

## Evaluation on the Physical and Chemical Properties of Expanded Rice Hulls as Hydroponic Culture Medium<sup>1)</sup>

K.H. Kim\* · S.H. Lim · Y.I. Namgung · K.C. Yoo<sup>1</sup>

Kangwon Provincial A.R. & E.S, Chuncheon, 200-150, Korea.

<sup>1</sup>Division of Applied Plant Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

### Abstract

This study was carried out to investigate appropriate processing conditions for expanded rice hulls to be used as a medium material in nutrient cultures. The water holding capacity of expanded rice hulls produced by using a domestic grinder with 8 mm gap and 3 mm cutter height was 271.0, and the bulk density and CEC were  $0.19 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  and  $37.0 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectively. These values are higher than those of perlite. However, geometric mean diameter (GMD) of expanded rice hulls was 1.01 mm which was smaller than that of perlite, indicating unfavorable porosity. After supplying nutrient solution, the faster water percolation in expanded rice hulls than perlite required more frequent water supply. There was no significant difference in tomato fruit yield between expanded rice hull and perlite. The pH increase and the lack of nitrogen in early stage of culture are to be solved in the future.

**Key words :** tomato, medium

\*Corresponding author

<sup>1)</sup> 본 연구는 '99 농촌진흥청 지역농업기술개발과제로 수행되었음.

## 서 론

배지 재료란 토양을 대신하여 완충 및 지지역할을 해주는 것으로 통기성, 보수력, 투수속도등 물리성이 적절하여야 하고(Deboodt and Verdonck, 1972) 적절한 pH가 안정적으로 유지되어야 하며 무기성분의 용출이 없어야 한다. 그러나 현재 사용되고 있는 배지 재료의 대부분은 원재료에 다른 물질을 첨가, 혼합 등을 통한 이화학성 보완과 관리방법을 적정화하여 필요를 충족시키고 있다. 따라서 보편적인 관점에서 배지로서 개발 가능성이 인정되는 수준의 이화학성의 구비조건인 재료의 균일도, 작업성, 공급의 편의성이 우선되어야 할 것으로 판단되며 이러한 의미에서 왕겨는 배지 재료로 개발하기에 매우 적합한 자원으로 판단된다.

지금까지 왕겨에 관한 연구는 토양에 혼합하는 측면에서 연구된바 있다(服部和 竹島, 1976; Ozawa et al, 1992). 왕겨는 분해속도가 느리고 물성변화가 적으며 균일도가 좋고 공극이 충분하여 배지로 사용 가능

성이 있다. 또한 服部和 竹島(1976)는 생장억제 물질의 용출, 잡초발생, 모잘록병 발생, pH 상승, 낮은 보수력 등을 왕겨의 문제점으로 제기하였다. 또한 이러한 문제점을 개선하고자 팽연화, 온침, 스팀처리, 분쇄, 혼탄화 등의 연구가 수행되었다. 그러나 혼탄은 사용은 편리하나 대량생산이 어렵고 전처리 과정이 복잡하여 대규모 보급이 어려우며 팽연화 처리등은 대량생산은 가능하나 사용방법에 대한 기술이 연구중에 있어 현재로는 퇴비, 축사갈래 등으로 용도가 한정되어 있다.

왕겨의 배지재료로서의 이용 기술은 육묘용으로 많은 연구가 진행되어 왔고(Lee, 1999), 양액재배용 배지 재료로는 생왕겨를 이용한 혼합배지와 Lee(1997)에 의해 팽연화 왕겨의 이용이 시도되었으나 많은 문제점이 제기되었다. Benoit and Ceustermans(1996a)의 주장대로 유기질 배지는 제어에 어려움이 있는 것이 사실이나 본 연구에서는 수입을 대체할 수 있는 유망한 자원을 개발하고, 농업생태계 내에서 순환 가능한 배지재료의 개발을 목적으로 팽연화왕겨 배지 개발을 위한 기초 자료로서 양액재배용 배지로 사용

하기에 적합한 팽연화왕겨의 물성과 생산조건에 관한 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료의 선정

철원 갈말농협 미곡종합처리장에 설치되어있는 왕겨팽연분쇄기(푸른엔지니어링)를 사용하여 팽연화 왕겨를 제조하였으며, 분쇄기의 작동조건은 틱새간극 8 mm cutter 높이 3 mm를 ERH(extruded rice hulls) a로, 틱새간극 6 mm cutter 높이 3 mm를 ERH b로, 그리고 틱새간극 4 mm cutter 높이 4 mm를 ERH c로 하여 각기 다른 물성을 가진 팽연화왕겨를 생산하여 재료별 이화학성을 조사하고 펠라이트를 배지로 하는 양액재배법에 준하여 토마토 양액재배용 배지로 사용하였다(Fig. 1).

### 2. 팽연화 왕겨의 이화학적 성질

진비중은 105°C에서 48시간 건조시킨 마쇄시료 3~4 g을 100 ml pycnometer에 넣고 증류수를 채운 후 80°C 항온수조에 넣고 진탕하고 탈기하여 침전시켜 Heiskanen계산법에 의해 산출하였다(Lee, 1999).

가비중 및 용기 용수량은 105°C에서 건조한 시료를 3인치 core에 채운 후 sieve shaker로 1분간 처리하여 밀도를 맞추고 24시간 동안 저면급수로 포화시켜 중력수를 제거하고 무게를 측정하고 다시 48시간 동안 건조시킨 후 배지의 무게를 측정하여 계산으로 산출하였다(Lee, 1999).

입도는 USDA 분류 등급에 의거 sieve shaking하였고, Mazurak(1950)에 의해 제안된 GMD를 산출하였으며 보수력은 pressure extractor를 이용하여 측정하였다.

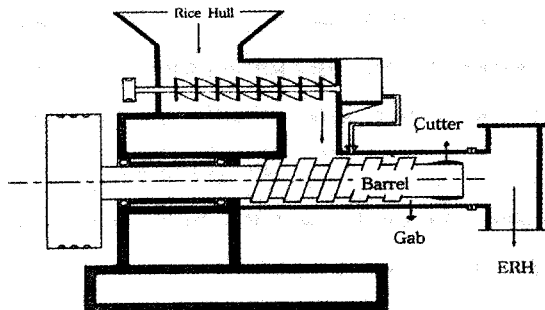


Fig. 1. Cross section of the rice hull expander.

흡수속도의 측정은 지름 10 cm의 투명 아크릴판에 시료를 채우고 1분간 sieve shaker로 밀도를 맞춘 다음 식용색소를 첨가한 증류수를 기준선까지 잠기게 하고 10분마다 흡수되는 높이를 측정하였다.

### 3. 팽연화 왕겨배지에서의 토마토 양액재배

팽연화 수준이 다른 3종의 왕겨를 perlite에 대비하여 양액재배용 배지 재료로서 활용가능성을 검토하였다. 재배시험은 2월 5일 정식하는 반촉성작형에서 수행하였으며 하우스모모타로토마토로 50공 tray에서 원예상토를 사용하여 50일간 육묘한 묘를 사용하였다. 펠라이트경에서 주로 사용되는 과채류 재배용 스티로폼 베드에 주당 8씩 배지 재료를 채우고 하루 1.5 l를 10회로 분할하여 급액하였다. EC는 아마자끼 토마토액으로 생육초기에는 1.7, 1단 착과 후에서 3단 착과시기까지 2.3, 수확종료기까지 2.0 mS·cm<sup>-1</sup>로 급액하였다. 토마토의 생육조사는 정식 후 30일과 생육종료기에 실시하였고 과실의 경도는 종합 물성 측정기(EZ-test, Shimadzu)로 측정하였으며 뿌리관찰은 폭 30 cm, 깊이 20 cm, 높이 60 cm 크기의 뿌리상자를 제작하여 사용하였다. 생육조사 기준은 농촌진흥청 발행 '시험연구사업 조사기준'에 의하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 팽연화 왕겨의 이화학적 성질 비교

양액재배용 배지는 경량으로 취급이 용이하며 용기 용수량 상태에서 용적수분 함량이 70% 이상이고 공극률이 최소 10%가 넘어야 한다(Bunt, 1976). 이러한 기준으로 볼 때 팽연화 왕겨는 팽연화율에 관계없이 배지로서 충분한 요건을 갖추고 있다. 또한 CEC는 펠라이트의 1.0 cmol·kg<sup>-1</sup>에 비해 37.0 cmol·kg<sup>-1</sup>으로 높고 보수력도 -0.1 bar에서 펠라이트의 190.6에 비해 271.0~262.9로 높은 편이며, 가비중도 펠라이트의 0.26에 비해 0.19~0.24로 작아서 취급도 매우 간편하다(Table 1).

그러나 일반적으로 재료의 수분특성을 나타내는 보수력은 입자의 모양이 매우 불규칙하고 입도가 커서 모세관 형성이 나쁜 경우에는 오차율이 매우 크므로 배지의 수분특성을 나타내는 용기용수량(C·C)이 실제 상황에 근접한 것으로 판단된다(Lee, 1996).

**Table 1.** Comparisons of physical and chemical properties of expanded rice hull media

Medium	pH(1:5)	EC (mS · cm <sup>-1</sup> )	CEC (cmol · kg <sup>-1</sup> )	Water potential (-0.1 bar)	C · C <sup>z</sup> (%)	GMD <sup>y</sup> (mm)	Bulk densit (g · cm <sup>-3</sup> )	Porosity (%)
Perlite	7.6	6.3a <sup>x</sup>	1.0b	190.6b	55.1b	1.60a	0.26	88.9
ERH a	6.0	3.6b	37.0a	271.0a	76.7a	1.01ab	0.19	88.1
ERH b	6.7	3.6b	41.5a	240.9a	74.4a	0.76b	0.24	84.9
ERH c	6.4	3.8b	46.3a	262.8a	75.5a	0.66b	0.23	85.5

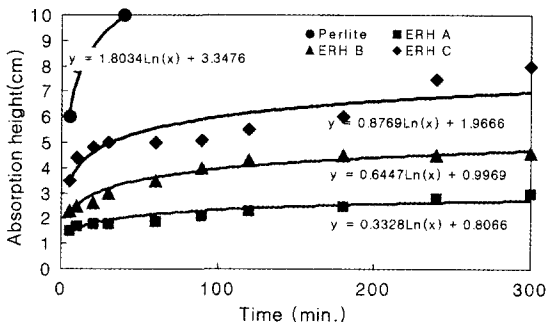
<sup>z</sup>C · C : container water capacity.

<sup>y</sup>GMD : geometric mean diameter.

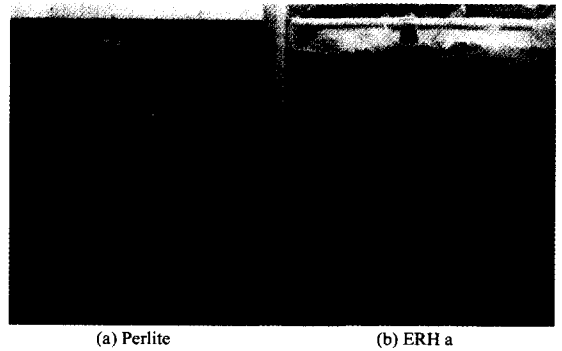
<sup>x</sup>Duncans multiple range test, P = 0.05.

재료에 따른 흡수속도의 차이는 펄라이트의 경우 50분 이내에 10 cm 높이에 도달하여 매우 빠른 흡수속도를 보였다. 팽연화 왕겨의 흡수속도는 상대적으로 낮았으며 팽연화율이 높을수록 조금씩 높아지는 결과였으나(Fig. 2) 일반적으로 흡수속도가 늦어지는 것이 생육에 영향을 미칠 정도는 아닌 것으로 판단된다. 뿌리상자재배를 통해 근분포를 확인한 Fig. 3에서 나타난 사진은 근분포가 표층에 집적된 펄라이트와 달리 팽연화 왕겨 재배시 하층에 집적되고 있음을 잘 나타내고 있는데, 실제 스티로폼 베드 이용시에 베드내의 배수속도는 뿌리상자보다 느려 뿌리상자재배시 보다 처리간 차이는 심하지 않았다(Fig. 3).

이러한 결과는 용적 수분함량이 감소하는 속도의 차이에서 기인되는 것으로 7 cm 깊이로 배지를 채울 경우 표면까지 흡수되는데 반해 깊이 10 cm 이상의 배지에서는 120일 정도 재배한 상황에서도 표면이 건조상태로 유지되는 것으로 미루어 급액방법의 교정이 필요한 것을 나타내 주고 있다. 실험에 사용된 ERH a의 GMD(geometric mean diameter)는 1.01 mm로 펄라이트의 1.60 mm에 비해 작으며 팽연화 수준



**Fig. 2.** Comparisons of absorption speed of three different ERH.



**Fig. 3.** Comparisons of root systems of tomatoes grown in expanded rice hulls (b) and perlite (a) media.

이 높아질수록 0.76 mm, 0.66 mm로 점차 작아졌다. 일반적으로 입도가 작을 경우 대공극보다 중소공극의 분포가 많아지고 표면적이 증가하며 보수력이 높아지게 되는데, 입도를 결정하는 팽연왕겨 분쇄기의 날의 높이가 같다고 하더라도 틈새간극을 좁혀 바렐내의 압력을 증가시키면 팽연화 수준이 높아지며 약간씩 더 분쇄되는 효과가 있었다(Table 1).

Fig. 4는 사용된 세가지 팽연화 왕겨를 전자현미경으로 관찰한 것으로 생왕겨에 비해 팽연화 왕겨의 표면에 균열이 일어나 있는 것을 볼 수 있으며 ERH c의 경우 돌출부위가 심하게 부서져 있는데, 이것도 흡수에는 유리할 것으로 판단되었다.

## 2. 재배초기 질소부족 및 pH 상승현상

팽연화 왕겨 배지는 유기질 배지이므로 부숙이 일어나며 이에 따른 문제점들이 제어를 어렵게 한다(Benoit and Ceustermans, 1996b). Smith(1992)는 소나무 침유를 이용한 배지에서 NH<sub>4</sub>OH의 형성에 의한 pH 상승과 이에 따라 발생하는 인산결핍, 뿌리발

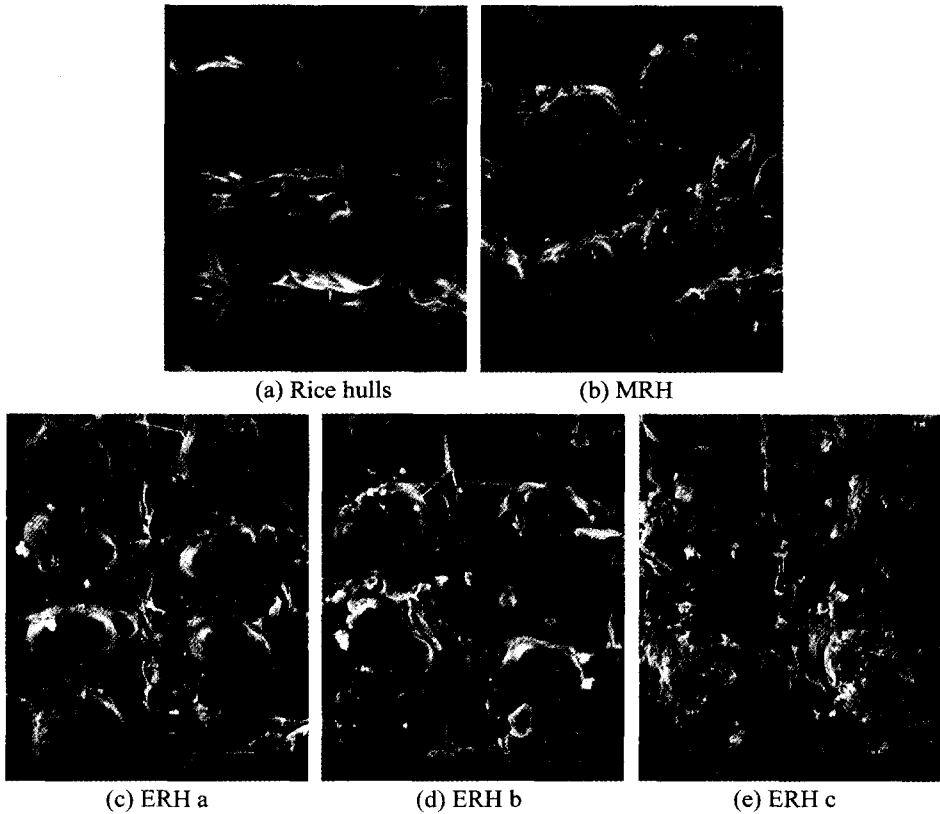


Fig. 4. Surface appearance of rice hulls with different treatments. Surface appearance was observed under microscope ( $\times 600$ ). a, rice hulls with no treatment; b, ground rice hulls; and c-e, expanded rice hulls.

육 저하 등을 보고하였다. Barraud(1990)는 목재섬유 배지에서 미생물이  $\text{NO}_3$ 를 소비하고 OH-를 양액으로 분비하여 pH가 상승한다고 하였다. Grantzau(1991)는 연구한 4종류의 목재섬유 배지중 Hortifibre에서 가장 높은  $\text{NO}_3$ 를 고정하며 프리물라, 펠라고늄, 삼목국화에서 성장억제 반응을 일으킨다고 보고하였다. 이러한 문제들은 대부분의 유기물 배지에서 예측되는 문제이며, 팽연화 왕겨는 8~10% 수준이 부숙되는 유기물 중에서 비교적 부숙에 안정적인 배지 재료로 평가되었다.

실제로 팽연화 왕겨경에서 정식 후 15일을 전후로 배액의 pH가 상승되었으며, 정식 후 15~20일 사이에 배액에서  $\text{NO}_3$ 의 상대적 부족이 있었다. 펠라이트 경 대비 ERH a에서  $\text{NO}_3$ 의 함량은 정식 후 19일째 배액에서 7 mmol 정도에 그쳐 크지 않은 차이였지만(Fig. 5) 근권에서는 상당한 영향이 있었을 것으로 생각되며 Smith(1992)의 주장과 유사한 반응이

근권내에서 일어나는 것으로 판단되었고, 이러한 반응은 팽연화율이 높아질수록 큰 경향을 보였다.

### 3. 팽연화 왕겨경 양액재배에서 재배한 토마토의 생육반응

Table 2에서 정식 후 5일에서는 팽연화 수준이 높은 ERH b와 ERH c가 전개엽수 10.4매로 perlite나 ERH a에 비해 0.2매 전개엽수가 많았으나 정식 10일 후에는 ERH a와 ERH b에서 각각 12.8매로 0.2~0.4매 빠른 엽전개를 보였다. 정식 후 20일에서는 perlite가 가장 많은 17.8매의 전개엽수를 보여 1.1~1.4매 빨랐으나 이후 ERH a는 회복되어 정식 후 25일에는 perlite의 19.4매와 근접한 19.3매 수준으로 회복되었다. 이것은 정식 후 10일에서 20일 사이에 근권내에서 토마토 생육에 불리한 조건이 형성되는 것을 의미하며 팽연화 수준이 높을수록 초기 스트레스가 큰 것으로 판단된다. 또한 이 시기는 부숙에

양액재배용 팽연화 왕겨 배지의 이화학적 특성 구명

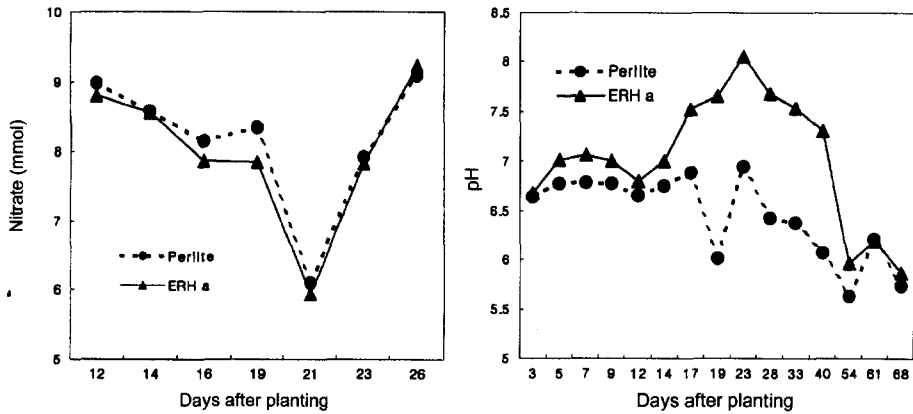


Fig. 5. The early nitrogen deficiency and pH increase in expanded rice hulls where tomato plants were cultivated.

Table 2. The leaf differentiation of tomato plants grown in perlite and three different expanded rice hulls

Medium	Number of leaves on					
	1 DAP <sup>2</sup>	5 DAP	10 DAP	15 DAP	20 DAP	25 DAP
Perlite	8	10.2	12.6	15.2	17.8	19.4a <sup>3</sup>
ERH a	8	10.2	12.8	14.5	16.7	19.3a
ERH b	8	10.4	12.9	14.4	16.7	17.9b
ERH c	8	10.4	12.5	14.3	16.4	17.8b

<sup>2</sup>DAP : days after planting.

<sup>3</sup>Duncan's multiple range test, P = 0.05.

관여하는 NO<sub>3</sub>의 부족과 pH 상승이 일어나는 시기와 일치하는 것으로 생육속도 변화의 원인이 NO<sub>3</sub> 및 pH 상승과 관련이 있음을 간접적으로 시사한다.

Table 3에서 팽연화 왕겨경에서 생산된 토마토의 과실당도는 평균 8.6°Brix로 펄라이트경에서의 7.6°Brix보다 1.0°Brix 높았으며 과중은 펄라이트의 194.3 g에 비해 ERH a 179.2 g, ERH b 167.0 g, ERH c 157.4 g으로 팽연화율이 낮을수록 과중이 작아지는 경향이였다. 대체로 수분 스트레스가 있는 상태에서 당도가 높아지는 전형적인 형태인 것으로 보이

나 단지 수분 스트레스만으로 판단하기에는 무리가 있었으며 팽연화율이 높을수록 10a당 ERH a는 8847.0 kg, ERH b는 8167.3 kg, ERH c는 7521.7 kg으로 수량도 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 식물체내 무기이온 농도를 비교한 Table 4에서 체내 K<sub>2</sub>O 농도가 펄라이트의 5.92%에 비해 6.51%로 높은 것은 재료에서 칼륨이 많이 용출되는데에 원인이 있는 것으로 보이며 경경 및 뿌리 발달에도 영향을 미치는 것으로 생각된다.

결국 식물생장 및 수량반응으로 미루어 세가지로

Table 3. The growth and yield response of tomato plants grown in rice hulls with three different expansion levels

Medium.	Growth			Fruit		Yield	
	Plant height (cm)	Stem diameter(cm)	Soluble solids(°Brix)	Hardness (kg 5 mmφ)	Weight (g)	No. of fruits	Yield (kg · plant <sup>-1</sup> )
Perlite	113.4a	1.36a	7.57	0.61a	194.3a	8.2a	2.125a <sup>2</sup>
ERH a	113.2a	1.37a	8.54a	0.62a	179.2b	8.4a	2.124a
ERH b	113.7a	1.36a	8.51a	0.60a	167.0bc	8.8a	1.960ab
ERH c	112.1a	1.38a	8.61a	0.59a	157.4c	8.6a	1.805b

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different by duncan's multiple range test, P = 0.05.

**Table 4.** Comparison of inorganic ion content within tomato plants grown in expanded rice hulls or perlite

Medium	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
% of dry weight					
Perlite	3.76	0.10	5.92a <sup>z</sup>	1.96	0.57
ERH a	3.78	0.12	6.51b	1.68	0.64

<sup>z</sup>Duncans multiple range test, P = 0.05.

설정된 조건에 의해 생산된 팽연화 왕겨를 배지로 하는 양액재배에서 틈새간극 8 mm, cutter 높이 3 mm의 매우 낮은 수준의 팽연화 왕겨를 사용한 처리에서 가장 좋은 수량을 얻을 수 있었다. 또한 부숙에 관련된 pH 상승 및 질소부족, 흡수능력이 낮은 배지에서 급액방법개선 등의 문제가 앞으로의 연구과제이다.

### Literature cited

1. Barraud, F. 1990. Evolution an cours du temps des proprietes des fibres de bois utilisees comme support de culture. (Evolution in time of the properties of wood fibres used as culture substrate). Memoire de fin'd'etude E.N.I.T.H.P. 2, rue Le Notre, F-49045 Angers-France. p. 64
2. Bunt, A.C. 1976. Modern Potting Compost. The Penn. State Univ. Press. University Park and London.
3. Deboodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Hort. 26:37-44.

4. Grantzau, E. 1991. Holzfasersubstrate im Zierpflanzenb. Gartenabau 38(9):44-47.
5. Lee, Choong Il. 1996. Physical and Chemical Properties of Bonded Rice Hull-Based Growing Medium for Rockwool Substitute. 園藝用培地の 특성과活用に 關한 심포지움. 韓國施設園藝研究會 p. 59-76
6. Lee, Ji-Won. 1999. Improvement of Physicochemical Properties of Rice Hull-Based Substrate for Raising Seedlings. Department of Horticulture, Graduate School Seoul National University.
7. Lee, Kyeong-Koog. 1997. Development of Substrates for the Fruit Vegetable Nutrient Solution Culture with Several Mineral Residues and Extruded Rice Chaff. Ph. D. Program in Horticultural Science Graduate School of Kon-Kuk University.
8. Mazurak, A. P. 1950. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregate. Soil Sci. 69:135-148.
9. Ozawa, K., M. Yamamura, and M. Okada. 1992. Rice-chaff and soil composite as a culture medium for vegetable seeding. Acta Hort. 319:407-412.
10. Smith, K. E. 1992. Pine bark as a seeding medium. Acta Hort. 319:395-400.
11. Benoit, F. N. Ceustermans. 1996a. 수경재배를 위한 생태적 배지 폴리우레탄 에텔폼 (PUR). 실용적인 양액재배 기술 국제 심포지움. 한국양액재배연구회. p. 32-44.
12. Benoit, F. N. Ceustermans. 1996b. 폐쇄형 양액재배 시 생태친화형 배지상에서의 토마토 재배. '96 한국양액재배연구회 국제 심포지움. p. 45-55.
13. 服部安一, 竹島彊二. 1976. カーネーション栽培におけるモミカラ利用培地とその効果(2). 農業および園藝 51: 1277-1280.

## 양액재배용 팽연화 왕겨 배지의 이화학적 특성 구명

김경희 · 임상현 · 남궁양일 · 유근창<sup>1</sup>  
강원도 농업기술원 · 강원대학교 원예학과<sup>1</sup>

### 적 요

본 연구에서는 유기물 재료로 구득이 쉽고 수량이 풍부하며 재료의 균일성이 좋은 왕겨를 팽연화 하여 양액재배용 배지 재료 사용하기 위해 적합한 조건을 탐색해 보았다. 팽연화 왕겨의 물리성은 CEC 37.0 cmol · kg<sup>-1</sup>, 가비중 0.19 g · cm<sup>-3</sup>, -0.1 bar 상태에서 보수력 271.0으로 펄라이트보다 우수하였으나 흡수속도는 펄라이트에 크게 떨어지는 경향이였다. 팽연화 수준이 높아짐에 따라 보수력, 흡수속도 등 수분 관련 물성이 좋아지는데 반해 입도가 작아지고 부숙속도가 빨라지는 변화가 있었고 재배중 부숙이 진행됨에 따라 급액 15일 이후부터 pH가 상승되며 15~20일 사이에 NO<sub>3</sub> 부족이 심화되어 작물에 스트레스를 주는 것으로 판단되었다. ERH a처리에서 당도가 펄라이트에 비해 약 1.0 °Brix정도 높고 수량의 유의성은 없었으므로 틈새간극 8 mm, 날높이 3 mm에서 생산된 팽연화 왕겨의 물성이 양액재배용 배지 재료로 사용하기에 적정하였다.

주제어 : 토마토, 배지재료