

## 심지수의 차이에 따른 심지양액재배 씨감자의 생육 및 수량

김찬우 · 강봉균 · 송창길 · 박성준 · 강영길<sup>†</sup>

제주대학교 생명자원과학대학

### Effects of Wick Number on Growth and Yield of Seed Potatoes Grown in a Wick-based Hydroponics

Chan-Woo Kim, Bong-Kyoon Kang, Chagn-Khil Song, Sung-Jun Park, and Young-Kil Kang<sup>†</sup>

College of Applied Life Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

**ABSTRACT** A glasshouse experiment was carried out in 2002 to evaluate growth differences between two wick types, and to determine the optimum number of wicks in a wick-based hydroponics for production of 'Dejima' seed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). The six minitubers (7.0±0.2 g/tuber) produced through aeroponics were planted in a polystyrene box (51 cm long × 31 cm wide × 20 cm high) containing growth medium (perlite+peatmoss 1:2, v/v mixtures). Before the boxes were filled with the medium, 6 wicks per box were vertically and 2 to 10 wicks were horizontally installed, respectively, at the bottom of the boxes through holes. Comparing with 6 vertical wick treatment, 6 horizontal wick treatment increased the number of tubers per plant, but decreased average tuber weight. Yield of tubers greater than 5 g (seed potatoes) was not significantly affected by wick type. As the number of the horizontal wicks per box was increased from 2 to 6, the number of seed potatoes increased from 2.8 to 8.0/plant and then leveled off. Average tuber weight increased with increasing the number of the wicks up to 8 and then leveled off. As the number of the wicks per box was increased from 2 to 6, seed potato yield increased from 1.81 to 6.59 kg/m<sup>2</sup> and then slowly increased up to 10 wicks per box, reaching 12.9 kg/m<sup>2</sup>. The results indicate that installing 8 wicks per box (0.16 m<sup>2</sup>) horizontally for the wick culture system in production of 'Dejima' seed potatoes is beneficial considering seed potato yield, cost of wicks, and convenient filling with medium.

**Keywords :** *Solanum tuberosum*, Dejima, minituber

제주도의 씨감자 생산체계는 생장점 배양(배양실), 양액재배에 의한 기본종(하우스), 기본식물(망실), 원원종(노지), 원종(노지)의 5단계인데, 양액재배에 의한 기본종은 씨감자 수량이 가장 많은 분무경이 주로 이용되고 있다(Kim, 2000). 분무경산 소괴경을 노지에 증식할 경우 수량이 낮고(Kim, 1997), 더덩이병에 약한 '대지'의 경우 연작할 때 더덩이병의 발생이 심하다(Hong *et al.*, 2003). 분무경산 소괴경을 증식할 때 유리온실에서 심지재배를 함으로써 씨감자 수량을 높일 수 있었고, 더덩이병의 발생을 막을 수 있었다(Kang & Han, 2005; Kang & Kim, 2004; Kim *et al.*, 2008).

심지재배에 있어서 심지는 모세관현상에 의해 수분 또는 양액을 고형배지로 이동시키는 수단이 되기 때문에 배지가 수분으로 포화되지 않은 한 심지수가 많고 심지가 크고 두꺼울수록 수분 또는 양액이 배지에 많이 공급된다(Kang *et al.*, 2003; Kang & Park, 2001). 알맞은 심지수는 재배용기의 크기, 작물의 종류, 재배환경 등에 따라질 수 있다(Seo *et al.*, 2001; Seo *et al.*, 2002). Seo *et al.*(2001)은 심지 4·8·12개를 각각 배치한 플라스틱박스에서 꽃고추를 70일간 생육시킨 결과 수분스트레스를 처리한 구에서는 심지수 8개인 처리에서 생육이 양호하였으나 수분스트레스를 주지 않은 처리에서는 심지수 4개인 처리에서 생육이 양호하였고 심지수 12인 처리에서는 생육이 저조하였다고 하였다. Kang *et al.*(2003)에 의하면 심지를 수직으로 세워 심지수를 상자(0.16 m<sup>2</sup>)당 2개 간격으로 2개에서 10개 배치하여 감자 프리그묘를 재배했을 때 심지수가 6개인 처리에서 괴경수량이 가장 많았다고 한다. 그러나 상자에 심지를 수직으로 배치하는 경우 배지를 상자에 넣는 것이 불편하고, 식물체의 뿌리가 심지에 붙어 있어 심지의 재사용에 불편하다. 심지를 상자의 밑면에 눕혀 놓으면 배지를 상자에 넣기 쉽고 식물체의 뿌리가 심지에 부착하는 것을 줄일 수 있을

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-64-754-3316  
(E-mail) ykkang@jejunu.ac.kr <Received June 11, 2009>

것 같다.

이 연구에서는 감자 분무경산 소피경을 심지양액 재배하여 기본식물을 생산할 때 심지의 배치방법에 따른 감자의 생육 차이를 조사하고 심지를 수평으로 배치할 경우 알맞은 심지수를 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

이 시험은 제주대학교 생명자원과학대학 연구실습센터(33°27'20"N, 표고 277 m) 유리온실에서 실시되었다. 이 시험에 사용된 심지양액재배 시스템은 Kang & Han(2005)이 사용한 양액순환식으로 120(길이) × 58(너비) × 28(높이) cm인 스티로폼 성형베드 7개를 연결하고, 성형베드 내에 10(너비) × 12(높이) cm의 스티로폼을 두 줄로 놓고 흑색 PE필름을 깔아 양액이 흐를 수 있도록 하였다. 성형베드 내 8 cm 높이에 배수구를 두었고, 성형베드 안쪽에 내경이 51(길이) × 31(너비) × 20(높이) cm 인 감자를 재배할 폴리스티렌 상자(0.16 m<sup>2</sup>, 0.032 m<sup>3</sup>)를 넣었다. 폴리에스테르 천(두께 1.3 mm)으로 40(길이) × 1.5(너비) cm가 되도록 만든 심지 8개를 상자에서 위로 15 cm 나오게 꽂은 다음 상자의 밑면에 눌러 양액이 흡수되도록 하였다. Kang(2003)이 사용한 펄라이트 + 피트모스(1:2, v/v) 배지를 20 L씩 상자에 넣었다. 양액은 일본 원예시험장액 1/2배액이 사용되었고, 1/4마력 모터펌프(SIP200F, 신일산업주식회사, 서울)와 타이머(GX7, 한영, 서울)로 하루에 5회, 10분간 물흘림 방식으로 공급하였다. 양액의 EC는 1.2 dS·m<sup>-1</sup>, pH는 5.5~6.5가 되도록 관리하였다.

심지는 폴리에스테르 재질의 천(두께 1.3 mm)을 폭 1.5 cm, 길이 40 cm가 되도록 제조하여 사용하였다. 상자당 심지 6개를 상자 밑면에서 15 cm 위로 수직으로 세워 배치하는 처리에서 플러그묘를 이식했을 때 씨감자 수량이 가장 많았었는데(Kang *et al.*, 2003), 이 경우 배지충진 작업과 뿌리가 심지에 부착하여 심지의 재사용에 어려움이었다. 상자당 6개를 수평으로 세운 처리를 대조구로 하고 2, 4, 6, 8, 10개의 심지를 각각 상자 밑면에서 15 cm 위로 나오게 한 다음, 상자 밑면에 수평으로 눌러서 심지를 배치하는 처리를 두었다.

공시품종은 대지(Dejima)이었고 2001년 가을에 분무경양액재배시스템에서 생산된 7(±0.2) g인 소피경을 4°C에서 저장하였다가 2002년 2월 16일에 저장고에서 꺼내 상온의 창고에서 싹이 2 mm 정도 나오도록 육광최아시킨 다음 3월 22일에 상자당 6개를 심었다. 시험단위는 재배상자 1개로 난괴법 4반복으로 시험구를 배치하였다.

파종 후 30일부터 온실 바닥으로부터 1.8 m 높이에 비닐 줄을 매어 이 줄에 식물체의 줄기를 유인하여 지상부가 쓰러지지 않고 햇빛을 잘 받을 수 있게 하였다.

농촌진흥청 농사시험연구기준에 따라 파종 후 70일에 출현율, 줄기 및 잎 특성 등을 조사를 하였고, 파종 후 92일에 수량에 관련된 형질을 조사하였다. 5 g이상의 상위급 종서 수량을 보기 위해(Kim, 2000) 수량은 총괴경 및 5 g이상 괴경으로 나누어 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 출현율과 지상부 생육

출현율은 96~100%로 처리 간에 유의한 차이가 없었다(Table 1). 심지 2개 처리구에서도 100% 출아하였던 것은 최악된 소피경을 파종하였고 수분이 비교적 넉넉한 배지를 이용했기 때문인 것으로 생각된다.

경장, 줄기 굵기, 잎의 크기 등의 지상부 생육은 상자당(이하 생략) 6개의 심지를 수직 또는 수평으로 배치함에 따른 5% 수준에서 유의한 차이가 없었다.

심지를 수평으로 배치할 경우 심지수가 2개에서 6개로 증가됨에 따라 경장은 25.2 cm에서 63.6 cm로 크게 증가되었고 심지 8개 처리구에서 78.4 cm로 다소 증가하는 경향을 보였으나 심지 10개 처리구에서는 더 이상 증가가 없었다. 줄기 굵기, 잎의 크기 등에서도 심지수 증가에 따른 반응은 경장에서와 같았다. 이와 같은 결과는 심지 6개 처리구에서도 수분과 무기양분이 심지를 통해 충분히 공급되지 않았을 것으로 생각된다. Kang *et al.*(2003)에 의하면 이 시험에서 사용되었던 것과 동일한 상자에 심지를 2개에서 10개까지 수직으로 배치하고, 감자 플러그묘를 심어 동일한 방법으로 관리하였던 경우 지상부 생육은 심지수가 많을 때 큰 편이었다는 한다. Seo *et al.*(2001)은 수분스트레스를 처리한 구에서는 심지 8개 처리구에서 생육이 양호하였으나 수분스트레스를 주지 않은 처리에서는 심지 4 또는 8개 처리구에서 꽃고추의 생육이 양호하였고 심지 12개 처리구에서는 생육이 저조하였다고 하였다.

### 수량

6개의 심지를 수직으로 배치하는 처리구(이하 수직형처리구)에 비하여 수평으로 배치하는 처리구(이하 수평형처리구)에서 주당괴경수가 크게 증가되었고 이에 따라 평균괴경중은 감소되었다(Table 2). 수직형처리구에 비하여 수평형처리구에서 괴경수가 증가된 원인은 분명하지 않다.

총괴경수량 및 5 g 이상의 괴경수량은 심지배치방법에

**Table 1.** Effect of the number of wicks on emergence rate and aboveground growth of ‘Dejima’ potatoes grown in a wick-based hydroponics at 70 days after planting for a spring crop in 2002<sup>†</sup>.

Wick type <sup>‡</sup>	No. of wicks per box <sup>§</sup>	Emergence rate (%)	Main stem length (cm)	Main stem diameter (mm)	No. of stems per plant	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
Vertical	6	100.0	66.6	7.09	1.17	25.7	17.1
	2	100.0	25.2	4.72	1.13	18.7	12.9
	4	100.0	43.7	7.06	1.05	23.6	17.1
Horizontal	6	100.0	63.6	7.93	1.21	26.7	19.6
	8	100.0	78.4	8.04	1.54	27.5	20.2
	10	95.8	73.1	8.13	1.50	27.9	20.3
LSD (0.05)		NS	17.5	0.83	0.36	2.0	2.1

<sup>†</sup>Mini-seed tubers (7.0±0.2 g/tuber) used in this experiment were produced through aeroponics during the fall growing season of 2001.

<sup>‡</sup>In vertical wicks, upper 15 cm of the wicks was vertically installed from the bottom of the box and in the horizontal ones, was horizontally put on the bottom of the box. Lower 25 cm of the wicks was immersed in nutrient solution for both types.

<sup>§</sup>Polystyrene box (51 cm long × 31 cm wide × 20 cm high).

**Table 2.** Effect of the number of wicks on the tuber number and average tuber weight of ‘Dejima’ potatoes grown in a wick-based hydroponics at 92 days after planting for a spring crop in 2002<sup>†</sup>.

Wick type <sup>‡</sup>	No. of wicks per box <sup>§</sup>	Tuber number per plant		Average tuber weight (g/tuber)	
		Total	≥ 5 g <sup>¶</sup>	Total	≥ 5 g
Vertical	6	6.06	4.60	42.3	55.0
	2	3.88	2.84	13.4	17.2
	4	8.14	5.90	22.6	30.2
Horizontal	6	10.33	8.04	25.9	32.7
	8	8.71	7.00	38.5	47.3
	10	9.78	7.58	36.2	46.1
LSD (0.05)		2.70	1.81	6.4	9.6

<sup>†</sup>, <sup>‡</sup>, <sup>§</sup>See Table 1 for explanation.

<sup>¶</sup>Minimum size of seed potatoes for breeder’s seeds.

다른 유의한 차이 없이 각각 9.7, 9.5 kg/m<sup>2</sup> 내외였다(Table 3). 30 g이하의 괴경수량은 수평형처리구에서 많았고, 31~80 g의 괴경수량은 심지배치방법간 차이가 없었으며, 81 g 이상 괴경수량은 수직형처리구에서 약 2배 많았다. 이는 수평형처리구에 비하여 수직형처리구에서 주당괴경수가 적어 큰 감자의 비율이 컸었기 때문인 것 같다.

수직형처리구에 비하여 수평형처리구에서는 파종된 씨감자가 심지와 떨어져 있게 됨으로 뿌리가 심지에 덜 부착되었으나, 뿌리가 심지를 따라 양액이 있는 베드 안으로 침투하는 것은 큰 차이가 없었다. 배지에 고품비료를 사용하고 심지를 통하여 수분만을 공급하게 함으로써 뿌리가 심지에 부착하는 것과 베드 안으로 침투하는 것을 크게 줄일 수 있다(Kang & Han, 2005). 심지배치방법에 따른 수량 차이가

별로 없기 때문에 상자에 배지를 넣기에 편리하고 수확 시 심지가 상자로부터 분리되지 않도록 심지를 상자 밑면에 수평으로 놓혀 배치하는 것이 바람직하다.

총괴경수 및 5 g 이상의 괴경수는 심지수가 2개에서 6개로 증가됨에 따라 각각 3.9, 2.8개에서 10.3, 8.0개로 증가되었으나, 심지 6개 이상 처리 간에는 유의한 차이가 없었다 (Table 2).

평균괴경중 및 5 g 이상 평균괴경중은 심지수가 2개에서 8개로 증가되었을 때, 각각 13.4, 17.2 g에서 38.5, 47.3 g으로 증가되었으나 심지 8개 이상 처리구에서 유의한 차이가 없었다. 심지 4개 처리구와 6개 처리구간에 괴경중이 차이가 적었던 것은 심지 6개 처리구에서 괴경수가 많았던 때문인 것 같다. Kang *et al.*(2003)에 의하면 플러그묘를 이식

**Table 3.** Effect of the number of wicks on the tuber yield of ‘Dejima’ potatoes grown in a wick-based hydroponics at 92 days after planting for a spring crop in 2002<sup>†</sup>.

Wick type <sup>‡</sup>	No. of wicks per box <sup>§</sup>	Tuber yield (g/m <sup>2</sup> ), by tuber size						
		<5 g	5~10 g	11~30 g	31~80 g	≥81 g	Total	≥5 g <sup>¶</sup>
Vertical	6	0.12	0.14	1.06	3.64	4.52	9.48	9.36
	2	0.11	0.26	0.79	0.76	0.00	1.92	1.81
	4	0.21	0.36	1.64	3.44	1.14	6.79	6.59
Horizontal	6	0.19	0.44	1.93	5.16	2.20	9.91	9.72
	8	0.15	0.24	1.47	4.86	5.68	12.40	12.25
	10	0.18	0.28	1.57	5.40	5.67	13.10	12.92
LSD (0.05)		NS	0.17	0.65	1.60	2.11	2.39	2.32

<sup>†</sup>, <sup>‡</sup>, <sup>§</sup>, <sup>¶</sup>See Table 2 for explanation.

하여 생육이 저조하고 생육후기 증발산량이 적은 가을감자인 경우 심지 2개 처리구에서 주당괴경수가 다소 적고, 평균괴경중이 다소 작으나 심지수의 차이에 따른 이 두 형질에 있어서 유의한 차이는 없었다고 한다.

30 g 이하의 괴경수량은 심지 6개 처리구에서 많은 경향이었는데(Table 3), 이는 심지 6개 처리구에서 심지 8개 또는 10개 처리구에 비하여 81 g 이상 괴경수량이 작았기 때문이었다. 31~80 g 괴경수량은 심지 2개 처리구에서 0.76 kg/m<sup>2</sup>이었던 것이 심지 6개 처리구에서 5.16 kg/m<sup>2</sup>으로 크게 증가되었으나, 더 이상 심지수 증가에 따라 수량 증가는 없었다. 심지 2개 처리구에서는 81 g 이상 괴경이 전혀 없었고, 4개 처리구에서 1.14 kg/m<sup>2</sup>이었던 것이 8개 처리구에서 5.68 kg/m<sup>2</sup>로 매우 크게 증가되었으나, 10개 처리구에서는 더 이상 증가되지 않았다. 총괴경수량 및 5 g 이상의 괴경수량은 심지수가 2개에서 4개로 증가됨에 따라 각각 1.92, 1.81 kg/m<sup>2</sup>에서 6.79, 6.59 kg/m<sup>2</sup>으로 급격히 증가되었다가 6개 이상에서는 심지수 증가에 따라 완만히 증가되어 심지 10개 처리구에서는 각각 13.1, 12.9 kg/m<sup>2</sup>이었다. 감자의 수량 및 품질에 가장 알맞은 토양수분은 -0.05 Mpa 내외로 보고되어 있고(Timm & Flocker, 1966), 수량과 품질을 제한하지 않게 하기 위해서는 토양유효수분의 70~75% 이상을 유지하는 것이 바람직하며 수분스트레스를 피하기 위해서는 토양유효수분의 60~65% 이상을 유지해야만 한다고 한다(Curwen, 1993). 심지 2 또는 4개 처리구에서 생육초기부터 수분 스트레스가 있었고 무기양분이 부족하였기 때문에 괴경수가 적었고 괴경 비대가 불량하였던 것으로 생각된다. 심지 6개 처리구에서는 심지 8 또는 10개 처리구에 비하여 괴경수가 감소되지 않았던 것으로 보아 괴경비대기부터 수분 스트레스와 무기양분 부족으로 괴경 비대가 불량하여 81 g 이상 괴경 수량이 심지 8 또는 10개 처리구의 약 39%

에 불과하였다. Kang *et al.*(2003)에 의하면 줄기꼭짓이묘를 이식하여 생육이 저조하고 생육 후기 증발산량이 적은 가을감자인 경우심지 6개 처리구에서 수량이 가장 많았다고 한다. 생육후기 증발산량이 적은 가을감자에 비하여 생육후기 증발산량이 많은 봄감자의 경우 심지 10개 처리구에서도 과습에 의한 병해나 피목비대가 없었다. 괴경비대기 이후 토양이 과습할 때 역병(*Phytophthora infestans*), 홍색부패병(*Phytophthora erythroseptica*) 등이 발생하기 용이하며, 피목이 비대되기 쉽다(Curwen, 1993; Timm & Flocker, 1966). 피목이 비대되면 연부병균(*Erwinia carotovora*)이 쉽게 침입함으로 저장 중 괴경이 썩기 쉽다(Curwen, 1993).

심지 8개 처리구에 비하여 10개 처리구에서 5g 이상의 괴경수량이 약 5% 많았지만, 유의한 차이가 아니기 때문에 심지 비용, 배지충진의 용이성을 고려할 때 본 심지양액재배 시스템의 경우 상자당 8개(51개/m<sup>2</sup>)의 심지를 수평으로 배치하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

### 적 요

감자 분무경산 소괴경을 심지양액 재배하여 기본식물을 생산할 때, 심지의 배치방법에 따른 씨감자의 생산성 조사하고, 심지를 수평으로 배치할 때 알맞은 심지수를 구명하고자 상자(51 × 31 × 20 cm, 0.16 m<sup>2</sup>)당 심지 6개를 수직으로 배치하는 처리와 2~10개의 심지를 수평으로 배치하는 처리를 두었다. 괴경수는 심지 6개를 수직으로 배치하는 것에 비하여 수평으로 배치함으로 증가하였고 평균괴경중은 감소되어, 괴경수량은 심지 6개의 배치방법에 의하여 영향을 받지 않았다. 상위급씨감자로 사용될 수 있는 5 g 이상의 괴경수는 심지수가 2개에서 6개로 증가됨에 따라 2.8개/주에서 8.0개/주로 증가되었으나, 심지수 6 이상에서는 더

증가되지 않았다. 평균괴경중은 심지수 8개까지 심지수가 많을수록 무거웠으나 심지수 10개에서는 더 이상 무거워지지 않았다. 5 g 이상의 괴경수량은 심지수가 2개에서 6개로 증가됨에 따라 1.81 kg/m<sup>2</sup>에서 9.72 kg/m<sup>2</sup>으로 크게 증가되었다가, 8개 이상에서는 심지수 증가에 따라 완만히 증가되어 심지 10개 처리구에서는 12.9 kg/m<sup>2</sup>이었다. 씨감자 수량과 심지비용, 배지충진 작업의 편리성을 고려할 때 상자당 심지 8개(50.6개/m<sup>2</sup>)를 상자의 밑면에 넓혀 수평으로 배치하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2002년 농림기술연구센터 연구비 지원에 의한 결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 인용문헌

- Curwen, D. 1993. Water management. pp. 67-76. In R.C. Rowe (ed.) Potato Health Management. Am. Phytopathol. Soc. Press, St. Paul, Mn.
- Hong, S. Y., Y. K. Kang, and Y. I. Hahm. 2003. Effect of soil and tuber disinfection on potato common scab (*S. scabies*) in Jeju field conditions. Res. Plant Dis. 9 : 137-144.
- Kang, B. K. 2003. Effects of medium composition on growth and yield of potato plug plantlets under capillary hydroponic system. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 21 : 90-93.
- Kang, B. K. and S. H. Han. 2005. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 74 : 295-299.
- Kang, B. K. and C. W. Kim. 2004. Development of recirculating wick hydroponic techniques for safe seed tuber multiplication of potatoes. Korean J. Crop Sci. 49 : 447-451.
- Kang, B. K., C. W. Kim, C. K. Song, J. S. Park, H. K. Mun, T. S. Oh, and M. H. Oh. 2003. Growth and yield according to wick number under wick culture system of potato plug seedlings. Korean J. Crop Sci. 48 : 191-195.
- Kang, S. W. and C. H. Park. 2001. Water absorption properties on wick irrigation as affected by water levels and width of wicks. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 19(Suppl. II) : 88.
- Kim, J. K. 2000. Production of high-quality potatoes by hydroponics. pp. 214-235. In Potato Cultivation Technology. Jeju-do Agric. Res. & Ext. Serv., Jeju, Kor.
- Kim, K. T. 1997. Studies on increasing the production of mini-tubers in hydroponics for seed potato (*Solanum tuberosum* L.). PhD Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Kor. pp. 37-48.
- Kim, C. W., C. K. Song, J. S. Park, H. K. Mun, Y. K. Kang, and B. K. Kang. 2008. Effects of medium and planting density on growth and yield of seed potatoes grown in a wick hydroponic system Korean J. Crop Sci. 53 : 251-255.
- Seo, S. J., S. W. Jung, W. Y. Lee, Y. S. Kim, S. H. Lee, M. R. Huh, and J. C. Park. 2001. Effect of number of wicks and water stress on growth in *Capsicum annuum* var. *abbreviatum* through plastic box mat culture. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 19(Suppl. II) : 87.
- Seo, S. J., I. H. Kim, M. R. Huh, and J. C. Park. 2002. Effects of 3 types container and wick number through sub-irrigation system on the growth in miniature rose 'Red Valentine'. J. Hort. Sci. Technol. 20(Suppl. II) : 41.
- Timm, H. and W. J. Flocker. 1966 Responses of potato plants to fertilization and soil moisture tension under induced soil compaction. Agron. J. 58 : 153-157.