicolás de Hidalgo.

Km. 9.5 Carr. Morelia-Zinapécuaro, Unidad Posta Zootécnica, CP 58880, Tarímbaro, Michoacán, Mexico (e-mel: philippelobit@yahoo.fr).

Diterima 1 Mac 2006, diterima 5 Julai 2006.

Lobit, P., López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Castellanos-Morales, VC dan Ruiz-Corro, R. 2007. **Kesan nisbah ammonium/ nitrat ke atas pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan alpukat di bawah keadaan hidroponik.** boleh. J. Plant Sci. **87**: 99–103. Satu eksperimen telah dijalankan untuk mengkaji kesan perkadaran ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dalam larutan nutrien ke atas tumbuhan alpukat dalam sistem hidroponik. Lima rawatan telah digunakan, yang terdiri daripada perkadaran berikut ammonium kepada ion nitrat dalam larutan: T0 = 0:4, T1 = 1:3, T2 = 2:2, T3 = 3:1 dan T4 = 4:0 pada a kepekatan nitrogen tetap 4 mM. Selepas 4 bulan, tumbuhan dituai dan pengumpulan bahan segar dan kering, luas daun, dan kandungan nitrogen dan karbon daun diukur. Penerangan seni bina pucuk (panjang, bilangan nod dan cawangan) telah dibuat. Bahan kering pucuk dan daun semuanya berkurangan dengan peningkatan kepekatan  $\text{NH}_4^+$ . Sebaliknya, dengan peningkatan kepekatan  $\text{NO}_3^-$ , bilangan nod dan cawangan meningkat. Analisis seni bina menunjukkan bahawa pucuk berkembang dari semasa ke semasa dalam satu atau dua unit pertumbuhan yang berbeza. Walaupun bentuk nitrogen menjejaskan kedua-dua unit pertumbuhan, yang kedua lebih teruk terjejas, menunjukkan penurunan panjang, bilangan + kepekatan meningkat. ber nod, dan bercabang apabila  $\text{NH}_4^+$

**Kata kunci:** Avokado, nitrogen, nitrat, ammonium, pembangunan

Lobit, P., López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Castellanos-Morales, VC dan Ruiz-Corro, R. 2007. **Kesan nisbah ammonium/nitrat ke atas pertumbuhan dan perkembangan anak benih yang ditanam secara hidroponik alpukat.** boleh. J. Plant Sci. **87**: 99–103. Penulis menjalankan eksperimen untuk menjelaskan kesan perkadaran ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dalam larutan nutrien ke atas tumbuhan alpukat yang ditanam secara hidroponik. Mereka menggunakan lima rawatan yang sepadan dengan perkadaran ion ammonium dan nitrat berikut dalam larutan: T0 = 0:4, T1 = 1:3, T2 = 2:2, T3 = 3:1 dan T4 = 4: 0, kepekatan nitrogen kekal malar pada 4 mM. Empat bulan kemudian, mereka menuai avokado dan menentukan pengumpulan bahan basah dan kering, luas daun, dan kandungan nitrogen dan karbon daun. Penulis juga menerangkan struktur pucuk (panjang, bilangan nod dan dahan). Jumlah bahan kering dalam pucuk dan daun berkurangan apabila kepekatan  $\text{NH}_4^+$  meningkat. Kepekatan air dalam organ udara pula meningkat dengan kepekatan ion  $\text{NH}_4^+$ . Kandungan nitrogen dan karbon dan hubungan karbon:protein merendahkan kedua-dua pucuk dan dahan. Walaupun bentuk nitrogen menjejaskan kedua-dua unit pertumbuhan, yang kedua lebih terjejas kerana terdapat pengurangan panjang, bilangan nod dan ramifikasi dengan peningkatan kepekatan ion  $\text{NH}_4^+$ .

**Kata kunci:** Avokado, nitrogen, nitrat, ammonium, pembangunan

Negeri Michoacán, México, adalah salah satu pengeluar avokado utama di dunia, dengan lebih daripada 80 000 ha ditanam setiap tahun (INEGI 2003). Sumber nitrogen yang paling biasa digunakan ialah urea dan ammonium sulfat. Walau bagaimanapun, dengan penggunaan berterusan teknik pengairan baru seperti drippers atau mikro-perenjis, nitrogen semakin digunakan melalui air pengairan dalam bentuk potassi um atau kalsium nitrat. Walaupun pelbagai bentuk nitrogen digunakan, beberapa kajian telah dijalankan untuk menilai pengaruh bentuk ionik nitrogen ( $\text{NH}_4^+$   $\text{NO}_3^-$ ) terhadap pertumbuhan dan perkembangan alpukat.

Alpukat boleh memetabolismekan kedua-dua  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$ , nampaknya dengan keutamaan untuk pengambilan  $\text{NO}_3^-$  (Zilkah et al. 2000). Pada dasarnya, kos asimilasi ammonium adalah lebih kecil daripada nitrat (Hopkins 1999). Pada kepekatan yang rendah, ammonium sering meningkatkan pengambilan nitrat dan pertumbuhan tumbuhan

(Cox dan Reisenauer 1973; Haynes dan Goh 1978; Thibaud dan Grignon 1981; Smart dan Bloom 1988, 1993, 1998).

Walau bagaimanapun, pada kepekatan yang lebih tinggi, ia biasanya mengurangkan pertumbuhan (Salsac et al. 1987; Raab dan Terry 1994; Gerendás et al. 1997; Cárdenas-Navarro et al. 2006).

Kesan bentuk ionik nitrogen ( $\text{NH}_4^+$  atau  $\text{NO}_3^-$ ) pada penyerapan, asimilasi, fotosintesis dan pertumbuhan telah dikaji secara meluas dalam banyak spesies, tetapi untuk pengetahuan kita bukan dalam alpukat. Tujuan kerja ini adalah untuk mengkaji kesan nisbah ammonium:nitrat dalam larutan nutrien ke atas pertumbuhan dan seni bina tumbuhan alpukat (*Persea americana* Mill 'Hass').

## BAHAN DAN KAEDAH

Eksperimen dijalankan di rumah hijau (jenis teduh, dilengkapi dengan jaring teduh dan tempat perlindungan hujan tetapi tiada iklim

## 100 JURNAL SAINS TUMBUHAN KANADA

kawalan) kepunyaan Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, di Morelia, Michoacán, México (lat. 19°45'95"U, panjang. 101°09'16", alt. 1900 m) .

Sebelum eksperimen, tumbuhan avokado asli (*Persea americana* Mill.) ditanam dalam beg plastik hitam (diameter 25 cm dan kedalaman 50 cm) yang diisi dengan tanah (60% pasir, 30% kelodak dan 10% tanah liat) yang dibaja dengan 17-17-17 NPK (50 g beg<sup>-1</sup>). Tumbuhan kemudiannya dipotong di pangkal dan pokok penanti dicantumkan dengan kultivar Hass dan dibiarkan tumbuh selama 7 bulan. Sebelum eksperimen, tumbuhan digali dan dipindahkan ke dalam sistem hidroponik yang diperbuat daripada 20 bekas yang diisi dengan 20 L kerikil gunung berapi ("tezontle", saiz zarah 2 cm) dan disemai dengan larutan nutrien yang lengkap [KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.0 mM, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.0 mM, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1.5 mM, CaSO<sub>4</sub> 2.0 mM, MgSO<sub>4</sub> 1.5 mM, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 20 µM, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.5 µM, Fe-EDTA 15 µM, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O µM, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 3 µM] disediakan menggunakan air ternyahion (Cárdenas et al. 1998). Pengairan digunakan tiga kali sehari, selama 1.5 jam setiap kali. Sistem hidroponik dibina supaya larutan larut resap dapat dikumpulkan selepas setiap pengairan dan dikembalikan ke tangki pengairan. Air ditambah setiap hari untuk mengimbangi kehilangan melalui transpirasi dan penyelesaian lengkap setiap rawatan diganti setiap 10 hari.

Rawatan digunakan 1 bulan selepas pemindahan ke sistem hidroponik. Larutan nutrien yang digunakan untuk membina tumbuhan telah diubah suai untuk mendapatkan lima perkadaran rawatan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (T<sub>0</sub> = 0:4, T<sub>1</sub> = 1:3, T<sub>2</sub> = 2:2, T<sub>3</sub> = 3:1 dan T<sub>4</sub> = 4 :0) pada jumlah kepekatan nitrogen 4 mM. Nitrat dibekalkan sebagai Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan ammonium sebagai (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, mengekalkan keseimbangan kation dan anion pada 14 Eq m<sup>-3</sup> dan menghasilkan kepekatan berubah-ubah SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (dari 4 mM hingga 8 mM) dan Ca<sup>2+</sup> ( dari 9 mM hingga 13 mM). Setiap rawatan terdiri daripada empat replika (beg) dan setiap beg diletakkan secara rawak di dalam rumah hijau dalam susunan 4 × 5. pH larutan diselaraskan setiap hari ketiga antara 5.5 dan 6.

Tumbuhan dibiarkan tumbuh selama 4 bulan dan dituai pada akhir eksperimen. Sebelum mengumpul organ untuk analisis, seni bina pucuk diterangkan seperti berikut. Setiap pucuk yang baru dibentuk dipotong di pangkal dan jarak antara setiap nod dan pangkal diukur, supaya jumlah panjang pucuk, bilangan nod, dan panjang setiap internod boleh dikira. Bagi setiap nod, perkembangan tunas telah direkodkan (tiada perkembangan atau perkembangan pucuk sekunder, dalam hal ini panjang pucuk sekunder direkodkan). Semua tunas utama kelihatan membangun sama ada satu unit pertumbuhan (antara 10 dan 15 ruas), atau dua unit pertumbuhan dipisahkan oleh kawasan yang panjang ruasnya jauh lebih kecil. Dalam kes ini, kedudukan internode terkecil diambil sebagai had antara unit pertumbuhan pertama dan kedua. Parameter berikut telah dikira untuk setiap unit pertumbuhan: bilangan nod, jumlah panjang, purata panjang ruas, panjang ruas terpanjang, bilangan daun ketiak, bilangan pucuk sekunder, dan purata panjang pucuk sekunder. Nilai purata untuk semua pembolehubah ini dikira untuk setiap tumbuhan.

Daun dan pucuk dipisahkan dan jumlah berat segar dan keringnya (selepas pengeringan pada 105 ° C selama 48 jam) setiap tumbuhan diukur pada keseimbangan (Mettler Toledo PR8002; Mettler Toledo Inc., Columbus, OH). Jumlah luas daun bagi setiap tumbuhan diukur dengan meter luas daun (Li-Cor LI-2001; LI-COR, Lincoln, NE). Kandungan air dalam daun dan pucuk dikira sebagai nisbah (berat segar – berat kering)/berat kering bagi setiap tumbuhan. Luas daun tertentu bagi setiap tumbuhan dikira sebagai nisbah berat kering daun/daun. Jumlah kepekatan nitrogen dan karbon ditentukan dalam sampel 6 mg daun tanah (kilang bola Fritsch Pulverisette 5; Fritsch GmbH, Idar-Oberstein, Jerman) setiap tumbuhan, menggunakan kaedah Dumas (Penganalisis Unsur Carlo Erba Flash EA 1110; Carlo Erba Reagenti SpA, Milan, Itali).

Data dianalisis menggunakan perisian R untuk linux (pasukan teras Pembangunan R, 2004), menggunakan ANOVA dan ujian-t berpasangan (95% tahap keyakinan) dengan pembetulan Benjamini dan Hochberg (1995) untuk perbezaan antara min.

### KEPUTUSAN

#### Pertumbuhan dan Komposisi

Terdapat trend umum ke arah pengurangan pengumpulan bahan kering di semua bahagian udara apabila perkadaran NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam larutan Biojism yang terkumpul dalam pucuk adalah paling terjejas, dengan pengurangan 56% akumulasi bahan kering antara rawatan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (T<sub>0</sub>) tulen dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (T<sub>4</sub>) tulen ( $P \leq 0.05$ ). Trend yang sama diperhatikan pada daun (pengurangan 47% pengumpulan bahan kering) dan di seluruh tumbuhan (pengurangan pengumpulan bahan kering 41%), walaupun dengan tahap keertian yang rendah ( $P \leq 0.10$  dalam kedua-dua kes).

Tiada perbezaan ketara dalam jumlah luas daun didapati di antara rawatan, di mana min rawatan adalah antara 4386 hingga 8633 cm<sup>2</sup> setiap pokok dan dari 40.48 hingga 57.75 cm<sup>2</sup> setiap daun. Walau bagaimanapun, luas daun tertentu meningkat dengan ketara dengan perbezaan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam larutan (Rajah 1). Tidak ketara perkadaran diperhatikan sebagai tindak balas kepada perkadaran NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dalam larutan, di mana min rawatan untuk N berjalat hingga 0.2628 g N g berat kering<sup>-1</sup>. dan nisbah C/N adalah antara 18.02 hingga 19.70 g g<sup>-1</sup>. Tambahan pula, apabila mempertimbangkan setiap tumbuhan secara individu, hubungan linear yang unik didapati antara jumlah jumlah nitrogen dalam daun dan bahan kering yang terkumpul di bahagian udara. Dalam erti kata lain, hubungan antara jumlah biojism tumbuhan dan jumlah nitrogen daun adalah bebas daripada bentuk nitrogen yang dibekalkan (Rajah 1).

Kandungan air dalam semua organ didapati meningkat dengan perkadaran NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam larutan (Rajah 2). Perbezaan ketara diperhatikan (kedua-duanya signifikan dengan  $P$  pada  $P \leq 0.10$ ) antara rawatan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (T<sub>0</sub>) tulen dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (T<sub>4</sub>) tulen untuk keseluruhan tumbuhan (ketara  $P \leq 0.05$ ), dan 22% untuk

#### Senibina Panjang

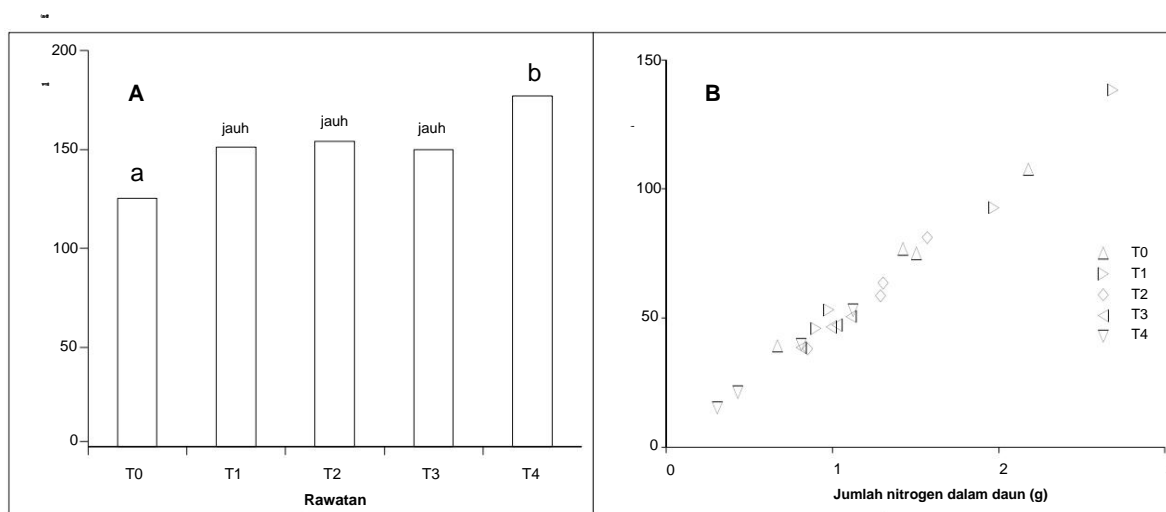
pucuk primer berkurangan dengan perkadaran NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam larutan (Jadual 2) dan pucuk sekunder (T<sub>0</sub>) hingga 30% (ketara  $P \leq 0.05$ ) daripada

## LOBIT ET AL. — NISBAH AMMONIUM/NITRAT TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN AVOCADO 101

Jadual 1. Kesan perkadaran  $\text{NH}_4^+$  + dan  $\text{NO}_3^-$  pada pengumpulan bahan kering dan kandungan air dalam keseluruhan tumbuhan, daun dan pucuk. Rawatan sepadan dengan nisbah  $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$  berikut : T0 = 0:4, T1 = 1:3, T2 = 2:2, T3 = 3:1 dan T4 = 4:0. Aras keertian (*nilai P*) telah ditentukan dengan analisis varians

	Bahan kering (g)			Kandungan air (g segar wt – g kering wt/g kering wt)		
	Tumbuhan	daun	Pucuk	Tumbuhan	daun	Pucuk
T0	74.66	54.83	19.83a	2.55	2.15a	3.67a
T1	82.58	60.30	22.27ab	2.81	2.47ab	3.76ab
T2	60.34	45.56	14.77ab	2.82	2.46ab	3.94ab
T3	45.72	35.70	10.02ab	2.73	2.38ab	3.98ab
T4	32.26	24.92	7.33b	3.19	2.84b	4.41b
Nilai P	0.07	0.10	0.04	0.07	0.04	0.05

a, b Bermaksud dalam lajur dengan huruf yang berbeza menunjukkan ujian perbandingan berpasangan bermakna dengan perbezaan statistik pada  $P \leq 0.05$ .



Rajah 1. A. Kesan perkadaran  $\text{NH}_4^+$  + dan  $\text{NO}_3^-$  pada kawasan daun tertentu. Rawatan bermakna dengan huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan statistik pada  $P \leq 0.05$ . B. Hubungan antara jumlah N dalam daun setiap tumbuhan dan biojisim terkumpul di bahagian udaranya (pucuk + daun). Setiap simbol mewakili satu tumbuhan, simbol yang berbeza menandakan rawatan yang berbeza. Rawatan tersebut sepadan dengan nisbah  $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$  berikut: T0 = 0:4, T1 = 1:3, T2 = 2:2, T3 = 3:1 dan T4 = 4:0.

Apabila unit pertumbuhan pertama dan kedua pucuk telah dianalisis secara berasingan, perbezaan dalam panjang pucuk boleh jadi kebanyakannya disebabkan oleh perbezaan dalam pembangunan unit pertumbuhan kedua (Jadual 2). Terdapat pengurangan sebanyak 49% (signifikan pada  $P \leq 0.05$ ) dalam panjang pertumbuhan kedua unit berbanding dengan pengurangan 12% dalam unit pertumbuhan pertama (signifikan pada  $P \leq 0.01$ ) dengan peningkatan  $\text{NH}_4^+$ . Begitu juga, bilangan nod dikurangkan sebanyak 37% pada saat unit pertumbuhan (signifikan pada  $P \leq 0.05$ ), dan tidak terjejas dalam yang pertama.

Bilangan dan purata panjang pucuk sekunder ialah juga sangat dipengaruhi oleh perkadaran  $\text{NH}_4^+$ . Walau bagaimanapun, corak percabangan pertama dan kedua unit pertumbuhan adalah berbeza. Walaupun tidak ada statistik perbezaan ketara dalam bilangan pucuk sekunder pada unit pertumbuhan pertama, panjangnya dikurangkan dengan ketara sebagai perkadaran  $\text{NH}_4^+$  + dalam larutan meningkat (Jadual 3), dengan pengurangan 48% (signifikan pada  $P \leq 0.05$ ) antara  $\text{NO}_3^-$  tulen – (T0) dan  $\text{NH}_4^+$  tulen + (T4) rawatan. Berbeza, bilangan pucuk sekunder pada unit pertumbuhan kedua

menunjukkan pengurangan 94% (signifikan pada  $P \leq 0.05$ ) antara  $\text{NO}_3^-$  tulen – (T0) dan  $\text{NH}_4^+$  tulen + (T4) rawatan (signifikan tidak boleh pada  $P \leq 0.05$ ) manakala saiznya tidak ketara terjejas (Jadual 3).

## PERBINCANGAN

Sumber nitrogen yang digunakan dalam larutan nutrien terjejas pertumbuhan vegetatif tumbuhan alpukat. Secara umum, meningkatkan bahagian ammonium dalam larutan mengurangkan pertumbuhan vegetatif dan menghasilkan tumbuhan dengan lebih rendah kandungan bahan kering, dan pucuk primer yang lebih pendek dengan lebih sedikit pucuk sekunder.

Antara mekanisme yang dicadangkan dalam literatur untuk mengambil kira perencatan pertumbuhan oleh  $\text{NH}_4^+$ , adalah: kesan toksik daripada ion ammonium bebas (Takács dan Técsi 1992; Raab dan Terry 1994; Claussen dan Lenz 1999), interaksi antara penyerapan  $\text{NH}_4^+$  + dan nutrien lain seperti  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  (Jungk 1979), permintaan berlebihan untuk assimilat untuk  $\text{NH}_4^+$  + asimilasi dan/atau perkumuhan (Kroczuk et al. 2001), gangguan peraturan air (Chaillou et al.

## 102 JURNAL SAINS TUMBUHAN KANADA

**Jadual 2. Kesan perkadaran NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pada pertumbuhan pucuk utama. Rawatan itu sepadan dengan NH<sub>4</sub> berikut nisbah: T<sub>0</sub> = 0:4, T<sub>1</sub> = 1:3, T<sub>2</sub> = 2:2, T<sub>3</sub> = 3:1 dan T<sub>4</sub> = 4:0. Aras keertian (Nilai P) ditentukan dengan analisis varians** + : NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

	Panjang (cm)			Bilangan nod		
	Pucuk keseluruhan	unit pertumbuhan pertama	unit pertumbuhan ke-2	Pucuk keseluruhan	unit pertumbuhan pertama	unit pertumbuhan ke-2
T <sub>0</sub>	42.79a	14.74a	28.04a	27.44	12.75	14.69a
T <sub>1</sub>	30.68ab	12.19b	18.49ab	22.97	11.90	11.07ab
T <sub>2</sub>	29.78ab	9.69b	20.09ab	22.64	11.12	11.53ab
T <sub>3</sub>	25.06ab	9.00b	16.06ab	22.49	11.98	10.51ab
T <sub>4</sub>	27.30b	12.94b	14.36b	23.09	13.88	9.21b
nilai P	0.02	0.007	0.02	0.10	0.12	0.03

a, b Bermaksud dalam lajur dengan huruf yang berbeza menunjukkan ujian perbandingan berpasangan bermakna dengan perbezaan statistik pada  $P \leq 0.05$ .

**Jadual 3. Kesan perkadaran NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mengenai perkembangan pucuk sekunder pada unit pertumbuhan pertama dan kedua pucuk primer. Rawatan itu sepadan dengan NH<sub>4</sub> berikut nisbah: T<sub>0</sub> = 0:4, T<sub>1</sub> = 1:3, T<sub>2</sub> = 2:2, T<sub>3</sub> = 3:1 dan T<sub>4</sub> = 4:0. Aras keertian (Nilai P) ditentukan oleh analisis varians**

	Purata panjang pucuk sekunder (cm)		Bilangan pucuk sekunder	
	unit pertumbuhan pertama	unit pertumbuhan ke-2	unit pertumbuhan pertama	unit pertumbuhan ke-2
T <sub>0</sub>	21.89a	14.56	1.06	2.69a
T <sub>1</sub>	15.7ab	21.78	1.36	2.00ab
T <sub>2</sub>	14.19ab	15.99	0.81	1.80ab
T <sub>3</sub>	13.44ab	16.26	0.80	1.11ab
T <sub>4</sub>	11.39b	13.15	3.25	0.16b
Nilai P	0.03	0.26	0.16	0.05

a, b Bermaksud dalam lajur dengan huruf yang berbeza menunjukkan ujian perbandingan berpasangan bermakna dengan perbezaan statistik pada  $P \leq 0.05$ .

1986; Salsac et al. 1987; Raab dan Terry 1995), atau kesan penanda, sama ada melalui pengurangan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> traksi atau melalui perubahan keseimbangan hormon (Walsh-Liu et al. 2000).

Kesan toksik langsung ammonium nampaknya tidak mungkin dalam eksperimen sekarang. Kesan ini sepatutnya muncul tidak lama selepas NH<sub>4</sub><sup>+</sup> telah ditambah kepada larutan nutrien. Pada sebaliknya, parameter yang berkaitan dengan pembangunan unit pertumbuhan pertama (jumlah panjang unit pertumbuhan dan nombor nod yang terbentuk) kelihatan sedikit terjejas oleh bentuk N dibekalkan, yang konsisten dengan laporan sebelumnya bahawa avo cado pada peringkat awal perkembangannya tidak bertindak balas bentuk nitrogen (Lovatt 1996). Juga, walaupun terdapat perbezaan dalam morfologi daun, bentuk N nampaknya tidak menjejaskan mereka berfungsi: kepekatan nitrogen daun kekal di sekeliling 2.69% N dalam semua rawatan, yang berada dalam had yang dianggap optimum oleh beberapa pengarang (Lovatt 1996; Rengrudkij 2003; Wolstenholme 2004), tiada kesan ke atas nisbah nitrogen/karbon diperhatikan, dan hubungannya antara jumlah N dalam daun dan pengumpulan biojisim menunjukkan bahawa kecekapan fotosintesis daun N tidak terjejas oleh borang N yang dibekalkan.

Kesan tidak langsung NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pada pengambilan nutrien mineral tidak boleh dibuang, kerana NH<sub>4</sub><sup>+</sup> telah ditunjukkan kepada mengurangkan pertumbuhan akar dan pembentukan rambut akar dan, oleh itu, pengambilan unsur-unsur seperti zink dan besi (Crowley 1997). Pengasidan substrat yang berkaitan dengan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pengambilan juga mungkin telah menjejaskan penyerapan min ion eral. Walau bagaimanapun, ini tidak mungkin berlaku dalam hal ini percubaan memandangkan tiada simptom kekurangan yang kelihatan, semua unsur dalam larutan dikekalkan pada agaknya

tahap tinggi dengan memperbaharui larutan dan pH diselaraskan dengan kerap.

Kesan nitrogen yang paling berkemungkinan ialah mempengaruhi isyarat hormonal dalam fungsi yang berkaitan dengan morfogenesis. The ion nitrat dengan sendirinya diketahui terlibat dalam memberi isyarat masuk pelbagai proses fisiologi terutamanya berkaitan dengan pengurangan dan asimilasi gen nitro, tetapi juga dengan seni bina akar (Takei et al. 2002). Pemakanan nitrogen juga menjejaskan sintesis dan translokasi sitokinin yang mempengaruhi morfogenesis (Kende dan Zeevaart 1997).

Tindak balas tumbuhan terhadap NH<sub>4</sub><sup>+</sup> berubah semasa pembangunan. Dalam unit pertumbuhan pertama, bilangan nod tidak terjejas, dan jumlah panjang hanya sedikit, tanpa progresif tindak balas kepada NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Sebaliknya, semasa pertumbuhan kedua unit, pembolehubah ini dikurangkan dengan ketara sebanyak satu peningkatan dalam bahagian NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam larutan. The corak bercabang adalah satu lagi petunjuk tentang perubahan ini tindak balas kepada NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Memandangkan nasib tunas axillary ditentukan oleh keadaan yang lazim pada masa pembentukannya (Kervella et al. 1995), hakikat bahawa bilangan pucuk axillary tidak terjejas semasa pembentukan unit pertumbuhan pertama menunjukkan bahawa tumbuhan tidak sensitif terhadap bentuk nitrogen semasa pembentukan unit pertumbuhan pertama, dan menjadi terjejas semasa yang kedua. Panjangnya pucuk axillary mengesahkan tindak balas ini dari semasa ke semasa; ini pucuk telah dimulakan semasa unit pertumbuhan pertama, tetapi mereka pemanjangan berlaku pada masa yang sama dengan pertumbuhan kedua unit dibangunkan. Hakikat bahawa panjang purata mereka berkurangan dengan nisbah NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam penyelesaian mengesahkan bahawa sensitiviti kepada bentuk N muncul pada masa pertumbuhan kedua unit mula berkembang.

Sebab-sebab perubahan sensitiviti kepada bentuk nitrogen ini masih tidak diketahui. Perubahan dalam tindak balas hormon semasa peringkat juvana tumbuhan adalah mungkin. Juga, kebanyakan unit pertumbuhan pertama mungkin bergantung pada rizab keturunan (rizab nitrogen dan karbohidrat), yang mungkin menyebabkan tumbuhan kurang bergantung kepada sumber N luaran, manakala unit pertumbuhan kedua memerlukan pengambilan dan asimilasi nitrogen luaran, dan dipengaruhi oleh bentuk nitrogen. Kekurangan berselang-seli perkembangan pucuk dan akar juga merupakan fenomena yang terkenal, terutamanya dalam pokok tropika (Thaler dan Pagès 1996). Dalam eksperimen ini, nitrogen semasa unit pertumbuhan pertama mungkin telah menjejaskan perkembangan akar berikut, manakala kesan ke atas pembangunan udara mungkin muncul hanya semasa unit pertumbuhan kedua.

### KESIMPULAN

Kajian ini membentangkan kesan perkadaran  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  dalam larutan nutrien ke atas pertumbuhan vegetatif dan seni bina tumbuhan alpukat. Secara umum, meningkatkan perkadaran  $\text{NH}_4^+$  menekan pengumpulan bahan organik dalam pucuk dan akar, dan  $\text{NO}_3^-$  dalam larutan ke atas kandungan nitrogen dan karbon daun mahupun dalam pucuk dan akar. Kandungan N daun

**Benjamini, Y. dan Hochberg, Y. 1995.** Mengawal kadar perlindungan penemuan palsu: pendekatan praktikal dan berkuasa untuk pelbagai ujian. *JR Stat. Saya adalah. Akan menjadi.* **57:** 289–300.

**Cardenas Navarro, R., Adamowicz, S. dan Robin, P. 1998.**

Memodelkan pengambilan nitrat diurnal dalam tumbuhan tomat muda (*Lycopersicon esculentum* Mill.) menggunakan model homeostatik. *Acta Hortic.* **456:** 247–253.

**Cárdenas Navarro, R., López-Pérez, L., Lobit, P., Ruiz-Corro, R. dan Castellanos-Morales, VC 2006.** Kesan sumber nitrogen pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan strawberi. *J. Nutr Tumbuhan.* **29:** 1699–1707.

**Chaillou, S., Morot-Gaudry, JF, Salsac, L., Lesaint, C. dan Jolivet, E. 1986.**

Kesan perbandingan  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  pada pertumbuhan dan metabolisme Perancis. *Physiologie Végétale* **24:** 679–687.

**Claussen, W. dan Lenz, F. 1999.** Kesan pemakanan ammonium atau nitrat pada fotosintesis bersih, pertumbuhan dan aktiviti enzim nitrat reduktase dan glutamin sintetase dalam blueberry, raspberi dan strawberi. *Tanah Tumbuhan.* **208:** 95–102.

**Cox, WJ dan Reisenauer, HM 1973.** Pertumbuhan dan pengambilan ion oleh gandum yang dibekalkan N sebagai  $\text{NO}_3^-$ , atau  $\text{NH}_4^+$ , atau kedua-duanya. *Tanah Tumbuhan.* **38:** 363–380.

**Crowley, DE 1997.** Pembetulan kekurangan zink dalam Avocado.

*Proc. Simposium Penyelidikan Avokado. Persatuan Avocado California dan Universiti California, Riverside, CA. ms 9–12.*

**Gerendás J., Zhu, Z., Bendixen, R., Ratcliffe, RG dan Sattelmacher, B.**

1997. Proses fisiologi dan biokimia yang berkaitan dengan ketoksikan ammonium dalam tumbuhan yang lebih tinggi. *Z. Pflanzenernaehr Bodenkd.* **160:** 239–251.

**Haynes, RJ dan Goh, KM 1978.** tumbuhan  $\text{NH}_4^+$ . *biochimica et biophysica Acta*

**Hopkins, WG 1999.** *Dalam* Pengenalan kepada fisiologi tumbuhan. Wiley, New York, NY. ed ke-2. 528 ms.

**INEGI. 2003.** Institut Perangkaan, Geografi dan Informatik Negara. [Dalam talian] Tersedia: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).

**Jungk, A. 1979.** Kesan ammonium dan nitrogen nitrat ke atas pertumbuhan dan komposisi tumbuhan.

*Penyelidikan Pertanian, Prosiding, Bahagian II, 18-26.*

**Kende, H. dan Zeevaart, JAD 1997.** Lima hormon tumbuhan klasik. *Sel Tumbuhan* **9:** 1197–1210.

**Kronzucker, HJ, Britto, DT, Davenport, R. dan Tester, M.**

2001. Ketoksikan ammonium dan kos sebenar pengangkutan. *Trends Plant Sci.* **6:** 335–337.

**Lovatt, CJ 1996.** Pemakanan nitrogen daripada alpukat 'Hass': Ke mana perginya semua N? *Proc. Simposium Penyelidikan Avokado. Persatuan Avocado California dan Universiti California, Riverside, CA. ms 55–62.*

**Kervella, J., Pagès, L. dan Génard, M. 1995.** Konteks pertumbuhan dan nasib meristem axillary pokok pic muda. Pengaruh ciri pertumbuhan pucuk induk dan tarikh kemunculan. *Ann. Bot.* **76:** 559–567.

**Pasukan Teras Pembangunan R. 2004.** R: Bahasa dan persekitaran untuk pengkomputeran statistik. Yayasan R untuk Pengkomputeran Statistik, Vienna, Austria. [Dalam talian] Tersedia: <http://www.R-project.org>.

**Raab TK dan Terry, N. 1994.** Peraturan sumber nitrogen pertumbuhan dan fotosintesis dalam *Beta vulgaris* L. *Plant Physiol.* **105:** 1159–1166.

**Raab TK dan Terry, N. 1995.** Karbon, nitrogen, dan interaksi nutrien dalam *Beta vulgaris* L. Seperti yang dipengaruhi oleh sumber nitrogen, berbanding  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ . *Fisiol Tumbuhan.* **70:** 1634–1636.

**– Rengrudkij, P. dan Partida, GJ 2003.** Kesan asid humik dan asid fosfat pada alpukat Hass yang dicantumkan pada anak pokok Mexico. *Proc. V Kongres Avocado Dunia. ms 395–400.*

**Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, JF, Lesaint, C. dan Jolivet, E. 1987.** Nitrat dan pemakanan ammonium dalam tumbuhan. *Fisiol Tumbuhan. Biokim.* **25:** 805–812.

**Smart, DR dan Bloom, AJ 1988.** Kinetik pengambilan ammonium dan nitrat di kalangan tomat liar dan ditanam. *Oecologia* **76:** 336–340.

**Smart, DR dan Bloom, AJ 1993.** Hubungan antara  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  penyerapan (*Lycopersicon esculentum* L.) dan pertumbuhan. *Persekitaran Sel Tumbuhan* **16:** 251–260.

**Smart, DR dan Bloom, AJ 1998.** Penyiataan penyerapan ion  $\text{NH}_4^+$  dedahan. I. Hubungan antara efluks  $\text{H}^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  penyerapan. *J. Exp. Bot.* **49(318):** 95–100.

**Takács, E. and Técsi, L. 1992.** Kesan pada nisbah  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  pada kadar fotosintesis, aktiviti nitrat reduktase dan struktur ultra kloroplas dalam tiga kultivar lada merah (*Capsicum annum* L.). *J. Fisiol Tumbuhan.* **140:** 298–305.

**Takei, K., Takahashi T., Sugiyama, T., Yamaya, T.**

**Sakakibara, H. 2002.** Pelbagai laluan yang menyampaikan ketersediaan nitrogen dari akar ke pucuk: laluan transduksi isyarat yang dimediasi oleh sitokinin. *J. Exp. Bot.* **53:** 971–977.

**Thaler, P. dan Pagès, L. 1996.** Keberkasaan dalam pembangunan sistem akar pokok getah muda (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.): hubungan dengan perkembangan pucuk. *Persekitaran Sel Tumbuhan.* **19:** 56–64.

**Thibaud, JB dan Grignon, C. 1981.** Mekanisme pengambilan nitrat dalam akar jagung. *Tumbuhan Sci. Lett.* **22:** 211–217.

**Walsh-Liu, P., Neumann, G., Bangerth, F. dan Engels, C. 2000.**

Kesan cepat bentuk nitrogen pada morfogenesis daun dalam tembakau. *J. Exp. Bot.* **51:** 227–237.

**Wolstenholme, BN 2004.** Nitrogen – Elemen manipulator: Mengurus input dan output dalam persekitaran yang berbeza. *Persatuan Penanam Avocado Afrika Selatan. Buku Tahunan 2004.* **27:** 45–61.

**Zilkah, S., Yeselson, Y., David, I. and Klein, I. 2000.** Kesan peringkat fenologi bermusim pada pengambilan dan pengedaran  $^{15}\text{N}$  berlabel ammonium dan nitrat dalam pokok alpukat muda. *ISHS Acta Horticulturae 511: Kongres Hortikultur Antarabangsa XXV, Bahagian 1: Teknik Budaya dengan Penekanan Khas terhadap Implikasi Alam Sekitar - Pengurusan Nutrien.*

