臺灣經濟果樹栽培技術及應用研究研討會專集 47～60 (1994)

木瓜缺鉀之診斷及其生理反應

潘惠純　林慧玲　李國權
國立中興大學園藝學系

摘　要

本實驗以水耕栽培之木瓜施以不同濃度之鉀肥，結果顯示木瓜缺鉀病徵爲下位葉產生黃化及邊緣枯焦、葉面積變小、植株矮化、根與根毛發育不良及葉片水分潛勢下降。另外，缺鉀時，亦可發現可溶性蛋白質及碳水化合物含量增加、腐肉胺(Putrescine)大量累積、呼吸率上升、Pyruvate kinase的活性降低及上、下位葉鉀的比值有增高之趨勢。

關鍵字：鉀、礦物營養診斷。

前　言

鉀肥是作物生長發育所必需的營養元素。而作物因種類及生長階段不同，對鉀肥之需求亦有所差異。一般而言，作物在幼苗期對缺鉀最爲敏感。植株幼嫩組織的膨壓首先受影響，進而影響生長勢及各項代謝作用。鉀離子在植體中爲容易轉運之元素，當鉀缺乏時，能從成熟葉運輸到新葉以供生長之需，而使缺乏病徵出現於成熟葉上，若根部吸收之鉀離子足夠植體所需時，成熟葉及新葉之鉀濃度應頗爲接近，及兩者比值近於 1 [14]此時濃度範圍應是作物生長之最適濃度。

本實驗以木瓜進行水耕栽培，施予不同鉀肥濃度處理，期能了解鉀對木瓜生理功能之影響，並作爲鉀肥施用之參考。

材料與方法

材料

本試驗以木瓜(*Carica papaya* L.)台農二號(TaiNung No. 2)品種爲試驗材料。

試驗方法

本試驗在中興大學網室內進行。水耕液之調配大量元素係依據Hoagland & Arnon[5]配方，微量元素則採用Johnson修正配方。每隔二至三天每公升養液加0.01 M Fe-EDTA (ethylene diaminetetracetic acid) 1 ml作爲鐵的來源。並在每棵植株的養液中接上通氣塑膠管，以幫浦打入空氣。

處理方法

木瓜種子於播種前先以紗布包妥，置於流動水中沖洗，隔夜後取出播於蛭石中。約經2～3星期後，將其移植於10 l的四方盆內，水耕液濃度爲Hoagland & Arnon及Johnson配方之半量，二星期後改爲全量，當植株長至約15～20 cm高時，將之定植於2 l的塑膠桶內，再經十天左右健化後，開始予以不同濃度鉀(0、78、234、468 ppm)處理。自處理後每週更換水耕液

一次，並作各項田間紀錄調查及分析工作。

調查及分析方法

一植株生長性狀之調查

自處理週起，每週測量植株高度、葉面積、地上部、地下部的鮮物重及乾物重。觀察並記錄正常與處理植株葉片及根生長發育之差異與缺鉀病徵出現的時期。

二呼吸作用之測定

以最高直立葉以下第一片葉作爲呼吸率測定。先在葉片旁架設一不透光的箱子 (23 × 23× 8 cm)，葉片置入此箱前，先抽取1 ml空氣，再將葉片置入箱內密封，暗處理一小時後，抽取此時箱內的空氣1 ml。利用配置之Gas chromatography以Thermal conductivity detector測定二氧化碳含量變化。

三葉片水分代謝之測定

㈠水分潛勢(Water potential, ψ w)

以最高直立葉以下第二片葉做爲水分代謝測定。將葉柄固定於水分潛勢測定儀 (pressure bomb)裝置上，緩慢地施放壓縮空氣（氮氣）直到葉柄切面滲出第一滴汁液，計錄此時壓力數值即爲葉片水分潛勢。

㈡滲透潛勢(Osmotic potential, $\psi \pi$)

以滲透潛勢測定儀(Vapor pressure osmoter, mode 15500, WESCOR)測定。取最高直立葉以下第二片葉，用打孔器取六個直徑0.65 cm的葉圓片(leaf disc)，將葉圓片壓榨出汁液於直徑0.65 cm的圓形濾紙(sample-disc, ss-033, WESCOR)上，測出的讀值爲mmol溶質/Kg，依 $\psi \pi = -$ RTC（R=0.0381 L· bar/ mole K, T=298K, C =測得之讀值×10），換算出葉片之滲透潛勢。

四生化分析

㈠可溶性蛋白質(Soluble protein)之測定

採用Lowry法[10]。取木瓜直立葉第二片組織0.5 g加入5 ml萃取緩衝液（0.1 M磷酸緩衝液，pH=7.0）及少許海砂，放置於冰浴中研缽內研磨，萃取液經20,000 x g在2℃下離心20分鐘後，取上層液0.1 ml加入1.9 ml蒸餾水再加入5 ml reagent A（2 g Na_2CO_3，1 ml 2% $K_2C_2H_2O_6$，10 ml 1 N NaOH，1% $CuSO_4$ 1 ml，90 ml蒸餾水）混合均勻，放置10分鐘後再加入0.5 ml reagent B (folin： H_2O =1： (v/v))混合，靜置30分鐘後，以Shimadzu UV-200 Double Beam光電比色計測其在660 nm之吸收度，標準曲線以Bovine serum albumin 0.5 mg/ml配置。

㈡硝酸鹽(Nitrate)之測定

依Wolley[16]之法，取上述㈠之萃取液0.5 ml，加入4.5 ml之20%醋酸溶液（含0.2 ppm Cu）及0.2 g還原性粉劑($BaSO_4$ ： Citric acid： $MnSO_4$： Zinc powder： Sulfanilic acid： α -napthylamine = 10： 75： 10： 2： 4： 2)，每隔三分鐘强烈搖動15秒共計三次。再經室溫下6,000 xg離心5分鐘，取上層液在520 nm下測其吸收度，以0～0.5 mg/ml KNO_3做標準曲線。

㈢氨態氮(Ammonia-nitrogen)之測定

根據 Nessler's reagent 方法[13]。取上述㈠之葉片萃取液 1 ml 加入 1 ml 20% TCA (trichloro acetic acid)，於室溫下離心 20,000 xg五分鐘後取出上層液 0.2 ml，加入 0.2 ml

Nessler's reagent，定量至10 ml，混合均勻後靜置20分鐘，在420 nm下測其吸收度。標準曲線以$(NH_4)_2SO_4$配製。

㈣丙酮酸激酶活性(Pyruvate Kinase activity)測定

根據Kachmar and Boyer[8]方法。取木瓜最高直立葉以下第一片葉組織2 g，加入15 ml Tris-HCl buffer（0.1 M，pH=7.4，含50% glycerol及0.01 M 2-mercaptoethanol），在2℃低溫下用polytron磨碎約4分鐘，再將混合液以2℃ 30,000 x g離心10分鐘，取上層液0.3 ml，加入0.7 ml試液(50 μ mole tris-HCl buffer, pH=7.4：1.5 μ mole phosphoenolpyruvate (PEP, monocyclohexylamine salt)：10 μ mole $MgSO_4$：50 μ mole KCl：1.25 μ mole ADP (tris salt) = 2：1：1：2：1 (v/v))混合，在30℃下震盪10分鐘，再加入1 ml 0.025% 2, 4-di-nitro-phenylhydrazine (in 2 N HCl)，10分鐘之後加入5 ml 0.6 N NaOH，再經10分鐘測其在510 nm下之吸收度。

㈤多胺類的萃取及分析

根據Smith and Best[12]方法。取0.3 g冷凍乾燥後之葉片組織，加5 ml之4% $HClO_4$溶液在冰浴中以polytron打碎，於15,000 x g離心30分鐘，將上層澄清液與沉澱部分分離，取抽出液0.2 ml置於Ependorff試管中，加入0.2 ml之飽合Na_2CO_3溶液，再加入0.4 ml之Dansyl-Chloride（7.5 mg/ml溶於丙酮中）蓋上蓋子，混合均勻後於60℃之烘箱內反應一小時。之後加入50μl脯胺酸(Proline, 20 mg/ml)混合均勻，置於黑暗中反應30分鐘，使其與多餘的Dansyl-Cl作用，中止反應後，加入0.5 ml甲苯(Toluene)，激烈震盪後，靜置待其分層，上層的甲苯萃取液即含有已經Dansylation的多胺類。

經過Dansylation之多胺類，以TLC (Thin-layer chromatography)方式分類。Whatman LK6D之Silica gel片先在110℃下烘10～20分鐘，去除水分。取適量之甲苯萃取液(40～200 μl)，點在TLC片下方之濃縮區(concentration zone)上，立刻置於展開槽進行分離，展開液爲ethylacetate：cyclohexane (2：3, (v/v))。展開完成後，以吹風機將其吹乾，以366 nm波長之UV燈找出多胺類之部位，將其刮下，以1 ml ethylacetate洗出。利用螢光光電比色計定量（激光波長爲365 nm，測定放射波長爲495 nm）。標準曲線以putrescine、spermidine及spermine配製。

㈥營養元素之分析

植物樣品收集後，先用自來水將表面灰塵洗淨，再浸入1% HCl片刻，而後用蒸餾水快洗三次，沖洗時間前後不超過一分鐘。將沖洗後之根、莖、上下位葉分別裝入長35 cm，寬25 cm之紙袋內，放入通風之乾燥箱，先以100℃烘乾一小時，再以70℃烘乾48 hr以上。之後將烘乾之樣品用磨碎機(Willey mill)磨碎並過篩(40 mesh)，將粉末裝入硫酸紙袋，以供乾灰化。

乾灰化乃取烘乾樣品，精稱0.5 g均勻放入坩堝中，置入灰化爐內，先以200℃加熱二小時後，將溫度調整至400℃加熱一小時，最後再調高至550℃，加熱二小時後，立刻用夾子夾出，待冷卻後加入2 N HCl 5 ml，充分溶解灰分後，再用Whatman No. 42濾紙過濾，利用去離子水洗淨坩堝三次，再將濾液定量至25 ml，然後利用石腊膜封住定量瓶瓶口，充分搖勻，將濾液倒入100 ml之塑膠瓶備用。

測定鐵、銅、鋅、錳時，直接取上述濾液；測定鉀、鎂則取0.1 ml濾液稀釋至4 ml；測定鈣時則取0.1 ml濾液，加入1 ml 5%氧化鑭(Lanthanum oxide)再稀釋至5 ml，然後用

Varian 20A原子光譜吸收儀測定之。

測定磷則採用Vanadate-Molybdate-Yellow法[2]，取1 ml濾液加入1 ml HNO_3 Vanadate-Molybdate reagent（1升試劑中含22.5 g $(NH_4)_2MoO_4 \cdot 4H_2O$，1.25 g NH_4VO_3及250 ml conc. HNO_3），以去離子水稀釋至5 ml，混合均勻後，靜置30分鐘，以HITACHI U-2000光電比色計測定波長在470 nm之吸光度。標準曲線以磷含量50 ppm配製。

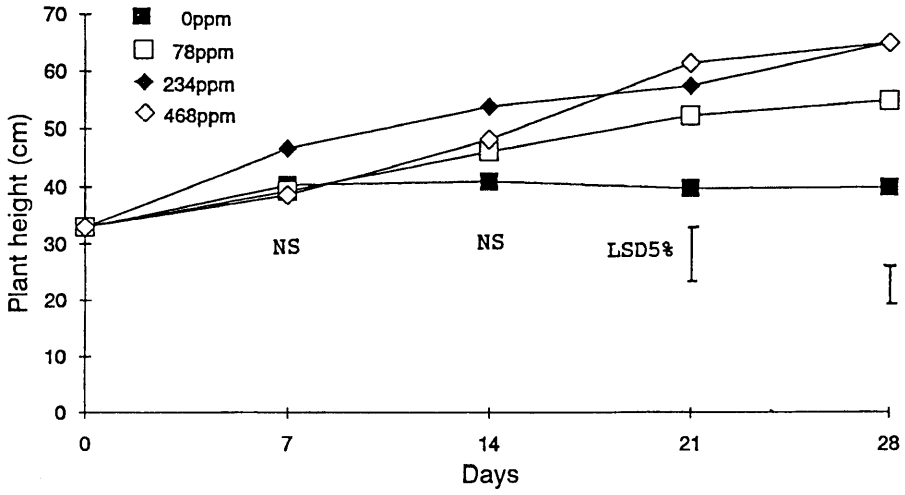
測定硼乃採用亞銨甲基－H法(azomethane-H)(Lohse, 1982)，取1 ml濾液加入2 ml buffer-masking reagent（20 g EDTA, 20 g CH_3COOK, 8 g nitrilotriacetic acid及280 g CH_3COONH_4，利用間接加熱法，使之溶於去離子水，定量至400 ml，然後加入125 ml醋酸，靜置12 hr後，再用Whatman No. 1濾紙過濾），再加1 ml azomethine-H (0.8 g azomethine-H和2 g ascorbic acid加入去離子水定量至100 ml，藥品需新鮮配製，配製後儲放於冰箱中僅可放14天)，混合均勻後，靜置一小時，再以Hitachi-2000光電比色計測定其在波長420 nm下之吸光度。標準曲線則以硼酸配製，硼含量爲3 ppm。

測定全氮是採用 Micro-kjeldahl 方法。精稱 0.2 g 磨碎之乾燥植物組織粉末，包於Whatman No.1 (110 mm切割成四等分)，置入分解瓶中，並加入1 g催化劑(K_2SO_4：$CuSO_4$：Se=100：10：1)，然後加入4.5 ml濃硫酸立刻放於分解爐上加熱，使分解至澄清綠色後，繼續加熱30分鐘，取出冷卻並加入15 ml蒸餾水，之後會呈淡藍色透明液，將此液倒入 Micro-kjeldahl 裝置中，加入 20 ml 12 N NaOH。另外用裝有 20 ml 指示劑 (methyl purple indicator)之燒杯，收集經蒸餾之氨水至接收杯內溶液體積爲50 ml止。然後以1/14 N H_2SO_4滴定，計算含氮之比例。

結　果

鉀對木瓜生育的影響

木瓜苗木經不同鉀濃度處裡後，28天試驗期間之生長高度如圖一。結果顯示，缺鉀處理組(0 ppm)自第14天起生長受阻，與其它鉀處理組(78、234、468 ppm)比較，有明顯的差異。

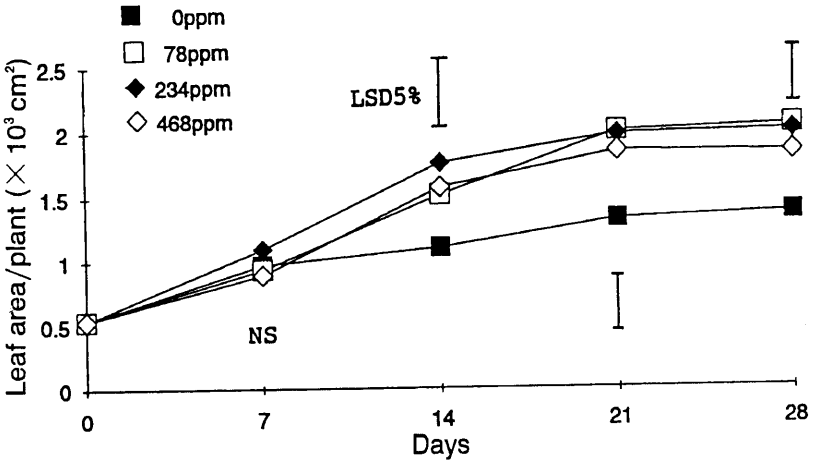


圖一、木瓜植株經不同濃度鉀處理後株高之變化
Fig. 1. Changes in plant height of papaya after potassium treatment.

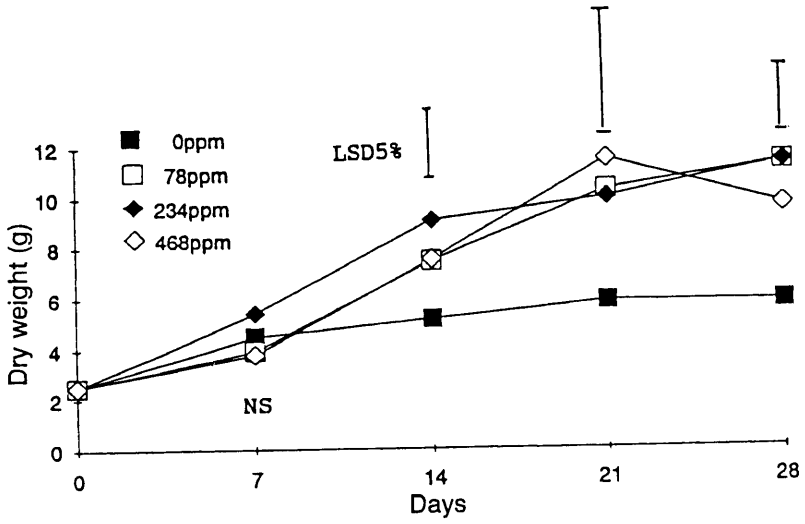
調查葉面積生長情形，顯示出缺鉀處理組(0 ppm)之葉面積自14天起擴展減緩，在第28天時與其它處理組有明顯的差異（圖二）。地上部及根部之鮮重與乾物重均呈相同之趨勢。缺鉀導致木瓜苗木地上部及地下部鮮重及乾物重下降，其中地上部乾物重減少的量大於根部乾重減少的量（圖三、四）。

鉀對木瓜呼吸率的影響

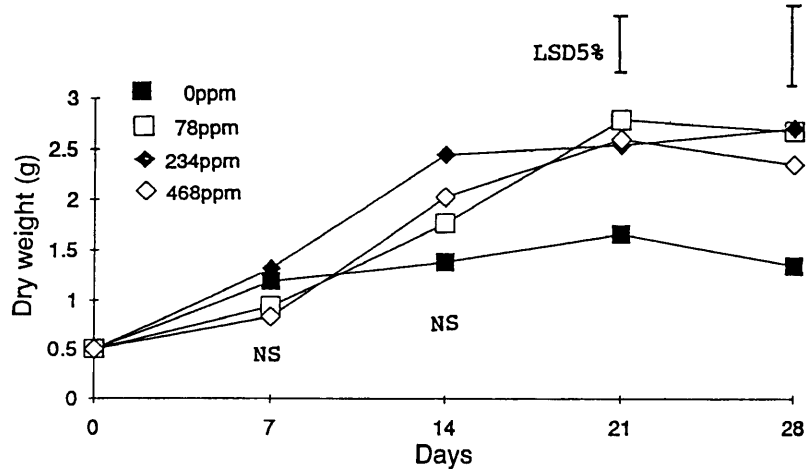
木瓜苗木經不同鉀濃度處理28天後測其呼吸率。結果顯示，78 ppm鉀處理組在第14天呼吸率高於其它各組。處理後第21及28天均以對照組(234 ppm)呼吸率最低。缺鉀處理組則有較高之趨勢（圖五）。



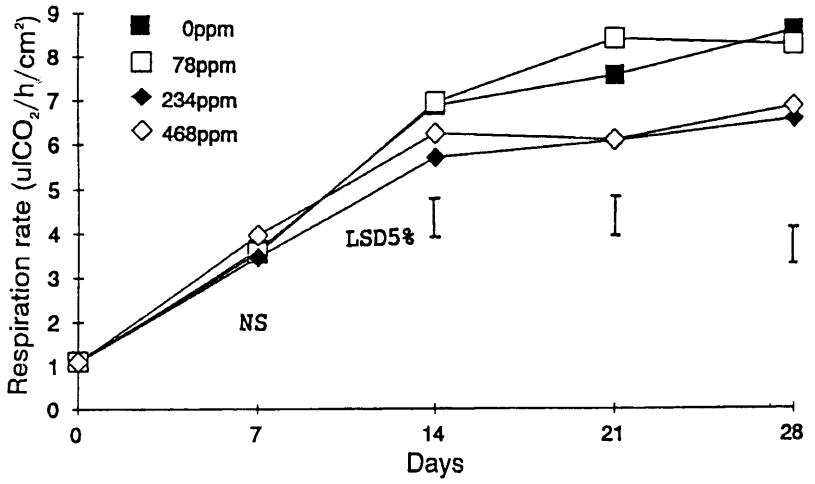
圖二、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉面積之變化
Fig. 2. Changes in leaf area of papaya after potassium treatment.



圖三、木瓜植株經不同濃度鉀處理後地上部乾物重之變化
Fig. 3. Changes in shoot dry weight of papaya after potassium treatment.



圖四、木瓜植株經不同濃度鉀處理後根部乾物重之變化
Fig. 4. Changes in root dry weight of papaya after potassium treatment.



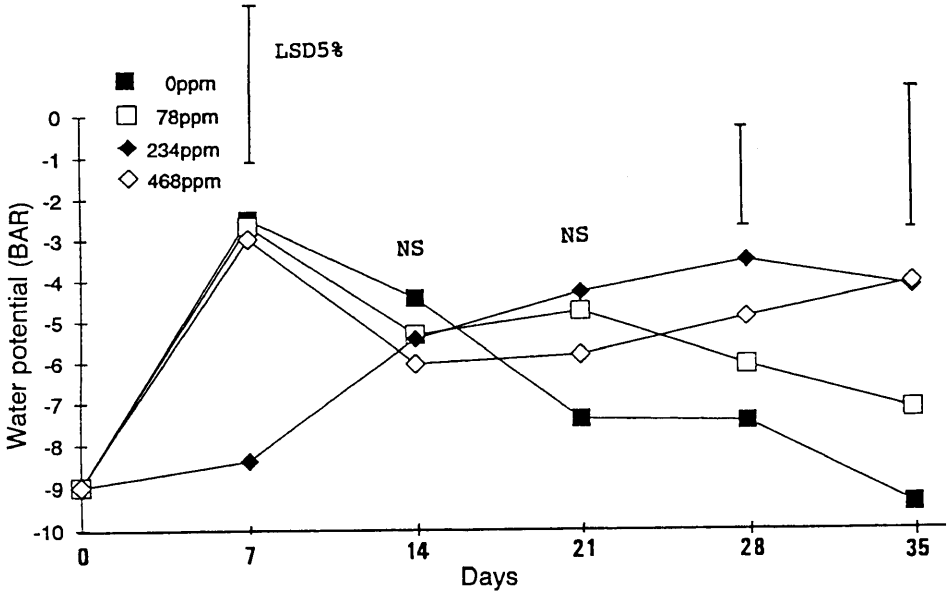
圖五、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉片呼吸率之變化
Fig. 5. Changes in leaf resparation rate of papaya after potassium treatment.

鉀對水分代謝的影響

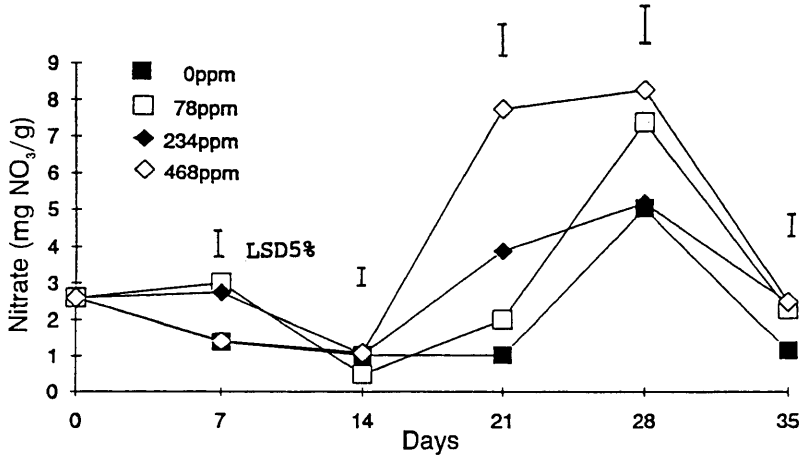
分析各處理組之葉片水分潛勢，結果顯示當鉀的濃度愈低水分潛勢降低的變化愈明顯（圖六）。在處理後第7天，除了對照組(234 ppm)以外，其它各組均明顯上升，隨後又下降。缺鉀處理21天後之木瓜葉片，其水分潛勢明顯小於其他處理組。

鉀對木瓜氮素代謝的影響

木瓜苗木經不同鉀濃度處理，葉片硝酸鹽含量的變化如圖七。試驗結果顯示處理後14天，各組的硝酸鹽含量均降低，然而經21及28天其硝酸鹽含量均上升，之後又下降。處理後第21天及28天以468 ppm處理組硝酸鹽含量最高，0 ppm處理組硝酸鹽含量最低。0 ppm處理組35

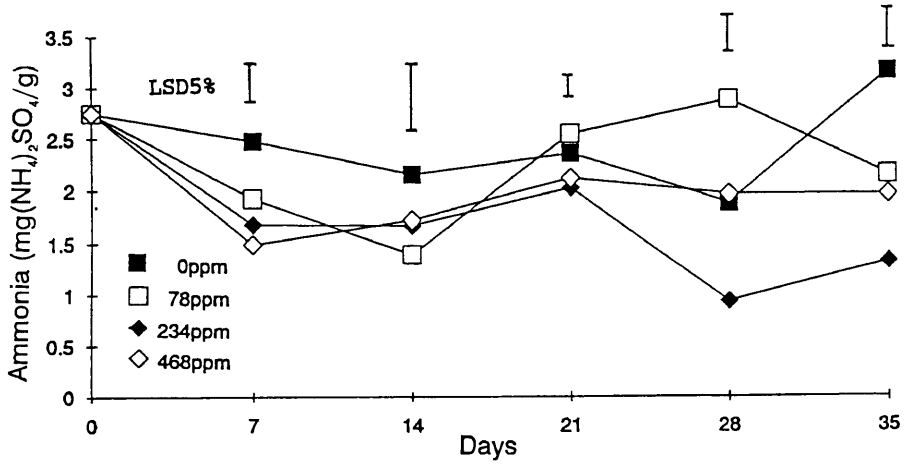


圖六、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉片水分潛勢之變化
Fig. 6. Changes in leaf water potential of papaya after potassium treatment.

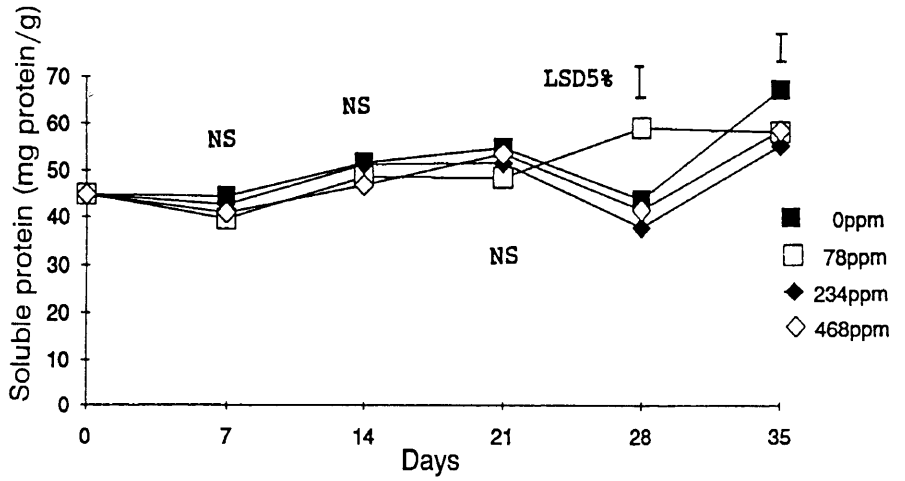


圖七、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉片硝酸鹽濃度之變化
Fig. 7. Changes in leaf nitrate concentration of papaya after potassium treatment.

天後之木瓜葉片氨態氮含量明顯高於其他各組（圖八）。各處理組氨態氮含量之變化均不太規則，對照組(234 ppm)在第28天時，其氨態氮含量偏低。分析鉀處理試驗期間木瓜葉片之可溶性蛋白質含量，發現各處理間差異很小，但缺鉀處理組(0 ppm)比其它各組可溶性蛋白質含量稍高，尤其在第35天此趨勢更明顯（圖九）。取缺鉀後第45天葉片做多胺類的分析結果顯示，缺鉀處理組(0 ppm)於試驗處理後45天腐胺酸顯著增加(putrescine)的含量，較對照組多約30倍。對於亞精胺酸(spermidine)的含量則無影響（表一）。



圖八、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉片氨態氮濃度之變化
Fig. 8. Changes in leaf ammonia concentration of papaya after potassium treatment.



圖九、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉片可溶性蛋白質濃度之變化
Fig. 9. Changes in leaf soluble protein concentration of papaya after potassium treatment.

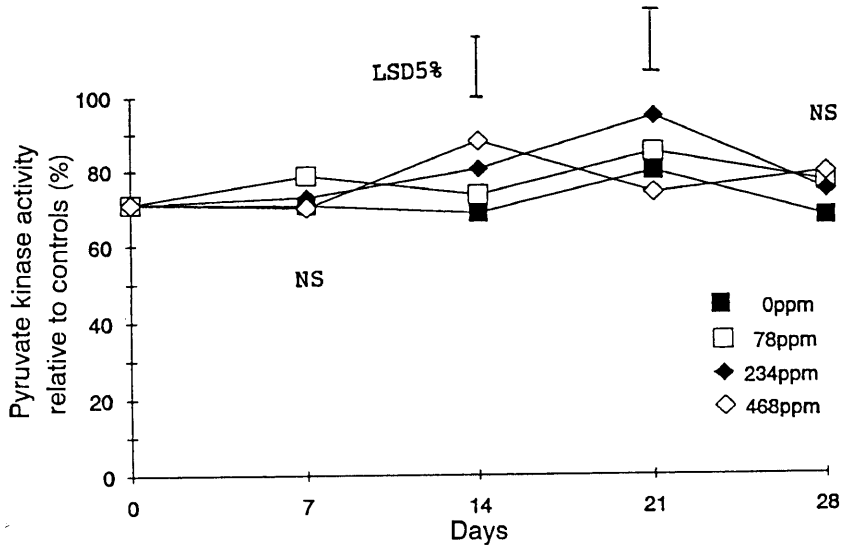
表一、木瓜植株經不同濃度鉀處理45天後葉片多胺類之濃度之變化

Table 1. The polyamine concentration of papaya leaves treated with 4 potassium concentration after 45 days of growth in culture solution

K conc. in solution (ppm)	K conc. in lower leaves (28 days) (%)	Putrescine (μmole/g・dry・wt)	Spermidine
0	0.8	71.92	2.03
78	2.6	2.30	1.61
234	3.4	2.62	2.97
468	4.9	2.85	2.97

鉀對酵素活性的影響

分析木瓜葉片丙酮酸激酶活性，顯示缺鉀處理組(0 ppm)比其它處理組低（圖十）。在試驗期間，各處理的丙酮酸激酶活性變化均不大，處理鉀的濃度愈低，酵素的活性也愈低。

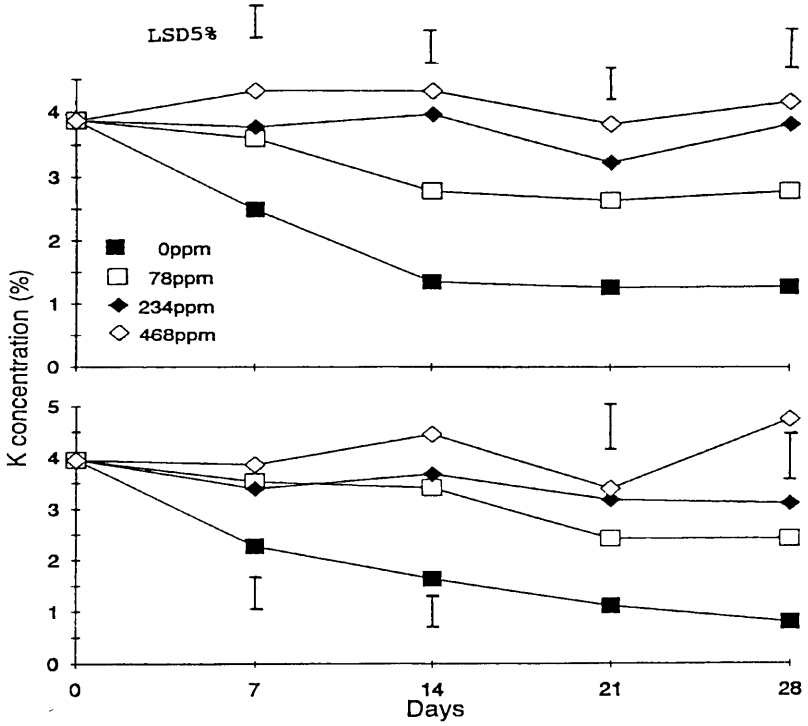


圖十、木瓜植株經不同濃度鉀處理後葉片丙酮酸激酶活性之變化
Fig. 10. Changes in leaf pyruvate kinase activity of papaya after potassium treatment.

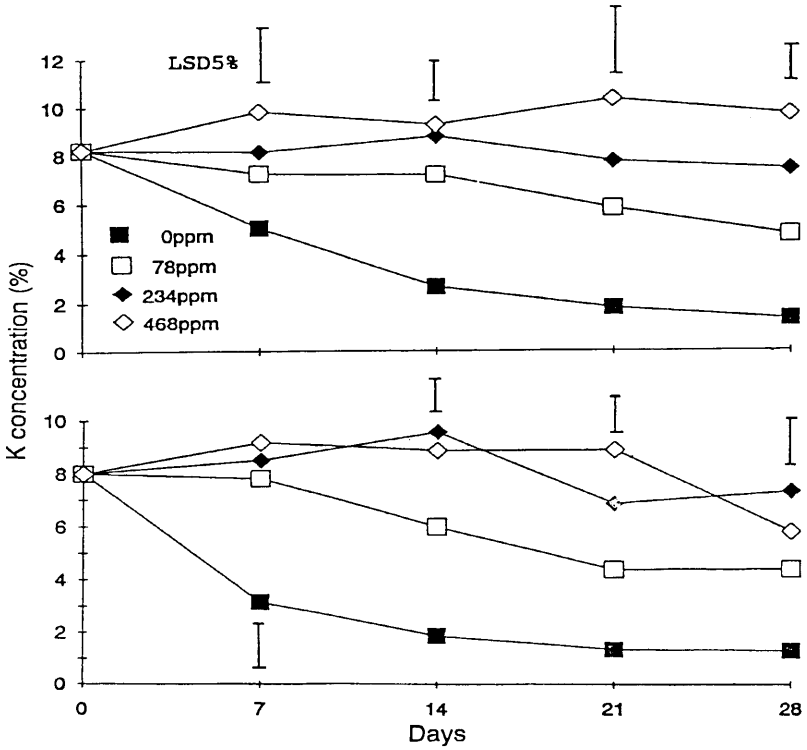
不同濃度鉀處理對木瓜各器官鉀分佈之影響

木瓜苗木經不同鉀濃度處理，缺鉀處理組自第7天起上位葉鉀濃度明顯下降，至第14天濃度不再下降保持一較低的濃度約1.2 %。中等缺鉀處理(78 ppm)亦有相同之趨勢，即上位葉鉀的濃度在14天之後即維持一穩定值。缺鉀處理自第7天起下位葉鉀濃度逐漸下降，至第28天0 ppm處理組下位葉濃度只有0.8 %（圖十一），對照組(234 ppm)比較，有明顯的差異。莖鉀濃度以缺鉀處理組(0 ppm)最低，從處理缺鉀開始，即逐漸下降，尤其在處理開始至第14天變化最爲明顯（圖十二）。根鉀濃度的變化，缺鉀處理之後隨生育期，根鉀濃度逐漸降低。但在第21天以後，根鉀濃度不再下降。78 ppm處理組有相同的趨勢。468 ppm處理組在處理21天之前根鉀濃度維持在8.5 %左右，至21天則明顯下降。缺鉀處理的木瓜苗木上位葉鉀濃度和下位葉鉀濃度的比值如圖十三所示。與對照組比較，缺鉀的比值有明顯上升的趨勢，而鉀的供應濃度正常時則維持比值約等於1。莖鉀濃度和根鉀濃度的比值如圖十四所示。

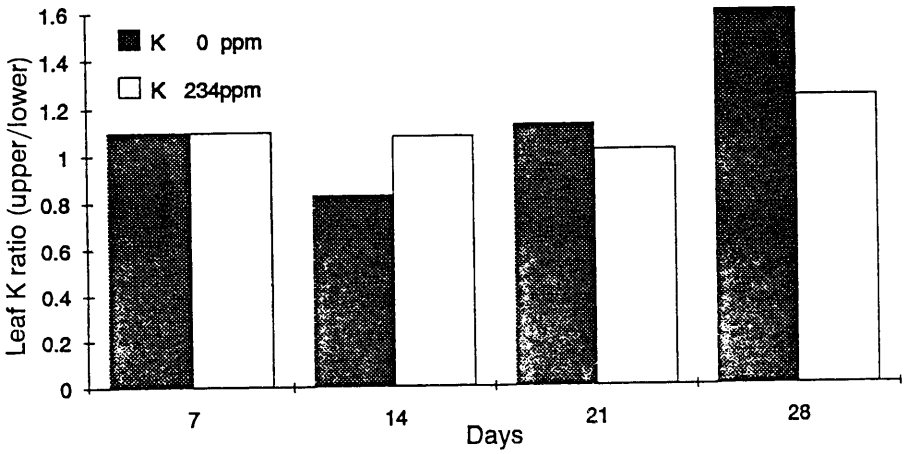
與對照組的結果比較，缺鉀處理的莖/根鉀濃度的比值在缺鉀處理的初期較高，對照組的莖/根鉀濃度比值一直維持在0.8～1左右，而缺鉀處理後莖/根鉀濃度的比值則由初期的1.4下降至0.7。



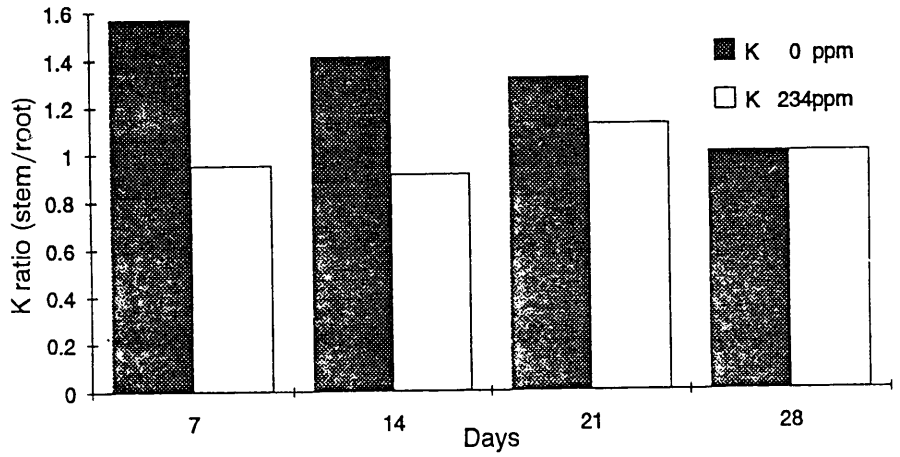
圖十一、木瓜植株經不同濃度鉀處理後上位葉（上圖）及下位葉（下面）鉀濃度之變化
Fig. 11. Changes in upper and lower leaf potassium concentration of papaya after potassium treatment.



圖十二、木瓜植株經不同濃度鉀處理後莖（上圖）及根（下面）鉀濃度之變化
Fig. 12. Changes in stem and root leaf potassium concentration of papaya after potassium treatment.



圖十三、木瓜植株經不同濃度鉀處理後上位葉／下位葉鉀濃度之變化
Fig. 13. Changes in upper/lower leaf potassium concentration of papaya after potassium treatment.



圖十四、木瓜植株經不同濃度鉀處理後莖／根鉀濃度之變化
Fig. 14. Changes in stem/root leaf potassium concentration of papaya after potassium treatment.

討　論

根據以上實驗結果可以發現，鉀對木瓜生育的影響在幼苗期即相當明顯。缺鉀時，一般作物生長停滯、鬚根和根毛生長不良[3]。地上部的病徵首先出現在老葉[14]。通常老葉的葉尖和葉緣先是發黃，進而變褐，逐漸焦枯，並在葉片上出現褐色斑點，但靠近葉脈部分仍保持原來色澤。另外節間縮短，組織死亡，葉片乾枯，症狀可蔓延到幼葉，造成頂芽壞死，常因作物不同，症狀也有差異。例如草莓缺鉀，葉經常轉爲紅色或紫色[6]。本試驗結果顯示，木瓜苗木缺鉀處理後，第14天起外觀出現缺鉀症狀，即植株生長高度開始停頓，生長遲緩，節間縮短，葉面積比正常植株顯著減小，無論是地上部或地下部的鮮重及乾重都降低。但明顯的病徵例如葉片出現葉緣焦枯及黃化壞疽現象則於處理後35天才發現。由此推測缺鉀導致的生理失調，常發生於外觀症狀出現之前。

Smith 1973 [11]年曾提出缺鉀會導致腐胺酸(Putrescine)大量累積，本試驗分析有缺鉀病徵的木瓜葉片內腐胺酸含量爲正常植株葉片的27.5倍。而另二種多胺類－精胺酸(Spermine)和亞精胺酸(Spermidine)的含量則不受缺鉀影響。推測此原因，可能是因缺鉀時植物細胞的pH值下降，而刺激腐胺酸之產生以平衡細胞之pH，但腐胺酸累積過多則引起植株組織壞疽。

缺鉀時呼吸率上升，光合作用速率減慢可能是造成木瓜地上部及地下部乾物質減少的主要原因。而缺鉀處理的木瓜葉片水分潛勢降低，造成組織含水量、細胞大小、葉片擴展、生長速率的降低。

分析木瓜葉片氨態氮含量，顯示缺鉀植株有氨態氮累積之現象。由於鉀是植物細胞內重要且濃度相當高的陽離子，缺鉀累積亦同樣帶有正價的氨態氮，可能與平衡細胞內的陽離子濃度有關。然而本實驗結果顯示硝酸鹽含量於缺鉀植株中減少，推測可能與木瓜根部生長受阻，硝酸鹽吸收與轉運減少有關。根據文獻記載，鉀至少可以影響50種以上的酵素活性[4]，因此缺鉀對酵素活性影響至爲明顯。本試驗結果顯示木瓜葉片丙酮酸激鎢活性在缺鉀時降低，對於ATP的產生乃至上述養分吸收，植株生長，應均有所關聯。

由本試驗缺鉀反應可以得知鉀對於木瓜苗木生育影響十分重要。由於鉀在植物體內是相當容易移動的元素，其經常可以從老的組織轉移到幼嫩的組織中去，本試驗結果顯示木瓜植株鉀的供應正常時，上位葉與下位葉鉀濃度的比值接近1，若發生缺鉀時則比值會超過1，以此方法來診斷作物鉀的供應是否充足，應是另一有效之評估方法。

誌　謝

本研究承蒙農委會79農建-7.1-糧-54(5)經費補助，謹此誌謝。

參考文獻

1. Besford, R.T. 1978. Use of pyruvate kinase activity of leaf extracts for the quantitative assessment of potassium and magnesium status of tomato plants. Ann. Bot. 42 : 317－324.
2. Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1961. Methods analysis for soils, plants, and waters. Univ. of Calif. p.17.
3. Davidson, H. 1969. Potassium nutrition of woody ornamental plants. HortScience. 4(1) : 44－45.
4. Evans, H. J. and G. J. Sorger. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17 : 47－76.
5. Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Cir. 347 : 31.
6. Humbert, R.P. 1969. Potassium in relation to food production. HortScience. 4(1) : 35－36.
7. Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer and A.B. Carlton. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and Soil. 8 : 337－353.
8. Kachmar, J.F. and P.D. Boyer. 1953. Kinetic analysis of enzyme reactions. II . The potassium activator and calcium inhibition of pyruvic phosphoferase. J. Biol. Chem. 200 : 669－682.
9. Lohse, G. 1982. Microanalytical azomethine-H method for boron determination on plant tissue. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 13(2) : 127－134.
10. Lowry, O.H., N.J. Roseborough, A.L. Farr and R.J. Rondall. 1951. Protein measurement with the Folin-phenol reagent. J. Biol. Chem. 193 : 265－275.
11. Smith, T.A. 1973. Amine levels in mineral deficient. Phytochem. 12 : 2093－2100.
12. Smith, T.A. and G.R. Best. 1977. Polyamines in barley seedlings. Phytochem. 16 : 841－843.
13. Thompson, J.F. and G.R. Morrison. 1951. Determination of organic nitrogen, control of variables in the use of Nessler's reagent. Anal. Chem. 23 : 1153－1157.
14. Wilcox, G.E. 1969. Potassium needs-diagnosis and use on vegetable crops. HortScience. 4(1) : 41.
15. Wolley, J.T., G.P. Hicks and R.H. Hageman. 1960. Rapid determination of nitrate and nitrite in plant material. J. Agr. Food Chem. 8 : 481－482.

Diagnosis of Potassium Disorder and Physiological Response in *Carica papaya* L.

Huey-Chwen Pan, Huey-Ling Lin and Kuo-Chuan Lee
Dep. of Horticulture, National Chung-Hsing University

ABSTRACT

Papaya seedlings (*Carica papaya* L. cv. Tai Nung No. 2) were grown in nutrient solution with varying potassium concentrations from 0 to 468 ppm. The growth and symptom of papaya seedling were investigated in a nethouse.

The symptom of potassium-deficiency of papaya seedlings were yellowing and necrosis of lower leaves, reduction in leaf areas and plant height, poor development of root and root hair, and decrease in leaf water potential. In addition, increases in soluble protein and carbohydrate, accumulation of putrescine, enhancement of respiration rate, the ratio of potassium content in upper and lower leaves, and decreaseg of activity of pyruvate kinase were observed in potassium deficiency plants.

Key words: potassium, mineral nutrition diagnosis.