

Changes in Physical and Chemical Properties of Coir Used as the Bag Culture Substrate of Greenhouse Tomatoes for Three Years

Seung-Geun Song, Kyo-seok Lee, Dong-Sung Lee, Ja-Hyun Rhie, Byeong-Deok Hong, Hui-Su Bae¹,
Il-Hwan Seo, and Doug-Young Chung*

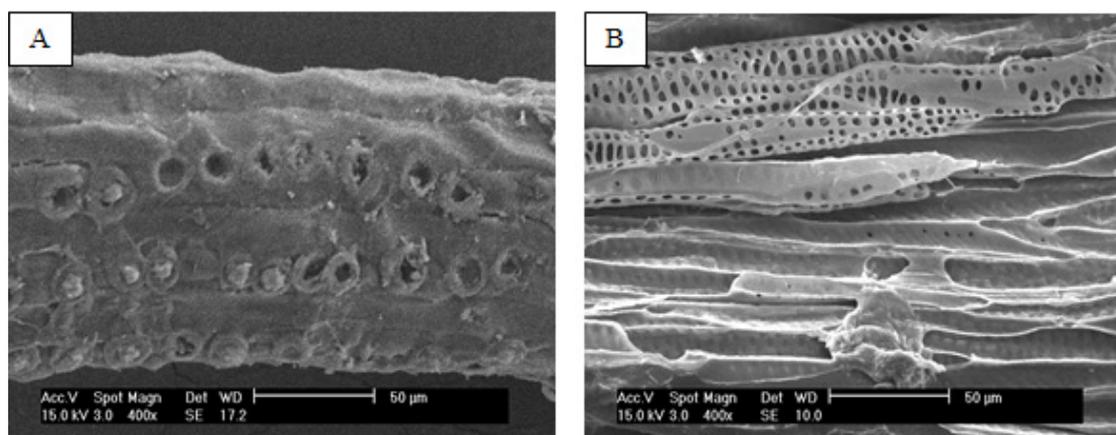
Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

¹*National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea*

(Received: October 6 2016, Revised: October 12 2016, Accepted: October 24 2016)

To identify causes for drastic decrease in yield of tomato with repeated culturing number of the bag culture substrate of greenhouse tomatoes we investigated the physical and chemical properties of a coir used as the bag culture substrate to grow tomato at the Booyeo tomato experimental institute located in Booyeo, Chungnam Province for three years from 2012 to 2014. The results showed that total porosity ranged from 65.4 to 73.1% for the bulk densities of coir ranging from 0.12 to 0.14 g cm⁻³. The volumetric water contents measured at 0.01 bar as air entry point were 25% (before), 33% (1st yr), 45% (2nd yr), and 37% (3rd yr). Organic matter contents ranged from 82.0 to 96.2% (highest in 1st yr). pH and EC ranged from 4.47 to 6.47 (highest in 2nd yr), and from 22.2 to 53.5 dS m⁻¹ (highest in 1st yr) and cation exchange capacity ranged from 71.0 to 191.7 cmol kg⁻¹ (highest in 3rd yr). The surface structure observed with electrical microscope showed that the number of large pores decreased with increasing cultivating time while the proportion of smaller pores increased, indicating that the coir was consistently decomposed. Therefore, we could conclude that these changes of all physical and chemical properties of the coir may influence the holding capacities of water and nutrients, resulting in deterioration of quality of culture substrate of greenhouse tomatoes.

Key words: Coir, Cation exchange capacity, Water holding capacity, Morphology



Pictures of profile morphology of fiber observed by ESEM with a magnification of 400 times the actual size (A: NW; D: 3rd).

*Corresponding author: Phone: +82428216739, Fax: +82428216731, E-mail: dychung@cnu.ac.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01086102)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

최근 노동력 부족, 양질의 유기재료 수급문제, 시설원예 산업의 급격한 발전으로 인하여 육묘장의 증가와 더불어 전문생산자에 의해 생산되는 육묘용 상토의 수요와 공급이 지속적으로 증가되고 있는 추세에 있다. 스리랑카, 인도네시아 등의 아시아, 남아메리카, 아프리카 등이 주 생산국이자 가공국인 (Abad et al., 2002; Noguera et al., 2003) 코이어 (Coir)는 코코넛 (*Cocos nucifera* L.)의 중과피 혹은 외과피에 구성되어있는 섬유질로서 주로 로프, 매트 등과 같은 것들을 제조하는데 사용되어 왔다. 코코넛의 중과피를 가공하는 과정에서 가치가 높은 긴 섬유질들은 대부분 제거되고, 나머지 가장 많은 양을 차지하는 짧은 섬유질들과 과일 속 조직들은 남는다. 이것들은 대부분 폐기물로 분류되어 일반적으로 소각 또는 폐기되었다 (Meerow, 1997; Vidhana Arachchi and Somasiri, 1997). 그러나 열대지방에서는 국부적으로 코이어 가루를 토양을 대신하여 작물을 생산하기 위한 상토의 재료로 사용하였다 (Reynolds, 1974; Chweya et al., 1978). 호주와 유럽에서는 코이어 분진입자 (dust)를 토양을 이용하지 않는 자루배지 형태로 만들어 상업적으로 사용하고 있으며, 네덜란드 회사들은 1980년대부터 코이어 중과피를 배지의 재료로서 사용해 오는 등 현재는 토탄 대신 관상용식물의 자루배지 소재로 전 세계적으로 사용하고 있다 (Handreck, 1993; Meerow, 1994; Noguera et al., 1997, 2000a,b; Offord et al., 1998; Stamps and Evans, 1997).

우리나라의 경우 시설원예 면적이 급격히 증가하고, 또한 전체 수경재배에서 코이어 배지 사용량이 가파르게 증가하고 있다 (RDA, 2008). 코이어 배지 사용이 증가하고 있는 이유는 배지 원재료의 수급이 용이하고, 가격이 저렴하기 때문이다 (Kim et al., 2012; Park et al., 2010). 그러나 생산국 별로 가공방법, 생산시기와 기후 조건, 그리고 인프라 등 생산 환경에 따라 코이어의 물리적 화학적 특성의 차이가 크며, 동일한 국가에서 수입된 경우에도 수입원에 따라 생산자가 다르므로 품질의 차이가 크다 (Evans and Stamp, 1996; Handreck, 1993; Lee, 2007; Choi et al., 2009).

시설재배에서 코이어배지를 이용하여 작물을 재배할 경우 작물재배기간 중 사용하는 양액의 형태와 처리방법, 그리고 수분관리방법이 작물생육과 수확량에 미치는 영향도 크다. 특히 대부분의 시설원예농가에서는 코이어배지를 다년간 사용하고 있으며 사용기간이 길어질수록 재배하는 작물의 품질이 저하될 뿐만 아니라 수량이 급격히 감소하는 문제점이 발생하고 있다 (Choi et al., 2009). 그러나 시설원예에서 코이어를 배지로 사용하는 기간에 따른 코이어배지의 이화학적 변화에 대한 연구는 매우 미미하다.

따라서 본 연구에서는 코이어를 배지로 사용하여 토마토를 재배한 시험포장에서 사용기간별로 코이어시료를 채취하

여 이화학적성을 조사하여 사용기간별 코이어배지의 특성 변화가 작물의 생육과 품질저하에 미치는 영향요인을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

Materials and Methods

본 실험에서 사용한 코이어배지는 0년차 (NW)부터 3년차 (3rd)까지 (주)서원양행에서 제조한 코이어 자루배지와 충청남도 부여에 위치한 부여 토마토시험장에서 토마토 양액재배 배지로 사용한 1 (1st)~3차년 (3rd)도 시료를 연도별로 채취하여 사용하였다. 시료채취는 연도별로 토마토 수확이 끝난 후 1주일 뒤에 5개의 베드에서 임의로 2개씩 총 10개의 자루배지를 선정하여 그들에서 풍건한 다음 균질하게 혼합한 후 원추 4분법으로 각 2 kg 씩 4개의 시료를 채취하여 실험에 사용하였다.

코이어배지의 표면구조를 조사하기 위하여 년차별로 풍건한 시료 100 g을 채취하여 직경 5 cm 아크릴 칼럼에 충전한 후 증류수로 세척하였다. 세척한 코이어시료를 건조기의 온도를 60°C로 조정된 환풍건조기에서 약 72시간 정도 완전 건조하여 길이 2 mm 이하의 시료를 ESEM-TMP (XL30 Philips, USA)를 이용하여 3반복으로 조사하였다.

용적밀도 (Bulk density; BD)는 상토표준분석법에서 제시한 추다짐법으로 조사하였다. 조사방법은 보조관 (collar tube, 직경: 7.62 cm, 높이: 2.5 cm)이 연결된 시료용기 (직경: 7.62 cm, 부피: 300 cm³)에 상토를 압력이 가해지지 않도록 자연스럽게 채우고 500 g 추를 사용하여 11.6 g cm⁻²의 압력을 3분간 가한 후, 보조관을 분리해 내고 다시 시료용기에 수직으로 밀어 그 부피와 질량으로 측정하였다 (Fig. 1).

수분보유력 (Water retention)은 직경 5.08 cm, 높이 2.0 cm, 스테인리스 원형시료용기에 증류수로 포화된 코이어시

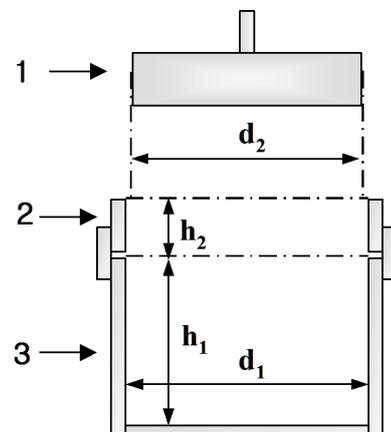


Fig. 1. Apparatus for measurement of bulk density by Plunger compaction method and Free fall and plunger compaction method [1: Plunger (d_2 : 7.5 cm, weight: 500 g in PCM and 300 g in FFPCM); 2: Collar tube (diameter: 7.6 cm, h_2 : 2.5 cm); 3: Sampling vessel (d_1 : 7.6 cm, h_1 : 6.62 cm, volume: 300 cm³)].

료를 채운 후 1 bar 이하는 샌드박스 (Eijkelkamp, Netherland) 로 0.01, 0.01, 0.3, 0.5, 그리고 1 bar에서 그리고 1 bar 이상은 Pressure chamber (Soil moisture, USA)를 이용하여 1, 3, 5, 10, 15 bar에서 수분보유력을 조사하였다. 중량수분함량의 계산은 건물을 기준으로 한 수분중량/건조시료중량으로 환산하였다. 시료의 화학성 분석은 농촌진흥청토양분석법에 준하여 pH 및 EC는 1:5 포화침출법으로 pH 미터와 EC 미터를 이용하여 조사하였으며 (Warncke, 1986), Cation exchange capacity (CEC)는 1M 암모니아아세테이트 (NH₄OAc) 방법으로 조사하였다. 유기물 함량 (Organic matter content, OM)은 Walkley-Black으로 조사하였다. 양이온 및 음이온의 분석에서는 pH 및 Electrical conductivity (EC)를 측정한 포화침출용액을 사용하였으며, 음이온은 Ion chromatography (Dionex mod. DX-500, USA)에 anionic column을, 양이온은 ICP-OES (Spectroflame mod. GBC Integra XM (EU))를 이용하여 분석하였다.

Results and Discussion

코이어 형태적 특성 코이어배지의 원료인 Coconut husk는 분리공정과정에서 섬유세포로 구성된 섬유 (fiber)와 중과피 (pith)라 불리는 분진 (dust)로 분리되며 섬유는 전단면에 30~300개 이상의 cell을 갖는 multicellular fiber 구조로 되었으며 중과피의 약 42%가 헤미셀룰로오스이다. 일반적으로 건물중 기준으로 코이어섬유는 코코넛껍질 전체무게의 20~30%를 차지하고 나머지는 중과피 (pith)로 이루어져 있다 (Ohler, 1984; Viswanathan and Gothandapani, 1999). 그리고 섬유는 α-Cellulose와 Klason lignin가 각각 약 36.3%와 31.9%로 구성돼 있으나 중과피는 α-Cellulose와 Klason lignin가 각각 21.0%와 24.1%로 섬유에 α-Cellulose와 Klason lignin이 더 많이 존재하는 것으로 보고되었다 (Allen, 1989).

Fig. 2와 3은 사용년도별 코이어섬유의 정면과 측면구조를 ESEM으로 조사한 것으로 사진에서 보는 바와 같이 사용

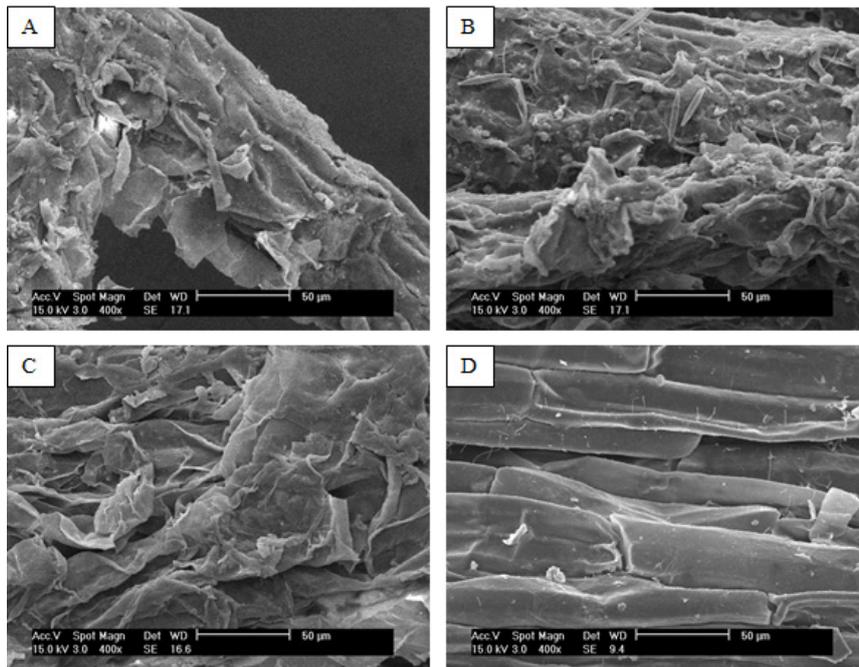


Fig. 2. Pictures of the front morphology of coir fiber observed by ESEM with a magnification of 400 times the actual size (A: NW, B: 1st, C: 2nd, and D: 3rd).

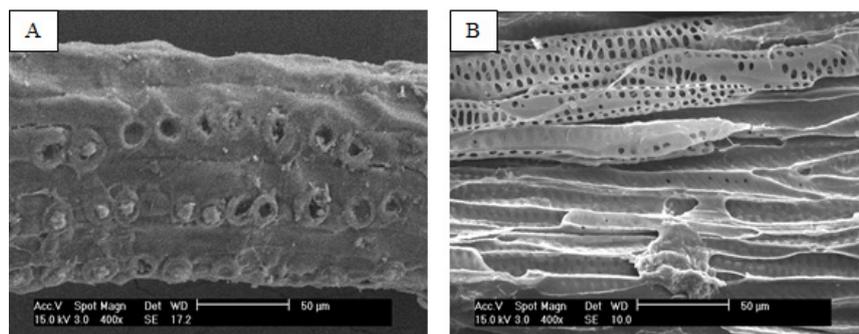


Fig. 3. Pictures of profile morphology of fiber observed by ESEM with a magnification of 400 times the actual size (A: NW, B: 3rd).

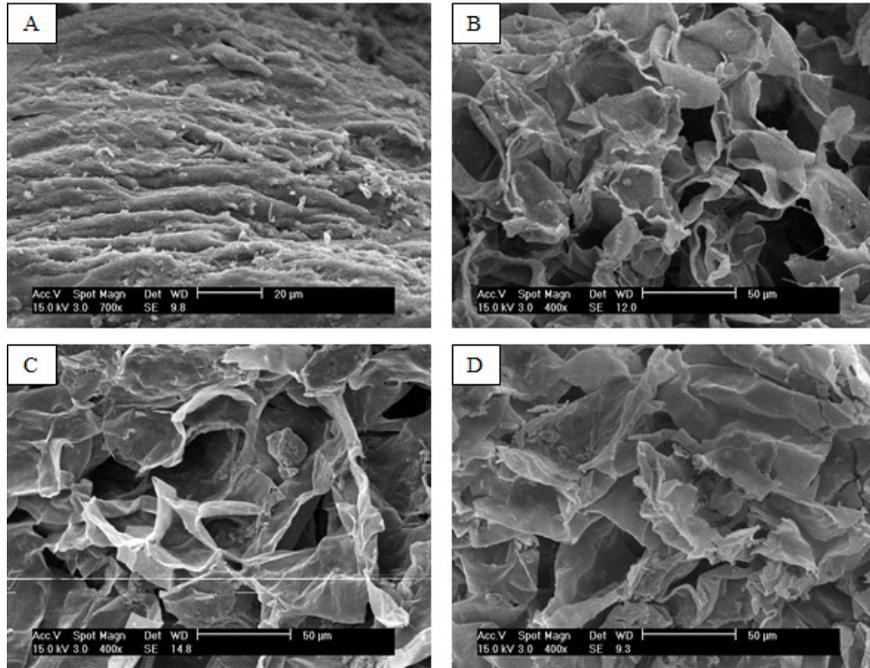


Fig. 4. Pictures of front morphology of coir chip observed by ESEM with a magnification of 400 times the actual size (A: NW, B: 1st, C: 2nd, and D: 3rd).

하지 않은 코이어 (NW)는 표면이 거칠게 보이나 코이어시료의 사용기간이 증가함에 따라 표면 거칠기가 크게 감소하는 경향을 보였다. 이는 섬유와 중과피에 함유된 α -Cellulose가 분해되어 나타나는 현상으로 생각된다. 반면 Fig. 3은 NW와 3rd 코이어섬유의 측면구조로서 NW에 비해 3rd의 코이어섬유 표면에 많은 다공성상태로 변한 것을 알 수 있다. 이는 중과피라고 불리는 세포내에 포함된 α -Cellulose와 같은 분해되기 쉬운 물질이 분해된 반면 리그닌과 같은 분해저항성 물질만 남았기 때문인 것으로 추정된다.

Fig. 4는 코이어칩의 정면구조를 사용연도별로 조사한 것이다. Fig. 4A에서 보는 바와 같이 NW는 일부분만이 섬유질이며 나머지는 중과피 (pith)로 구성되어 있다. 1st (Fig. 4B)는 섬유질이 파괴되기 시작한 단계로 얇은 막으로 구성된 타원형 형태의 무수한 초기 섬유세포가 서로 결합된 다세포다발 형태로 배열돼 있는 것을 알 수 있다. 2년차 (2nd)는 원형초기 세포 (circular elementary cells) 사이에 중간 박막층 (lamellae)이 존재하며 또한 1st에 비하여 원형형태의 세포크기가 다소 커진 것을 알 수 있다. 한편 3rd 코이어시료의 경우도 2nd와 유사

한 형태로 존재하며 세포간 공간의 넓이가 다소 증가된 것으로 조사되었다. Lin과 Dence (1992)가 중과피를 phloroglucinol로 염색한 후 SEM으로 조사한 결과를 보면 중과피는 리그닌화 세포벽과 중간박막층으로 구성되어 있으며 또한 세포간 공간은 비셀룰로오스 물질로 채워져 있다고 보고하였다 (Sreenivasan et al., 1996). 따라서 코이어시료의 표면구조는 코이어시료의 사용기간이 증가함에 따라 섬유질을 구성한 물질이 분해가 시작되고 증가함에 따라 세포다발 구조가 표면으로 나타나며 세포는 리그닌화 세포벽과 중간박막층, 그리고 세포간 관강 (lumen)의 크기가 증가하는 경향을 보인다는 것을 알 수 있다.

코이어의 물리화학적 특성 상토표준분석법에서 제시한 추다짐법으로 조사한 코이어배지의 용적밀도 (Bulk density)는 사용하지 않은 NW는 약 0.13 g cm^{-3} 였으나 1st에서 3rd 별 용적밀도는 $0.12, 0.12, 0.12 \text{ g cm}^{-3}$ 으로 NW에 비해 다소 감소되는 것으로 조사되었다 (Table 1). 그리고 동일 부피에서 포장용수량을 기준하여 측정된 공극률, 공기 (air-filled

Table 1. Changes of physical properties of coir depending on the cultivating period.

Cultivating period	Bulk density (g cm^{-3})	Pore space (v v^{-1} , %)		
		Air-filled	Water-filled	Total
NW	0.13	16.0	48.9	67.9
1 st	0.12	16.6	49.8	68.4
2 nd	0.12	17.8	52.3	71.1
3 rd	0.12	18.2	54.2	73.4

Table 2. Changes of chemical properties of coir depending on the cultivating period.

Cultivating period	pH	EC (dS m ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	OM (% wt wt ⁻¹)
NW	4.47	53.5	71.0	96.2
1 st	6.47	22.2	134.7	93.5
2 nd	5.96	25.8	149.0	85.9
3 rd	4.76	24.9	191.7	82.0

Table 3. Changes of anions and cations recovered from the extract of the coir washed with distilled water depending on the cultivating period.

Cultivating period	Concentration in the saturated extract								
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
NW	(cmol _c kg ⁻¹)	0.019	0.000	0.003	0.028	0.238	1.180	0.005	N.D
	(mg kg ⁻¹)	665	12.3	111	971	8,324	41,302	181	N.D
1 st	(cmol _c kg ⁻¹)	0.104	0.001	0.010	0.178	0.302	0.965	0.127	N.D
	(mg kg ⁻¹)	3,655	19.7	361	6,240	10,569	33,778	4,444	N.D
2 nd	(cmol _c kg ⁻¹)	0.064	0.001	0.002	0.224	0.423	1.088	0.177	N.D
	(mg kg ⁻¹)	2,225	29.1	79.9	7,854	14,807	38,079	6,180	N.D
3 rd	(cmol _c kg ⁻¹)	0.076	0.001	0.002	0.339	0.593	1.362	0.332	N.D
	(mg kg ⁻¹)	2,656	33.5	72.5	11,870	20,757	47,663	11,628	N.D

pore space)와 수분 (water-filled pore space)으로 채워진 부피는 사용기간이 증가하면서 점차 증가하는 것으로 조사되었다. 따라서 코이어배지의 용적밀도는 Fig. 2, 3, 4에서 보았던 코이어섬유와 중과피 구조변화에 영향을 받은 것으로 추정된다.

pH는 NW (4.47), 1st (6.47), 2nd (5.96), 3rd (4.76)로 코이어 사용기간이 증가함에 따라 pH는 감소하는 것으로 나타났다. EC (dS m⁻¹)는 NW (53.5), 1st (22.2), 2nd (25.8), 3rd (24.9)로 사용기간이 증가함에 따라 급격하게 감소하는 것으로 나타났다 (Table 2). 특히 NW에서 1st로 사용기간이 증가하면 급격하게 EC는 감소하고 이후 안정화되는 경향을 보여주고 있다. NW 코이어시료의 EC가 53.5 dS m⁻¹와 같이 높은 것은 코이어를 섬유와 중과피를 분리하기 위해 수개월 이상 해수 또는 고농도에 담가두어 이때 해수나 식염수의 염결정화합물이나 양이온 또는 음이온이 분리된 섬유나 중과피에 흡착돼 있다 증류수로 추출하는 과정 중에 수용성상태로 전환된 것으로 판단되며 1st 이후 코이어시료의 EC가 22 dS m⁻¹와 이상으로 높은 것은 토마토재배 기간동안 지속적으로 양액이 공급되어 코이어에 흡착되었기 때문인 것으로 판단된다. CEC는 NW가 71.0 cmol_c kg⁻¹로 가장 낮았으나 1st는 134.7 cmol_c kg⁻¹, 2nd는 149.0 cmol_c kg⁻¹, 3rd는 191.7 cmol_c kg⁻¹로 사용연수가 증가함에 따라 점진적으로 증가하였다. 이는 코이어의 사용년도가 증가함에 따라 코이어의 입자가 작아지고 중과피내에 박막층이 형성되면서 상대적 표면적이 증가하기 때문인 것으로 추정된다. 유기물함량은 NW가 96.2%로

가장 높게 나타났으며, 1st는 93.5%, 2nd는 81.9%, 3rd는 82.0%로 점점 감소하는 것으로 나타났다. 이는 식물이 재배되면서 섬유와 중과피를 채우고 있던 헤미셀룰로오스와 같은 유기물의 분해가 진행되어 그 결과 상대적으로 유기물의 함량이 감소하게 된 것으로 판단된다 (Table 2).

년차별 코이어 시료를 증류수로 추출하여 추출액내의 양이온과 음이온의 함량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 측정 결과 NW부터 3rd까지 모든 코이어시료에서 Mg²⁺는 측정되지 않았다. 이 외에 음이온 중 Cl⁻은 656~2,656 mg kg⁻¹ (highest in 1st), NO₃⁻는 12.3~33.5 mg kg⁻¹ (highest in 3rd), PO₄³⁻는 111~72.5 mg kg⁻¹ (highest in 1st), SO₄²⁻는 971~11,870 mg kg⁻¹ (highest in 3rd)로 측정되었다. 여기에서 보는 바와 같이 인을 제외하고 대부분의 음이온은 코이어사용기간이 증가함에 따라 급여된 양액내에 포함된 음이온이 코이어에 축적되는 것으로 판단된다. 그리고 양이온인 Na⁺는 8,324~20,757 mg kg⁻¹ (highest in 1st), K⁺는 33,778~47,663 mg kg⁻¹ (highest in 3rd), Ca²⁺는 181~11,628 mg kg⁻¹ (highest in 3rd)로 측정되었다 (Table 3). 양이온의 K⁺를 제외하고 대부분 음이온과 마찬가지로 코이어사용기간이 증가함에 따라 양이온이 코이어에 축적되기 때문인 것으로 판단된다. 한편 이와 같이 코이어사용기간이 증가함에 따라 코이어에 잔류하는 양이온과 음이온의 함량이 증가하는 것은 코이어의 부피감소와 섬유와 중과피내 헤미셀룰로오스와 같은 쉽게 분해되는 물질이 분해되면서 상대적 표면적이 증가하여 흡착량이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

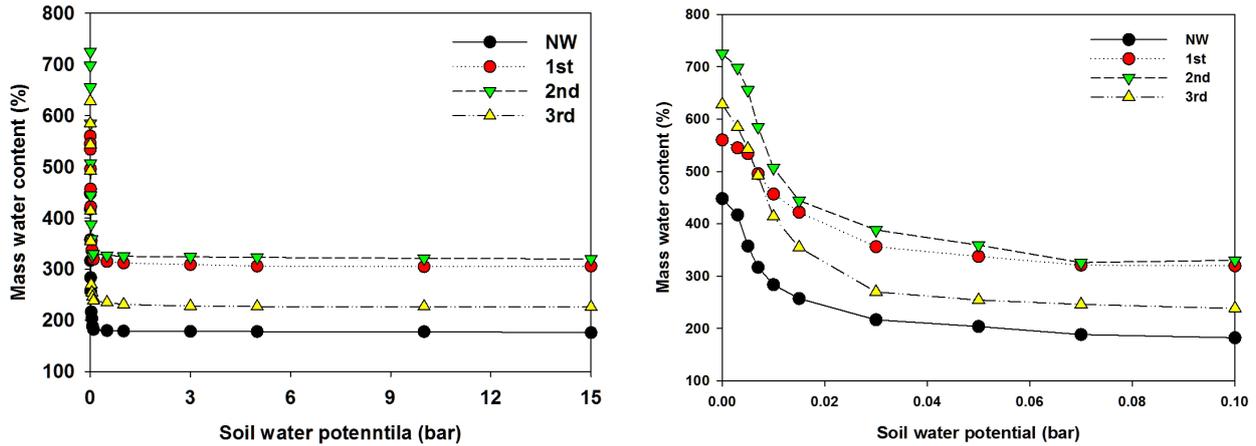


Fig. 5. Moisture retention curves for coir used as the bag culture substrate of greenhouse tomatoes for three Years.

Table 4. Mass water content of coir depending on the potential difference for respective cultivating period.

Potential difference	Mass water content (%)				Remarks
	NW	1 st	2 nd	3 rd	
△ (0-0.01)	133	88	172	171	AEP
△ (0.01-0.10)	101	137	177	175	Field capacity
△ (0.01-15.0)	108	151	187	188	

수분보유특성 (Water retention capacity) Fig. 5는 년차별 코이어시료에 대한 질량수분보유특성을 조사한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 년차별 보유능은 동일 수분포텐셜에서 2nd > 1st > 3rd > NW 순으로 감소하는 경향을 보여주고 있으며 초기 포화상태에서 수분포텐셜이 Air entry point에 해당되는 0.1 bar로 증가할 때까지 급격하게 감소하여 이후 안정화되는 양상을 보여주고 있다. 따라서 코이어의 경우 일반 토양에서와 같은 포장용수량의 개념은 공기주입점 (Air entry point; AEP)에서 영구위조점에 해당하는 수분포텐셜의 범위보다 작은 수분포텐셜 범위에서 결정되어야 할 것으로 판단한다.

Table 4는 식물가용수분함량 범위를 추정하기 위하여 각각의 수분포텐셜에서 조사된 질량수분함량을 환산하여 조사된 수분포텐셜 범위에서의 유효수분함량을 조사한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 증력수에 해당하는 0부터 0.01 bar와 0.01부터 15 bar 범위에 해당하는 수분함량은 코이어 사용연도가 증가할수록 증가하였으나 0부터 0.01 bar와 0.01부터 15 bar 범위사이의 질량수분함량은 10~15% 범위 이내로 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 따라서 코이어의 실제 유효수분함량범위에 해당하는 수분포텐셜은 0.01부터 0.1 bar 사이에 해당되는 수분함량으로 결정하는 것이 바람직하다.

Conclusions

코이어의 사용기간에 따른 물리화학적 특성 변화를 알아보기 위하여 본 연구를 수행하였다. 그 결과 코이어의 물리화

학적 특성중 보수력, 유기물함량, CEC, 표면 변화에 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 보수력은 NW와 1st보다 2nd의 보수력이 가장 높았으며, 그 차이는 약 20% 가량 나타났다. 유기물함량은 사용 연수가 증가함에 따라 점차 감소하였으며, 그와 함께 표면이 분해되고, 다공질 형태로 변화되었다. 유기물 분해 및 표면적 증가에 따라서 CEC는 사용 연수가 증가함에 따라서 증가하는 것으로 나타났다. 이상의 결과는 코이어의 연작 사용으로 변화하는 일부의 물리화학적 특성은 유기물 분해 및 표면형태의 변화에 영향을 받는 것으로 유추할 수 있다.

References

Abad, M., P. Noguera., R. Puchades., A. Maquieira., and V. Noguera. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bio Resource Tech.* 82:241-245.

Allen, S.E. 1989. *Chemical Analysis of Ecological Material*. Blackwell Science, Oxford, UK.

Choi, J.M., I.Y. Kim., and B.K. Kim. 2009. *Root substrates*. Hackyesa, Daejeon, Korea.

Chweya, J.A., A.M. Gurnah., and N.M. Fisher. 1978. Preliminary studies on some local materials for propagation media. 2. Trials with mixtures containing local materials. *East Afr. Agric. For. J.* 43:334-342.

Evans, M.R., S. Konduru., and R.H. Stamps. 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *Hort. Sci.* 31:965-967.

- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:349-363.
- Kim, S.E., S.Y. Sim., M.H. Lee., and Y.S. Kim. 2012. Appropriate daily last irrigation time in coir bag culture for tomato. *J. Bio-Environ. Control*, 21(1):12-19.
- Lee, Y. H. 2007. Improvement of physicochemical properties for sound coconut coir substrates for hydroponics. MS Diss., The University of Seoul, Seoul.
- Lin, S.Y and C.W. Demce. (Eds.). 1992. *Methods in Lignin Chemistry*. Springer Verlag, Berlin.
- Meerow, A.W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *Hort. Sci.* 29:1484-1486.
- Noguera, P., M. Abad., R. Puchades., V. Noguera., A. Maquieira., and J. Martinez. 1997. Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth. *Acta. Hortic.* 450: 365-373.
- Noguera, P., M. Abad., V. Noguera., R. Puchades., and A. Maquieira. 2000a. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta. Hortic.* 517:279-286.
- Noguera, P., M. Abad., and R. Puchades. 2000b. Caracterización y evaluación agronomica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Ph.D. Thesis on CD-Rom, Servicio de Publicaciones de la Universidad Politecnica de Valencia, Spain.
- Noguera, P., M. Abad., R. Puchades., A. Maquieira., and V. Noguera. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:593-605.
- Offord, C.A., S. Muir., and J.L Tyler. 1998. Growth of selected Australian plants in soilless media using coir as a substitute for peat. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:879-887.
- Ohler, J.G. 1984. *Coconut: Tree of Life*. FAO Plant Production and Protection Paper 57, Food and Agricultural Organization, Rome, Italy.
- Park, S.T., K.Y. Choi., and Y.B. Lee. 2010. Water content characteristics of coconut coir substrates on different mixture ratios and irrigation rates and times. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(2):227-233.
- Reynolds, S.G. 1974. Preliminary studies in Western Samoa using various parts of the coconut palm (*Cocos nucifera* L.) as growing media. *Acta. Hortic.* 37:1983-1991.
- Rural Development Administration (RDA). 2002. Standard analysis of substrate. NIAST, Suwon, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2008. Hydroponic culture dissemination present status. Suwon, Korea.
- Sreenivasan, S., P. Bhama Iyer., and K.R. Krishna Iyer. 1996. Influence of delignification and alkali treatment on the fine structure of coir fibres (*Cocos nucifera*). *J. Mater. Sci.* 31: 721-726.
- Stamps, R.H. and M.R. Evans. 1997. Growth of *Dieffenbachia maculata* "Camille" in growing media containing Sphagnum peat or coconut coir dust. *Hort. Sci.* 32:844-847.
- Vidhana Arachchi, L.P and L.L.W. Somasiri. 1997. Use of coir dust on the productivity of coconut on sandy soils. *Cocos.* 12:54-71.
- Viswanathan, R and L. Gothandapani. 1999. Mechanical properties of coir pith particle board. *Bioresour. Technol.* 67:93-95.
- Warncke, D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extract method. *Hort. Sci.* 21:223-225.