

담배 育苗時 根圈의 空間 制限이 根系의 形態와 發達에 미치는 影響

李相珏* · 沈相仁* · 姜炳華*

Effect of Space Limitation of Rhizosphere on Morphology and Development of Root System in Tobacco Seedlings

Sang Gak Lee*, Sang In Shim* and Byeung Hoa Kang*

ABSTRACT: This study was carried out to acquire the basic information of root growth under different pot size, imposing different space limitation on rhizosphere. Different size of pots that had same surface area but different depth, 5cm(length)×5cm(width)×30, 15, 5cm(depth), were used during the seedling stage of tobacco plant. Space limitation on rhizosphere affected not only the aerial growth, stem height, leaf area and shoot dry weight, but also root growth and root architecture. Aerial growth was highly related to growth of underground part, so space limitation on rhizosphere decreased aerial growth. Limitation on pot volume by reducing pot depth induced new rooting on crown. Root number and relative multiplication rate were higher in small pot that had 5cm depth than large pot, but total root length and mean extension rate showed reverse patterns. Root numbers of 1st order and 2nd order were increased as pot depth was increased, but the root number of 3rd order was increased in small pot. Root system of seedling grown in large pot distributed more horizontally than that in small pot at 20 days after temporary planting(DAT), but the root architecture of seedling was reversed at 25 DAT.

Key words: Morphology, Order, Root, Relative multiplication rate, Mean extension rate, *Nicotiana tabacum*.

作物의 뿌리는 土壤으로부터 養分과 水分을 吸收하고 生長調節物質을 合成하여 여러 器官으로 供給 및 貯藏하는 일과 地上部를 機械的으로 支持하는 機能을 수행한다¹⁷⁾. 根系의 發達は 生育이 進전됨에 따라 遺傳的 프로그램에 의해 進行되지만 時間과 位置에 따라 突然發生的이고 表現型的 可塑性을 가지고 있어 種과 環境條件에 따라 크게 變化하여 地上部の 生長과 發育에 크게 影響을 미친다^{1,3,9,15)}. 특히 自然狀態下에서 뿌리의 根端 주

위의 媒質과 分枝 程度는 養分과 水分의 吸收에 影響을 주며¹¹⁾, 뿌리의 構造는 土壤의 構成狀態와 養分 濃度 등에 影響을 받는다^{6,8,10)}.

담배는 主根을 中心軸으로 하여 順次的으로 側根이 分枝하는 主根型的 根系을 構成하며, 莖葉部の 不定根 발달이 많은 作物이다¹³⁾. 담배의 경우 Gier⁷⁾와 Deanna⁴⁾ 등의 연구에서 나타난 바와 같이 뿌리生長 및 發達は 다수의 1次根과 側根에 의해 構成되지만 각각의 뿌리의 發達は 서로 다른

* 고려대학교 자연자원대학 식량자원학과 (Dept. of Agronomy, College of Natural Resources, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea) <96. 5. 22 接受>

뿌리의 伸長 및 地上部の 發育과 密接한 關係가 있다. 담배는 親床과 子床을 나누어 관리하는 假植育苗法이 일반화되어 苗床期의 苗의 素質은 移植後 初期生育 및 收量, 品質에 크게 영향을 끼치므로 育苗 期間 동안 根圈의 空間 制限은 뿌리의 形態와 發達에 중요한 요인으로 작용할 것으로 생각된다.

본 실험은 育苗期間 동안 포트의 空間 制限이 뿌리 및 地上部の 生長에 미치는 영향을 알아보고, 담배 育苗期間 동안 根系의 形態 發達 및 地下部와 地上部 生長과의 關係를 究明하여, 담배 優良苗 生産에 있어서 합리적인 포트 規格과 移植 適期를 알아보고자 실시하였다.

材料 및 方法

본 실험은 미국 조지아주 Griffin에 위치한 조지아대학교 附屬溫室에서 1995년 4월 30일부터 6월 30일까지 실시하였다. 供試品種은 미국 North Carolina 주립대학교에게 분양받은 黃色種 담배 K326과 버어리종 담배 Ky11을 이용하였다.

種子是 育苗床에 播種하였고, 發芽後 葉이 4枚가 되는 苗를 가로 세로의 길이가 각각 5cm이고 30cm, 15cm, 5cm로 깊이를 달리한 사각포트에 完熟堆肥, 原野土, 모래를 6:3:1로 配合한 床土를 채운 후 假植하여 1일 2회 自動灌水하였다. 假植後 苗는 晝間溫度가 26℃, 夜間溫度가 20℃인 溫室에서 生育을 시켰으며 肥料는 煙草用 複合肥料(N:K₂O:P₂O₅=10:10:20)를 窒素成分量 基準으로 포트당 40mg이 되도록 全量 基肥하였다.

生育調査는 假植後 10일부터 5일 간격으로 실시하였다. 뿌리의 形態的 分類는 Bohn²⁾ 및 Fitter⁶⁾가 기술한 形態的 뿌리分類體系(morphometric root analysis system)를 따랐으며, 뿌리의 生長을 보기 위해 뿌리수, 전체뿌리길이, 地下部乾物重, 各 順位(order)別 뿌리수 등을 조사하였고, 地上部와 뿌리 발달과의 關係를 알아보기 위해 幹長, 葉面積, 地上部乾物重 등을 조사하였다. 뿌리의 전체길이는 methyl violet용액으로 染色한 후 leaf and root analysis system(Agv-

ison, Decagon, USA)를 사용하여 測定하였고, 葉面積은 leaf area meter(Li-cor 3100, Licor, USA)를 사용하여 측정하였다. 뿌리의 발달 상황을 알아보기 위해 뿌리의 生成速度는 相對增殖率(relative multiplication rate; R.M.R.)로 나타내어 아래의 식을 이용하여 구하였고, 뿌리의 伸長率은 R.M.R.을 이용하여 平均伸長率(mean extension rate; M.E.R.)을 구하였다^{5,12,14)}.

$$R.M.R. = \frac{\log_e n_2 - \log_e n_1}{t_2 - t_1}$$

$$M.E.R. = \frac{l_2 - l_1}{n_2 - n_1} \times R.M.R.$$

여기서 l_1 , l_2 및 n_1 , n_2 는 t_1 時期와 t_2 時期의 뿌리길이와 뿌리수를 나타낸다.

뿌리의 形態的 分析은 可視的인 形態 觀察로는 精確한 結果를 얻을 수 없어 뿌리의 形態를 Fitter⁶⁾의 方法에 의해 分枝率(branching ratio; R_b)로 계산하였다. 各 順位(order)當 뿌리수를 센 후 이 수치를 이용하여 뿌리수의 對數值에 대한 順位の 기울기를 구한 후 기울기 絕對值에 antilog를 취하여 分枝率로 하였다.

結果 및 考察

育苗時 포트 깊이에 따른 地上部와 地下部の 生育狀態를 調査한 幹長, 葉面積 및 乾物重은 表 1과 같다. 幹長은 苗床初期에서 苗床末期까지 生長幅은 K326이 Ky11보다 다소 큰 경향이였다. 포트 깊이에 따른 幹長의 차이는 假植 中期부터 처리간에 차이를 각각 보여 포트 깊이가 깊어질수록 컸다. 假植後 25일 K326의 경우 포트 높이에 따른 차이가 현저하였고 Ky11은 30cm와 15cm 포트간에는 큰 차이가 없었으나 5cm포트에서 작아졌다. 특히 포트의 깊이에 따른 차이는 假植 15일부터 나타나기 시작했다. 葉面積의 경우도 幹長과 같은 樣相으로 변화가 일어났으나 幹長에 비해 K326, Ky11 두 품종간의 차이는 크지 않았다. 假

Table 1. Effects of pot depth on growth of tobacco seedlings

Variety	Pot depth (cm)	Stem height (cm)					Leaf area (cm ²)					Dry weight (mg/plant)					
		10	15	20	25	25	10	15	20	25	25	10	15	20	25	10	15
K326	30	0.4a	0.9a	2.3a	5.2a	10.3a	49.8a	119.2a	315.6a	18.7a	88.1a	247.4a	686a	2.1a	11.8a	22.2a	94.4a**
	15	0.4a	0.7ab	1.8b	4.1b	10.4a	37.9b	105.8b	258.9b	15.6a	65.5b	203.3a	590a	2.0a	10.3a	21.2a	85.0a
	5	0.4a	0.6b	1.7b	3.1c	9.1a	35.0b	85.6b	174.8c	13.3a	56.2b	152.0b	416b	1.6a	8.9a	14.9b	59.9b
Ky11	30	0.5a	1.0a	1.9a	3.3a	11.2a	48.9a	104.2a	311.2a	14.7a	84.1a	219.9a	628a	1.8a	10.2a	18.6a	86.4a
	15	0.5a	0.7b	2.0a	3.0ab	9.0b	31.0b	87.0b	271.1b	11.9b	52.7b	195.9a	524b	1.4a	7.0b	18.4a	73.7a
	5	0.4a	0.6b	1.7a	2.4b	8.7b	26.4b	83.6b	174.8c	12.8ab	39.2c	141.9b	350c	1.6a	5.3c	13.4b	56.9b

* : days after temporary transplanting

** : Within a column in a variety, means followed by same letters are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test

植後 20일까지 地上部の 生育은 포트의 깊이별 차이가 크지 않았으나 20일부터 25일 사이에 生育의 차이가 현저하여 이 시기부터 포트의 空間差異가 生育에 큰 영향을 나타내는 것으로 나타났다. 地上部和 地下部の 乾物重은 品種間에 큰 차이는 없었으나 K326이 다소 큰 경향이고 포트의 깊이가 깊을수록 乾物重이 큰 것으로 나타났다. 假植後 時間의 經過와 포트의 깊이에 따른 地上部和 地下部の 生長 變化는 거의 類似한 樣相을 보였다¹⁶⁾. 이상의 결과에서 幹長, 葉面積, 乾物重과 같은 主要 生長 形質은 30cm, 15cm, 5cm 포트 순으로 컸고, 5cm 포트에서 작은 것은 生育 空間에 대한 스트레스를 받아 뿌리의 발달이 불량해져 假植 時期가 경과함에 따라 植物體當 吸收되는 水分과 養分量의 차이가 커지기 때문으로 사료된다.

뿌리의 發達과 이에 따른 良苗 素質을 파악하기 위해 各 處理當 뿌리수를 조사하였으며 그 결과는 그림 1과 같다. 苗床 期間의 뿌리수는 K326와 Ky11 두 품종간에는 큰 차이는 없었으며 假植後 10일에 평균 13개, 15일 21개, 20일 31개, 25일 60개의 뿌리가 발달되었다. 즉 20일에서 25일 사이에 뿌리 발달이 가장 왕성한 시기로 나타났다. 포트 깊이별 뿌리 수의 증가는 地上部の 生長量이나 뿌리의 乾物重과는 相異한 경향을 보여 전반적으로 볼 때 5cm, 15cm, 30cm 포트 순으로 뿌리수가 많았다. 이러한 결과는 포트의 空間的 制限에 따른 각 뿌리의 伸長이 阻害되어 地上部の 生育에 필요한 水分 및 養分 供給이 부족하여 새로운 뿌리가 지속적으로 形成되었기 때문으로 사료된다. 뿌리의 生長중 수의 增加率인 相對增殖率(R.M.R.)은 한개의 뿌리에서 새로운 뿌리가 生成하는 速度를 나타내는 것으로서, R.M.R.이 클 경우 일정한 기간동안 새로운 뿌리가 많이 생겨나는 것을 뜻하는 것이다. 표 2에서와 같이 R.M.R.의 경우 큰 차이는 없었으나 5cm 포트에서 가장 컸다. 포트깊이에 따라서는 30cm, 15cm 포트에서는 主根 依存型 뿌리발달이 이루어져 뿌리수가 적은 대신 굵었으며, 5cm 포트에서는 主根 依存度가 낮아져 冠部에서 새로운 뿌리 發生이 많아졌기 때문으로 사료된다. 즉 育苗 포트의 일정한 空間 制限은 뿌리 伸長을 制限하여 冠部에서 새로운 뿌리의 發生

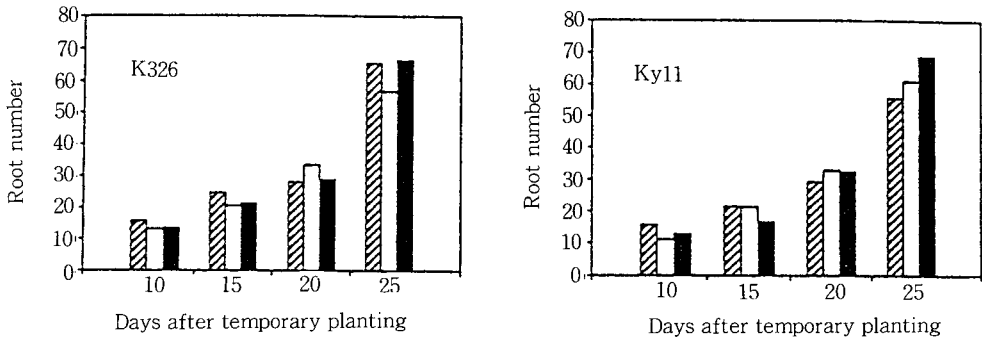


Fig. 1. Effects of pot depth on the root numbers during seedling stage in tobacco plant. Pot depth : 30cm(▨); 15cm (□); 5cm (■).

을 誘導하는 것으로 사료된다.

그림 2는 전체 뿌리길이를 나타낸 결과로 전체 뿌리길이는 K326이 Ky11보다 길게 나타났다. 전반적인 뿌리길이의 변화는 假植後 10일에 약 0.35 m, 15일 1.7m, 20일 2.6m, 25일 8.0m로 Gier⁷⁾은 成熟한 담배의 총 뿌리길이를 약 260m라고 보고 하였는데, 본 실험의 결과에서 20일에 총 길이의 0.1%, 25일은 0.3% 정도를 보이고 있다. 포트

깊이에 따른 뿌리길이는 苗床期間 동안 포트 깊이에 따른 뿌리발달이 5cm 포트에서 작았다. 이는 포트 容積에 따라서 30cm, 15cm 포트에서 主根 依存型이고 5cm 포트에서는 10일이 지나면서 空間 制限에 따른 스트레스를 받아 制限된 容積에서 主根의 伸長은 더이상 이루어지지 않고 冠部에서 새로운 뿌리의 發達 및 2次根, 3次根의 生成이 가속화하는 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 뿌

Table 2. Effects of pot depth on relative multiplication rate and mean extension rate of tobacco root systems during 15 days from 10 to 25 days after temporary transplanting

Variety	Relative multiplication (No. /No. /day)			Rate mean extension rate (cm /root tip /day)		
	30cm	15cm	5cm	30cm	15cm	5cm*
K326	0.10±0.01	0.10±0.01	0.11±0.01	1.71±0.54	1.83±0.50	1.38±0.38
Ky11	0.09±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	1.62±0.30	2.12±0.32	1.11±0.16

*: Pot depth

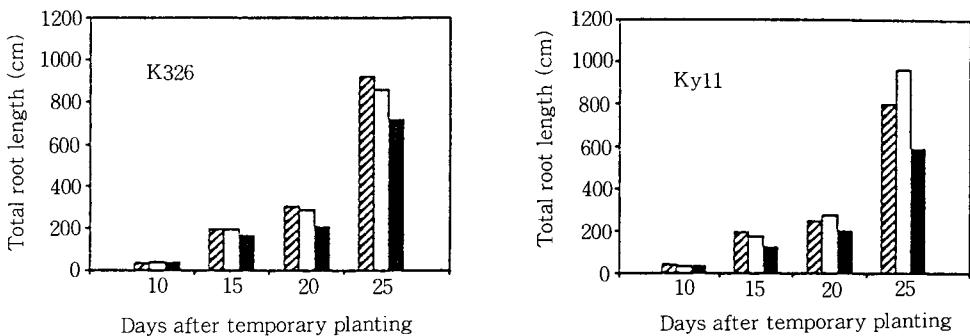


Fig. 2. Effects of pot depth on the total root length during seedling stage in tobacco plant. Pot depth : 30cm(▨); 15cm (□); 5cm (■).

리의 平均伸長率(M.E.R.)은 일정 기간에 일어나는 각각의 뿌리의 伸長速度를 나타낸 값으로 15cm 포트가 30cm나 5cm 포트보다 다소 크게 나타났다. 山崎¹⁸⁾은 草本性 植物에서 뿌리의 一日伸長速度는 主根의 경우 2~3cm 生長한다고 하였으나, 본 실험의 경우育苗床에서 15cm 포트를 基準으로 할 때 1.8~2.1cm가 生長하는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 전체 뿌리 발달은 假植後 10일에서 15일까지는 1일동안 약 27cm, 15에서 20일에는 17cm, 20에서 25일에는 110cm로 假植에 따른 適應期間이 끝나면 일시적으로 뿌리발달이 많은 것으로 생각되며 이는 苗移植에 따른 뿌리 손실이 48시간이 지나야 새로운 뿌리가 生成되어 회복되는 기간으로 고려할 때⁷⁾, 假植 初期에 蓄積된 養分이 뿌리의 活着이 일어난, 假植後 10에서 15일 동안에 많은 뿌리의 生長을 가져온 것으로 생각되며, 이 기간이 끝나면 活着에 따른 뿌리 발달로 地上部와 地下部 間に 均衡이 이루어져 地下部の 발달은 地上部の 生長과 같은 경향을 보이고 있다.

이러한 결과를 토대로 볼 때 假植後 20일 前後가 뿌리발달이 가장 왕성한 시기로서 育苗方法, 育苗期間, 本圃 移植適期를 결정하는 중요한 요인이 될 것으로 사료된다. 5cm 포트에서 전체 뿌리 길이가 적은 것은 遺傳的인 形質보다는 床土量에 따른 養分 溶脫이 많았고 根圈의 空間이 制限되어

각각의 뿌리간에 養分 및 水分 또는 酸素에 대한 競爭이 커지기 때문으로 생각되며, 土壤 容積이 적은 포트를 이용할 때는 土壤의 養分 保有能이 작으므로 뿌리증가량이 많은 20일경에는 追肥나 營養液을 撒布하는 것이 健苗育成을 위해 바람직하다고 생각한다.

그림 3은 育苗포트의 깊이에 따른 뿌리形態와 構造를 파악하기 위하여 各 順位別 뿌리數를 조사한 결과이다. 뿌리의 發達形態는 植物基部(莖軸)의 垂直方向으로 伸長하며 莖軸으로부터 形成된 뿌리를 1次 順位(first order) 뿌리, 1次 順位 뿌리로부터 形成된 것을 2次 順位(second order) 뿌리, 2次 順位 뿌리로부터 形成된 것을 3次 順位(third order) 뿌리 등으로 나타냈다^{5,6)}. 苗床期間의 順位當 뿌리의 形成狀態는 K326과 Ky11차이가 없어 뿌리의 전반적인 形態와 構造는 遺傳的 形質인 것으로 사료되며, 1次 順位 뿌리 形成은 假植初期에서 中期까지 약 40개, 120개, 250개로 일정한 水準으로 증가되었으나 假植末期 20일에서 25일에는 增加幅이 커서 600~900개로 증가되었다. 포트의 깊이가 줄어들수록 1次 順位와 2次 順位 뿌리 수는 적고 3次 順位의 뿌리 수는 많았는데, 이러한 결과는 空間 制限이 새로운 뿌리의 分枝를 誘導하였기 때문인 것으로 보인다. 이와 같이 담배의 뿌리 發達形態는 空間制限에 따른 스트레스를 받는 時期는 달라도 포트 깊이에 별 양적인 차이는 있어도 形成時期는 거의 비슷하여 뿌리

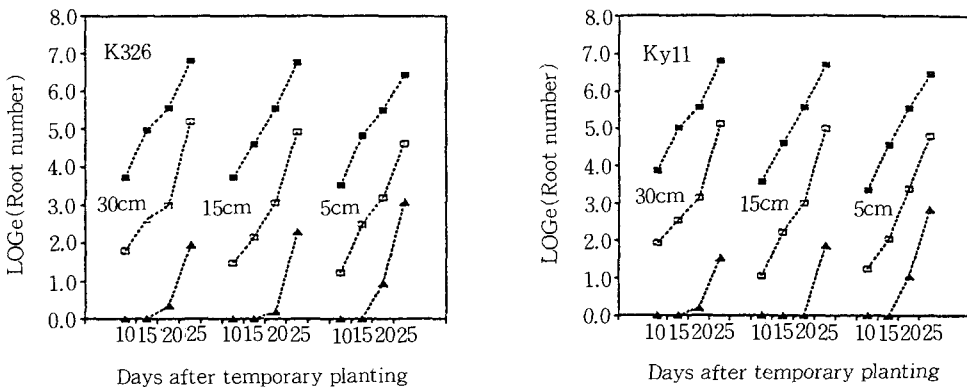


Fig. 3. Logarithms of the root numbers of first order, second order, and third order roots of tobacco seedlings grown on different pot depth of 30cm, 15cm, and 5cm.

■: First order; □: Second order; ▲: Third order.

Table 3. Effects of pot depth on the branching ratio of root in tobacco plant

DAT*	Pot depth (cm)	Branching ratio	
		K326	Ky11
20	30	6.74±0.08	6.57±0.26
	15	6.73±0.56	6.21±0.04
	5	8.17±0.87	8.33±0.90
25	30	8.98±0.10	8.57±0.40
	15	9.69±0.08	9.10±0.28
	5	7.07±0.36	8.43±0.21

* Days after temporary transplanting

발달은 生育段階別 遺傳的 프로그램^{1,15)}에 의해 進行되는 것으로 사료된다.

뿌리의 構造는 표 3의 分枝率(R_b)에서 나타난 바와 같이 假植後 20일에 30cm, 15cm 포트에서는 6.2~6.7이고, 5cm 포트에서는 8.1~8.3로 30cm와 15cm 포트간에는 별 차이가 없었으나 5cm 포트부터 뿌리 形態的 構造의 차이가 나타났다. R_b 가 클 경우에는 뿌리 構造는 좁은 形態이며 R_b 가 작을 경우는 뿌리가 넓게 퍼진 構造를 갖는 것으로 가식 후 20일까지 30cm, 15cm에서 主根의 發達形態가 이루어져 下層으로 뿌리발달이 계속 이루어지는 시기이고, 5cm에서 空間制限에 따른 主根의 形態가 아닌 2次 順位, 3次 順位 뿌리의 形成이 많이 이루어져 넓게 퍼진 형태의 뿌리 構造가 형성되었다. 그러나 25일의 30cm 포트와 15cm 포트에서 分枝率이 8.6~9.1로 5cm의 7~8.4 범위보다 커진 것으로 보아, 2次 順位와 3次 順位 뿌리의 形成이 왕성해졌음을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 볼 때 空間制限은 뿌리의 形成에 영향을 주어 뿌리 構造를 바꾸는 하나의 要因으로 작용하는 것을 알 수 있다.

本 實驗의 結果에 의하면 포트 깊이에 따른 地上部의 生育은 포트의 깊이가 깊어질수록 왕성해지므로 苗床의 立地의 條件을 고려할 때 포트 容積의 增加는 포트 깊이를 증가시키는 것이 苗床의 面積도 줄이고 幼苗의 生長도 증진시킬 것으로 사료된다. 결국 既存에 사용하는 포트크기를 고려할 때 育苗의 素質이 定植時 初期活着과 收

量에 크게 영향을 미치므로 品質爲主의 栽培法이 世界的 趨勢임을 감안할 때 既存에 사용하는 포트의 깊이를 再考해 보아야 할 것 같고, 地上部의 生育形態와 地下部의 뿌리發達과 形態를 고려해서 추정해 볼 때 이용하는 포트에 따라 달라질 수 있을 것으로 사료된다.

摘 要

本 實驗은 育苗期間동안 根圈의 空間制限이 뿌리 및 地上部의 生長에 미치는 影響을 評價하기 위해 가로 세로가 각각 5cm이고 깊이가 5, 15, 30cm인 포트를 이용하여 포트의 容積을 調節하였다. 뿌리의 發達과 地上部의 生長은 假植後의 담배育苗期間 동안 根系의 形態發達 및 地下部와 地上部의 生長을 調査하여 포트 容積에 따른 根系의 發達 樣相을 알아보고 優良苗 生産에 있어서 합리적인 포트 規格과 移植 適期를 樹立하고자 실시하였다.

1. 根圈의 空間 制限은 環境反應에 따른 뿌리生長을 抑制하여 地上部의 主要 生育形質을 減少시켰다. 포트 깊이에 따른 容積制限은 冠部에서 새로운 뿌리形成을 誘導하였다.
2. 뿌리수의 發達は 포트 깊이가 얕을수록 많았고, 相對增殖率도 컸다. 전체 뿌리길이와 平均 伸長率은 포트 깊이가 깊을수록 길었다.
3. 各 順位別 뿌리수는 포트깊이가 깊을수록 1次 順位와 2次 順位 뿌리수가 많았고 3次 順位의 뿌리수가 많았다. 뿌리의 構造는 假植後 20日에는 깊은 포트에서 넓은 뿌리 構造를 보였고 假植後 25日에는 얇은 포트에서 넓은 뿌리 構造를 보여 空間制限에 따른 뿌리 形態와 構造가 변화하였다.

引用文獻

1. Aeschbacher, R. A. 1994. The genetic and molecular basis of root development. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.

- Biol. 45:25-45.
2. Bohm, W. 1979. Methods of studying root systems. Springer-Verlag. New York.
 3. Carson, E. W. 1974. The plant root and its environment. p 3-61 University Press of Virginia, Charlottesville.
 4. Deanna, L. O. and C. D. Raper Jr. 1982. Root development of fieldgrown flue-cured tobacco. Agron. J. 74:541-546.
 5. English, J. T. and D. J. Mitchell. 1989. Use of morphometric analysis for characterization of tobacco root growth in relation to infection by *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*. Plant and Soil 113:243-249.
 6. Fitter, A. H. 1982. Morphometric analysis of root systems : application of the technique and influence of soil fertility on root system development in two herbaceous species. Plant Cell and Environment 5:313-322.
 7. Gier, L. J. 1940. Root systems of bright belt tobacco. Amer. J. Bot. 27:780-787.
 8. Hatfield, J. L. and B. A. Stewart. 1992. Advances in soil science: Limitations to plant root growth. (Vol. 19) Springer-Verlag. New York.
 9. Jones, K. J. and H. D. Shew. 1995. Early season root production and zoospore infection of cultivars of flue-cured tobacco that differ in level of partial resistance to *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*. Plant and Soil 172:55-61.
 10. Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. Plant Physiol. 109:7-13.
 11. May, L. H., F. H. Chapman and D. Apinall. 1965. Quantitative studies of root development. I. The influence of nutrient concentration. Aust. J. Biol. Sci. 18:25-35.
 12. _____, F. H. Randles., D. Aspinall and L. G. Paleg. 1967. Quantitative studies of root development. II. Growth in the early stages of development. Aust. J. Biol. Sci. 20:273-283.
 13. Osmond, D. L. and C. D. Raper, Jr. 1982. Root development of field-grown flue-cured tobacco. Agron. J. 74:541-546.
 14. Rose, D. A. 1983. The description of the growth of root systems. Plant and Soil 75:405-415
 15. Schiefelbein, W. and P. N. Benfey. 1991. The development of plant roots: New approaches to underground problems. The Plant Cell 3:1147-1154.
 16. Shin, J. S. and J. Y. Roh. 1993. Studies on the tobacco seedling growth in rice hull charcoal bed. I. Effects of cell size, filling density of seedling pot soil and watering amount before hardening on the growing characters and quality of tobacco seedling. Research Reports of the Tobacco Research Institute. 14:65-76.
 17. Waisel, Y. and A. Eshel. 1991. Plant root: The hidden half. p 3-24. Marcel Dekker. New York.
 18. 山崎耕亭. 1984. 作物の生態生理. 54-96. 文永堂. 日本.