

연구보고

K(⁸⁶Rb)-bioassay를 이용한 감귤나무의 가리영양진단법 개발

유장걸*, 한해룡¹, 문덕영², 김창명², 임한철²,
문두경², 송성준³

제주대학교 농화학과, ¹제주대학교

원예학과, ²제주감귤연구소,

³제주대학교 방사능이용연구소

Development of K-bioassay for the efficient potassium fertilization of citrus tree

Zang-Kual U*, Hae-Ryong Han¹, Duk-Young Moon², Chang-Myung Kim², Han-Cheol Lim², Do-Kyung Moon², Sung-Jun Song³(Department of Agricultural Chemistry, Cheju National University, Cheju 690-756, ¹Department of Horticultural Science, Cheju National University, Cheju 690-756, ²Cheju Citrus Research Institute, RDA, Cheju 699-807 and ³Cheju Applied Radioisotope Research Institute, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea)

Abstract

Similar to the ⁴²K uptake, ⁸⁶Rb uptake by the roots of *Hordeum distichum* grown in the hydroponic culture was negatively correlated with the concentration of K supplied previously, showing that ⁸⁶Rb can be used for the K-bioassay. ⁸⁶Rb having longer half life(18.86 day) than ⁴²K(12.36 hr) allowed the use of larger number of root samples. ⁸⁶Rb uptake of 3 years old *Citrus unshiu* Marc. grown in water culture decreased drastically with the increase of K concentration of the culture solution, thus demonstrating that the nutrition status of K for citrus trees can be diagnosed by K-bioassay using ⁸⁶Rb tracer. ⁸⁶Rb uptake by the excised roots of *Hordeum distichum* ¹correlated with the exchangeable K in soil. The amount

of exchangeable K in soil for the optimal plant growth can be determined by its relationship. ⁴²K- and ⁸⁶Rb-uptake by the *Hordeum distichum* roots were markedly inhibited by 5 x 10⁻³ M KCN in the bioassay solution, indicating that uptake is metabolically controlled. There was no significant relationship between K content in citrus leaves and K concentration in the water-culture medium. It is concluded that K-bioassay is a potentially useful tool for determining of K requirement in citrus trees.

서론

UR협상이 타결됨에 따라 값싸고 우수한 품질의 외국산 오렌지 및 감귤이 차후 10년동안의 유예기간을 걸쳐 완전 수입개방이 되기 때문에 이 유예기간동안에 경쟁력을 갖추지 못하면 제주 감귤재배 농민들이 매우 심각한 타격을 받을 것으로 예상된다. 따라서 합리적인 비배관리 기술을 확립하여 감귤의 품질을 향상시키고, 생산비 절감방안을 시급히 강구하여 제주산 감귤의 국제 경쟁력을 키우는 일이 무엇보다도 시급히 해결되어야 할 과제이다. 그런데, 감귤재배 농민들은 다비를 해야만이 감귤의 품질과 생산량이 증대된다고 생각하여 권장시비량보다 상당히 많은 양의 비료를 감귤원에 시비하여¹⁾ 농업의 생산성 효율을 저하시키고 있다. 그러나 시비반응이 둔감하다는 감귤의 영양생리적 특성 때문에^{2,3)} 엽분석법으로는 영양상태^{4,5)}는 물론 시비적량을 파악할 수 없어 아직도 30년전의 일본자료⁶⁾에 근거하여 농민들에게 시비적량을 권장하고 있기 때문에 설득력이 부족하여 감귤시비문제가 심각하게 대두되고 있다.

따라서 감귤나무의 양분영양상태를 좀더 예민하게 알아 낼 수 있는 방법의 정립은 시비의 적정화 측면에서 매우 중요한 일이다.

본 연구진은 식물의 생리적인 양분요구도를 산정하는 ³²P bioassay법^{7,8,9)}을 감귤나무의 인산 영양진단에 이용하는 연구를 실시하여 엽분석이나 토양분석을 가지고 판단하기 힘들었던 감귤의 인산영양상태를 정확하게 알아낼 수 있는

본 논문은 한국농화학회지 33권3호(1994)에 게재됨.

방법을 확립한 바 있다^{10,11)}.

그러므로 본 연구에서는 인산 영양 진단에 활용되었던 뿌리 bioassay법을 감귤나무의 가리 영양진단에 이용하는 기술을 정립함으로써 합리적인 시비관리(시비시기 및 시비량 결정) 방안의 확립, 가리질 비료의 효율 증진, 품질향상 및 농비절감 등에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

수경 및 토경재배

맥주보리(*Hordeum distichum*): 제주도 농촌진흥원으로 부터 공급받은 맥주보리(두산) 종자를 0.5% 차아 염소산 나트륨용액에서 20분간 표면살균¹²⁾하고, 증류수로 3회 세척한 뒤, petridish에 넣어 25°C 항온기에서 발아시켰다. 그후 발아가 양호한 것만 골라 growth cabinet (20°C, 50 Klux)에서 4주간 수경재배를 실시하였다. 이때 영양액은 Hoagland 수경액조성¹³⁾을 기본으로 하여 K만 0, 2.5, 5, 10, 30, 60, 120 mg/liter 수준으로 달리하여 3일 간격으로 교체 공급하였다.

한편, 제주 농업갈색 화산회토양¹⁴⁾이 1 Kg 담긴 플라스틱 화분에 수경재배와 마찬가지로 발아가 양호한 맥주보리 유묘를 심어 염화가리를 0, 3, 6, 12, 30, 60, 120 Kg K₂O/10a 수준으로 시비하고 growth cabinet (20°C, 50 klux)에 7주간 재배하였다. 질소와 인산질 비료로써 요소와 용성인비를 10 Kg N/10a, 9 Kg P₂O₅/10a 씩을 각각 공급하였다.

감귤(*Citrus unshiu* Marc.): 농촌진흥청 제주감귤연구소에서 재배된 3년생 조생은주 감귤나무(富川)를 화분에 심고 비닐하우스(10 - 20 °C, 30 - 50 Klux) 내에서 4개월간 수경재배를 실시하였고, 앞서 K 수준을 달리하여 만든 수경액을 매 30분 간격으로 뿌리에 공급하여 15분간 담수시켰으며 2주 간격으로 새로운 수경액으로 교환하여 주었다.

K와 Rb 흡수능 측정

K와 Rb 흡수능을 측정하기 위해 감귤의 인산영양진단을 위해 확립한 ³²P-bioassay 방법^{10,11)}을 약간 변경하여 사용하였다. 즉 K 흡수능을 측정하기 위해 5 x 10⁻⁶ M KCl과 ⁴²K (7 Bq/ml) 용액 그리고 Rb 흡수능을 측정하기 위해 5 x 10⁻⁶ M RbCl과 ⁸⁶Rb(740 Bq/ml) 용액에 뿌리를 각각 담가

20°C 에서 정확히 15 분 동안 ⁴²K와 ⁸⁶Rb을 각각 흡수시킨 뒤 뿌리를 세척하였다. ⁴²K를 측정하기 위해서 뿌리의 물기를 흡습지로 제거한 뒤 생체중을 달았다. 뿌리에 흡수된 방사능을 측정하기 위해 H₂SO₄-H₂O₂로 뿌리를 습식분해시킨 뒤 NaI detector가 달린 multichannel analyzer(BS27N, Silena)로 ⁴²K를 측정하였다.

한편, 뿌리에 흡수된 ⁸⁶Rb을 측정하기 위해서 ⁴²K의 경우와 마찬가지로 뿌리를 취해 15 ml의 증류수가 들어 있는 계측병에 넣고 liquid scintillation counter(BF8000, Berthold)를 사용하여 Cerenkov counting 방법으로 ⁸⁶Rb의 양을 측정하였고 뿌리를 직접 측정할 때 생기는 물리적 소광은 ³²P-bioassay방법^{10,11)}에 준하여 보정하였다.

뿌리에 의해 15분간 농동흡수된 K(Rb)양 즉, K(Rb)흡수능은 다음식으로 나타냈다.

$$\frac{\text{농동흡수된 } ^{42}\text{K 또는 } ^{86}\text{Rb} \cdot \text{S}}{\text{뿌리생체중(mg)} \times \text{흡수시간} \cdot 15 \text{ min}} = \left[\frac{\text{Bq} \cdot (\text{pg K or Rb/Bq})}{\text{mg} \cdot 15 \text{ min}} \right]$$
$$= \text{pg K/mg/15 min}$$

S(환산계수): K(Rb)-amount(pg) per unit radioactivity(Bq) of ⁴²K or ⁸⁶Rb solution

염분석

보리 또는 감귤잎을 70 °C 건조기에서 건조한 후 분쇄하고 0.5 g을 취하여 H₂SO₄-H₂O₂로 산분해하여 N(nitrophenol blue법)과 P(ammonium molybdo vanadate법)는 비색정량을 하였고¹⁵⁾ Ca, Mg, K는 원자흡광분광법(Perkin elmer, model 2380)으로 정량하였다¹⁵⁾.

토양중 치환성 가리

풍건토양 5g에 ammonium acetate(pH 7.0) 25 ml를 가하여 30분간 진탕한 후 여과하여 원자흡광분광기(Perkin elmer, model 2380)로 K를 정량하였다¹⁶⁾.

통계처리

통계프로그램 SAS(PC version)을 이용하여 직선회귀와 2차회귀식, 그리고 결정계수를 구하였고 또한, Duncan's multiple range test를 실시하였다¹⁷⁾.

결과 및 고찰

KCN처리의 영향

^{42}K 흡수가 과연 대사적인 능동흡수인지 그리고 Rb을 K의 analog로 사용할 수 있는지를 알아 보기 위해서 호흡저해제인 KCN¹⁸⁾을 5×10^{-3} M 농도로 처리하여 그 영향을 조사하였다(Figure 1). KCN 무처리에서는 수경액의 공급수준별 즉 보리의 K영양상태에 따라 K 흡수능이 달라졌으나 KCN을 처리하게 되면 처리하지 않았을 때에 비해 K흡수능이 현저히 떨어졌고 K 공급수준별로는 차이를 보이지 않았다. 이는 ^{32}P -bioassay에 의한 P 흡수능처럼^{9,3,19)} K흡수능 값이 식물의 생리적인 대사요구에 의해 흡수된 K양임을 나타내는 것이다. 또한, Rb의 경우도 보리뿐만 아니라 감귤의 경우에도 K흡수능 값과 비슷한 경향을 보이고 있는 것으로 보아 Rb은 K의 analog로 흡수실험을 할 수 있다고 사료되었다.

^{86}Rb 의 적정흡수시간

K-bioassay 실험시 적정 ^{86}Rb 흡수시간을 조사한 결과 Figure 2와 같다. 흡수시간이 증가함에 따라 Rb흡수능은 급격히 높아지다가 15분 이후에 완만하게 증가되는 것으로 보아 ^{86}Rb 흡수시간은 15분이 적당하다고 사료되었다.

^{86}Rb 흡수용액의 적정 온도

^{86}Rb 흡수용액의 온도에 따른 Rb흡수능의 변화양상을 알아보기 위해 15, 20, 30°C로 조절된 ^{86}Rb 용액에 보리뿌리를 넣어 ^{86}Rb 흡수능을 조사하였던 바 온도가 높아짐에 따라 ^{86}Rb 흡수능은 점차 높아지는 경향이었으나(Figure 3), 20°C 이후의 증가폭이 적은 것으로 보아 ^{86}Rb 흡수용액의 온도는 20°C 정도가 적당하다고 생각되었다.

채취된 뿌리의 보관조건

K-bioassay를 하기 위한 뿌리시료는 포장에서 채취 즉시 마르지 않도록 젖은 가아제로 싸서 실험실로 운반한 뒤 K-bioassay실험을 실시하였다. 따라서 포장에서 채취한 뿌리는 시간이 경과함에 따라 세포의 생존력이 떨어져 Rb흡수능이 달라 질 가능성이 있는 데 채취후 20 시간까지는 Rb흡수능값이 비슷한 것으로 보아(Figure 4) 시료채취 장소가 멀고 채취할 시료양이 많은 경우에는 시료 채취 일과 K-bioassay 실험수행일을 나누어 행하여도 K-bioassay에

크게 영향을 주지 않을 것으로 생각되었다.

^{42}K 흡수능과 ^{86}Rb 흡수능 비교

^{42}K 흡수능과 analog로 사용한 ^{86}Rb 흡수능을 비교하기 위해 4주 동안 맥주보리를 수경재배하여 K-bioassay를 실시하여 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. K 수준이 증가함에 따라 K 흡수능이 감소되었다(data not shown). 이는 인산의 영양진단을 위해 사용하였던 ^{32}P -bioassay법의 원리^{7,8,9,10,11,19)}가 가리영양진단에도 잘 적용될 수 있다는 것을 보인 결과이다. 그런데, K-bioassay 실험을 할 때에 ^{42}K 는 반감기가 짧아서(half life: 12.36 hr)²⁰⁾ 한번에 많은 시료를 취급하기가 곤란하므로 이보다 반감기 다소 긴 ^{86}Rb (half life: 18.86 day)²⁰⁾을 사용하는 것이 유리하다. Figure 5에서 보는 바와 같이 Rb흡수능이 K흡수능과 동일한 경향을 보인 것은 ^{42}K 대신에 ^{86}Rb 을 사용할 수 있다는 것을 나타낸 결과이다. 또한, 보리의 엽중 K함량은 K공급수준이 증가함에 따라 높아지는 경향을 보여 영년생 작물과는 달리 일년생 작물의 경우에는 엽분석치가 작물의 영양진단을 위해 잘 이용될 수 있음을 보인 결과이다.

Rb흡수능과 건물량과의 관계

보리의 흡수능과 건물량과의 관계를 알아보기 위해 K수준별로 4주간 수경재배하여 채취한 지상부의 건물량을 조사하여 Rb흡수능과 비교하였다(Figure 6).

보리의 건물중은 K공급수준이 증가함에 따라 높아지는 경향을 보였고 Rb흡수능과는 유의적인 상관을 나타낸 것은 K-bioassay법에 의해서 작물의 생산성을 추정할 수 있음을 보인 결과이다(Figure 7).

Rb흡수능과 토양중 치환성 가리함량과의 관계

Figure 7에서 보는 바와 같이 보리의 Rb흡수능은 시비량이 증가함에 따라 지수적인 감소를 보였으며, 토양중 치환성 가리의 함량은 증가되는 경향을 나타냈다. 또한, Rb흡수능은 토양중의 치환성 가리함량간에는 고도의 부의 상관을 보였고 치환성 가리함량이 1.0 me/100g 범위에서 Rb흡수능값이 완만히 감소되는 경향을 나타내고 있기 때문에 그 이상의 치환성 가리함량은 보리의 생육에 불필요한 것임을 나타내는 것이다. 특히, 영년생과수에서는 토양양분함량과 엽분석치와는 상호관계가 매우적고 토양분석치와 식물에 의한 양분흡수량은 항상 일치 않기 때문에^{21,22)} 토양분석치 자체는 식물의 양분공급을 결정할 수 있는 절대적 지표가 되기 어

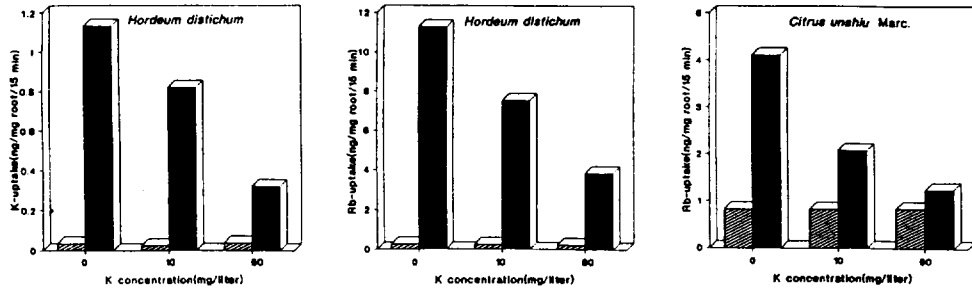


Fig. 1. Effect of KCN on K-uptake/Rb-uptake by the excised roots of *Hordeum distichum* and *Citrus unshiu* Marc. grown at 0, 10, 60 mg K/liter of water culture solution. ▨; 5×10^{-3} M KCN, ■; No KCN.

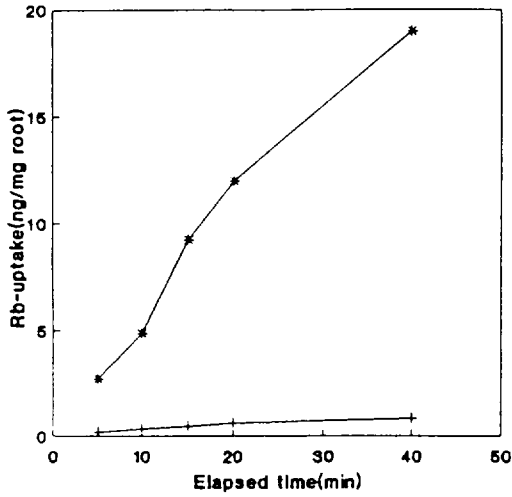


Fig. 2. The kinetics of Rb-uptake by the excised root of *Hordeum distichum* with time. The K concentrations of culture solution were 0 and 120 mg/liter. *—; 0 mg K/liter, +—; 120 mg K/liter.

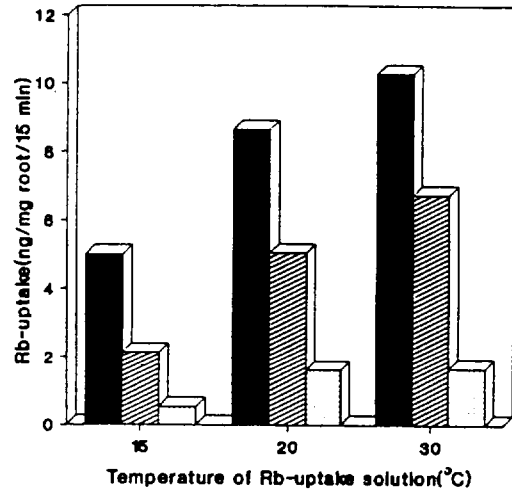


Fig. 3. Temperature effect on Rb-uptake by the excised root of *Hordeum distichum* grown at 0, 10, 60 mg K/liter of water culture solution. ■; 0 mg K/liter, ▨; 10 mg K/liter, □; 60 mg K/liter.

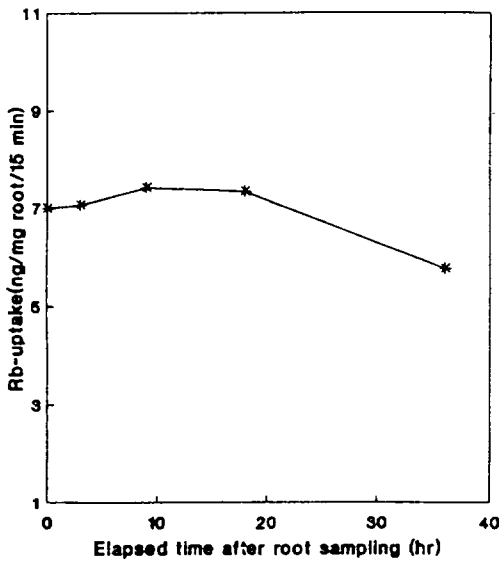


Fig. 4. Effect of the time elapsed after root sampling on Rb-uptake by the excised root of *Hordeum distichum* grown at 30 mg K/liter.

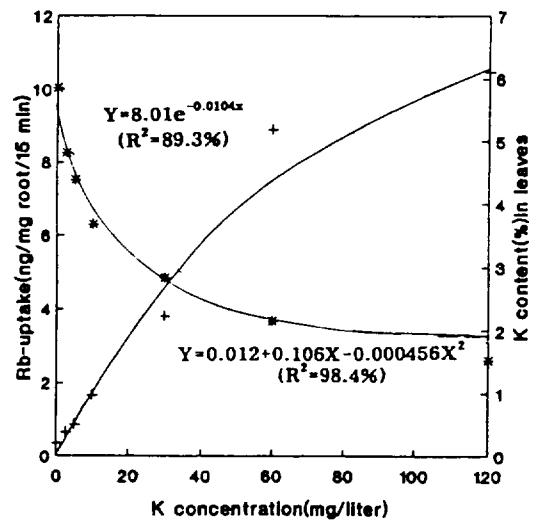


Fig. 5. Change of Rb-uptake and K content in leaves of *Hordeum distichum* grown at the different K concentrations of the water culture solution. *—; Rb-uptake, +—; K content in leaves.

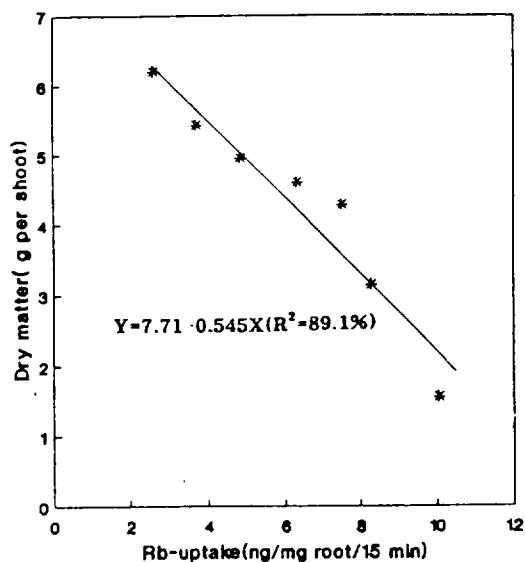


Fig. 6. Relationship between drymatter and Rb-uptake of *Hordeum distichum*.

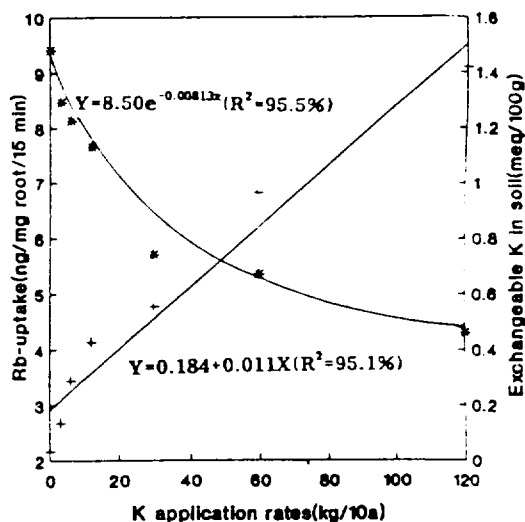


Fig. 7. Rb-uptake of the pot-cultured *Hordeum distichum* and exchangeable K in soil under the different K fertilization.

—*—; Rb-uptake, —+— Exchangeable K.

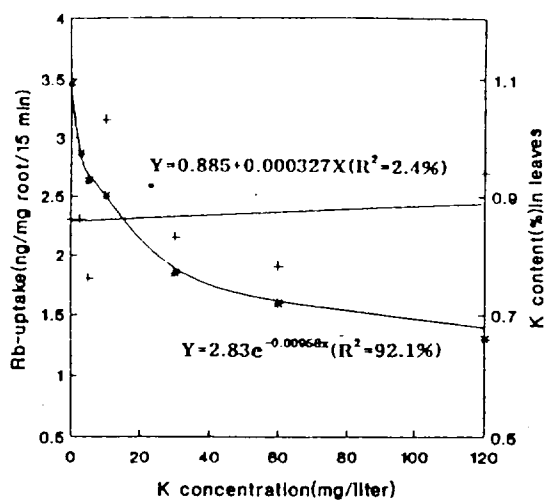


Fig. 8. Rb-uptake and K content in leaves of *Citrus unshiu* Marc. grown at the different K concentration of the water culture solution.

—*—; Rb-uptake, —+—; K content in leaves.

Table 1. Mineral content of citrus leaves water-cultured at the different K levels

K level (mg/l.)	Mineral content (%)				
	K	N	P	Ca	Mg
0	0.86 ^{a*}	3.45 ^a	0.23 ^a	0.45 ^a	0.20 ^a
2.5	0.86 ^a	3.65 ^a	0.24 ^a	0.46 ^a	0.21 ^a
5	0.76 ^a	3.41 ^a	0.23 ^a	0.45 ^a	0.20 ^a
10	1.03 ^a	3.41 ^a	0.23 ^a	0.47 ^a	0.20 ^a
30	0.83 ^a	3.37 ^a	0.23 ^a	0.45 ^a	0.19 ^a
60	0.78 ^a	3.17 ^b	0.20 ^b	0.46 ^a	0.18 ^b
120	0.94 ^a	3.14 ^b	0.18 ^b	0.45 ^a	0.18 ^b

*Duncan's multiple range test; significant at 5% level.

럽다고 알려져 있다. 따라서 감귤나무의 ^{32}P -bioassay 실험 결과처럼 Rb 흡수능과 토양중의 가리함량과의 관계를 조사하면 감귤나무의 생육에 적당한 토양중의 가리함량을 보다 정확하게 조사할 수 있을 것으로 기대된다.

감귤의 Rb 흡수능과 엽분석치

Figure 8은 감귤나무의 K 공급수준에 따른 Rb 흡수능 그리고 엽중 K 함량에 대해서 나타낸 결과이다. 3년생 조생은주의 Rb 흡수능이 K 공급수준이 증가함에 따라 지수함수적으로 감소한 것은 감귤의 인산영양을 진단하기 위해 개발하였던 ^{32}P -bioassay 원리^{10,11)}가 감귤의 가리영양진단에도 잘 적용되고 있음을 나타낸 결과이다. 또한, K 공급수준이 증가함에 따라 Rb 흡수능이 급격히 감소하다가 완만히 감소할 때의 Rb 흡수능값이 $1.5 - 1.8 \text{ ng/mg root } 15 \text{ min}^{-1}$ 인데 만일 포장실험을 통해서 그 값을 찾아낸다면 감귤의 가리영양을 진단하는 기준으로 활용될 수 있다.

또한, 감귤 엽중의 K 함량은 맥주보리경우와는 달리 K 공급수준간에 일정한 상관을 나타내지 않았기 때문에 K-bioassay법이 엽분석보다 더 정확하게 가리의 영양상태를 진단할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 엽중 N, P, Mg 함량은 K의 농도가 높아짐에 따라 감소의 경향을 보여 길항작용⁶⁾을 나타낸 반면에 Ca은 일정한 경향을 보이지 않았다(Table 1).

이상의 결과에서 보듯이 인산영양진단을 위해 개발되었던 ^{32}P -bioassay법의 원리^{10,11)}가 K의 경우에도 잘 적용되고 있었고 K-bioassay 실험을 위해서 ^{42}K 대신에 ^{86}Rb 을 사용할 수 있음을 확인하였고 K-bioassay법이 기존 영양진단법인 엽분석보다 더 정확하게 가리의 영양상태를 정확하게 진단할 수 있다고 사료된다. 본 영양진단법을 감귤나무의 가리영양진단에 활용하기 위해서는 앞으로 포장실험을 해야 될 것으로 사료된다.

적 요

인산영양진단을 ^{32}P -bioassay법에 의하는 것과 같은 원리로 K의 영양진단 가능성을 검토하기 위하여 맥주보리 (*Hordeum distichum*)를 K수준을 달리 공급하여 4주간 수경재배한 후 ^{42}K (half life: 12.36 hr)와 ^{86}Rb (half life: 18.86 day)을 추적자로 사용하여 K-bioassay를 실시했다. ^{42}K 와 ^{86}Rb 의 흡수능은 모두 K의 공급수준과 지수적인 역상관을 나타내어 K의 영양진단이 가능하다는 사실을 확인했으며,

반감기가 짧아서 실험시간의 제한을 받게 되는 ^{42}K 대신 K의 analog로 Rb을 사용할 수 있음도 알게되었다. 그리고 3년생 조생은주 감귤(*Citrus unshiu* Marc.)을 K공급수준을 달리해서 4개월간 수경으로 재배한 뒤 ^{86}Rb 의 흡수능을 측정한 결과 K공급수준과 지수적인 역상관을 나타내어 맥주보리와 비슷한 경향을 나타냈다. 따라서 감귤나무의 경우 ^{86}Rb 추적자를 이용한 K-bioassay가 가능하다고 생각된다. 또한, K 시비수준을 달리하여 7주간 재배된 보리의 Rb 흡수능이 토양중 치환성 가리함량과 고도의 상관을 보인점은 K-bioassay에 의한 Rb 흡수능 값과 치환성가리의 함량과의 관계에서 작물의 생육에 적당한 치환성가리 함량을 산정해 낼 수 있다고 사료된다.

한편, 맥주보리와 감귤뿌리에 의한 ^{42}K 와 ^{86}Rb 의 흡수는 모두 $5 \times 10^{-3} \text{ M KCN}$ 에 의해서 크게 저해되었으므로 K와 Rb이 능동적 흡수가 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 감귤의 엽중 K 함량은 K의 공급수준과 밀접한 상관이 발견되지 않았기 때문에 ^{86}Rb 을 이용한 K-bioassay법은 엽분석보다 더 정확하게 감귤의 생리적인 K요구성을 측정할 수 있다고 생각된다. 그러나 3년생 이상의 감귤나무에 대하여는 포장시험으로 확인되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 교육부 지역개발 학술연구 조성비에 의해 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 문덕영, 고상욱, 김용호, 김유학(1994) 감귤원 영양 및 관리실태조사에 의한 종합기술 전산화에 관한 연구, 농촌진흥과학기술연구소 '93시험연구보고서(인쇄중)
2. 井上宏(1971) 温州ミカンの 栄養生理に 關する 研究 第1報 砂耕における チツ素施用の 有無 と 幼樹の 栄養生長, 農及園, 46(1), 59-60
3. 김형욱, 오현도(1971) 비료반응이 감귤생육에 미치는 영향, 제주대 논문집 3, 241-253
4. 홍순범, 정순경(1975) 온주밀감에 대한 삼요소 시용수준

이 수체생육, 수량 및 품질에 미치는 영향, 농시보고(원예, 농공), 21, 67-75

5. 문덕영, 권혁모, 이운직, 홍순범(1980) 엽분석에 의한 제주도 감귤원의 영양진단에 관한 연구, 농시보고(원예, 잠업), 22, 63-70

6. 한해룡, 권오균, 김한용, 정순경, 문덕영(1983) 감귤재배신서, p. 363-367, 395, 선진문화사

7. Harrison, A. F., J. Dighton and A. H. F. Brown (1982) Application of the P-deficiency bioassay to trees, ITE Ann. Report, p. 84-85, England

8. Harrison, A. F., J. Dighton and J. C. Hatton(1984) A phosphorus-deficiency bioassay for trees and grasses growing in low nutrient status soils, VIth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition, Montpellier, France, p. 957-963

9. Harrison, A. F. and J. Dighton(1986) A root bioassay of determination of P-deficiency in commercial forest stands, J. Sci. Fd. Agric., 37, 16-17

10. 송성준(1993)³²P bioassay에 의한 감귤나무의 인산영양 진단법 개발, 제주대학교 박사학위논문

11. 유장걸, 송성준(1993) 감귤나무의 인산시비적정화를 위한 인산의 생리영양진단법 개발 및 실용화 연구, 농업논문집('92산학협동편), 35, 87-97

12. Torres, K. C.(1988) Tissue Culture Techniques for Horticultural Crops, p. 22, An AVI Book, New York

13. Epstein, E. (1988) Mineral Nutrition of Plants, Principle and Perspectives, p. 39, Wiley and Sons, New York

14. 농촌진흥청 농업기술연구소(1976) 정밀토양도

15. Ahn, Y. S.(1987) In ' International Training Workshop on Soil Test and Plant Analysis', p. 355-400, RDA& FFTC/ASPAC

16. 농촌진흥청 농업기술연구소(1988) 토양화학분석법

17. SAS Institute Inc.(1985) SAS/STAT Guide for Personal Computer, ver 6.0 ed.

18. Goodwin, T. W. and E. I. Mercer(1983) Introduction to Plant Biochemistry, p. 166-167,

Pergamon Press, Oxford

19. 유장걸, 송성준(1988) 방사능 동위원소 P-32를 이용한 작물의 인산영양진단법, 제주대학교 방사능이용연구보고 3, 11-20

20. 한국방사성 동위원소협회 : Radioisotope Hand Book

21. Robinson, J. B. D.(1980) In 'Mineral Nutrition of Fruit Trees', Atkinson, D., Jackson, J. E., Sharples, R. O., and W. M. Waller, p. 355-364, Butterworths, London-Boston

22. Wear, J. I., and J. T. Cope(1977) Relationships between soil test values and analysis of pecan leaves taken at three dates, Commun. Soil Sci. Pl. Analysis, 7, 241