

벼의 灌水기간 및 수질이 단백질, 지방산조성 및 지질과산화에 미치는 영향

이상각*† · 이병모* · 강병화*

*고려대학교 생명환경과학대학

Effect of Overhead Flooding Stress on Protein Profiles, Fatty Acid Composition, and Lipid Peroxidation in Rice

Sang-Gak Lee*†, Byung-Mo Lee* and Byeung-Hoa Kang*

*Dept. of Crop Science, College of Life and Environmental Sciences, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

ABSTRACT : Biochemical responses of rice to the flooding stress with different water turbidities and flooding time were evaluated. About 20% decrease of soluble protein was occurred with flooding stress. The decreasing rate was higher as flooding time and higher turbidity increased. Especially, dramatic decrease of soluble protein content was observed after 36 hrs of flooding. No protein subunit change was found before and after flooding. However, subunit product of 53 Kd increased from the beginning of flooding and subunit of 28 Kd was increased 48 hrs and 54 hrs after flooding. Lipid peroxidation increased about 150% by flooding. There was no significant difference in lipid peroxidation between clear and sub-muddy water. However, the lipid peroxidation was increased up to 180% at 60 hrs of flooding. The malondialdehyde content (MDA) was higher in muddy water at the beginning of flooding and increased about 190-200% 36 hrs after flooding. Catalase activity increased with increasing turbidity and flooding time. Forty eight hours of flooding time provided a criteria for dramatic increase of catalase activity. In general, increase of saturated fatty acids and decrease of unsaturated fatty acids occurred with flooding treatment. Among unsaturated fatty acids, monounsaturated increased and polyunsaturated decreased. Double bond index(DBI) decreased as flooding time was extended and turbidity increased.

Keywords : rice, flooding, turbidity, malondialdehyde, Catalase, saturated fatty acid, unsaturated fatty acid, protein profiles.

벼(*Oryza sativa* L.)는 세계농업에서 가장 중요한 작물의 하나로서 주로 답수 및 혐기상태에서 성장한다. 벼는 답수토양

상태에서 산소결핍의 회피를 위해 잘 발달된 산소수송계에 의해 잎으로부터 뿌리로 산소의 수송이 이루어진다(Ellis & Setter, 1999; Ito *et al.*, 1999; Counce *et al.*, 2000). 식물은 대사와 생장을 유지시키기 위해 산소가 절대적으로 필요하다. 침·관수상태에서 식물이 받는 가장 큰 피해는 산소결핍이다. 관수스트레스는 1차적으로 수분포텐셜 스트레스가 아니라 관수에 의해 유도된 스트레스에 의한 영향을 받는다. 관수조건에서 대부분의 식물은 비가역적인 침수피해가 일어나기 전 산소 결핍에 대한 생리적인 회피나 적응기작이 일어난다. 산소 결핍상태에서의 적응현상은 전체식물수준에서도 분자수준에서도 일어난다(Vartapetian, 1993; Pezeshki, 1994; Drew, 1997; Inada *et al.*, 1998). 산소결핍은 세포막, 미량원소, 생장조절물질, 수분관계, 광합성, 호흡, 탄수화물분배 등에 영향하지만, 특히 산소결핍조건에서 단백질합성이나, 생체막의 지방구성, 호흡능은 각각의 요인보다도 서로 연결된 복합적인 요인에 의해 발생된다(Vartapetian, 1993; Pezeshki, 1994; Hasegawa & Horie, 1996; Drew, 1997; Blokhina *et al.*, 1999). 식물은 세포 소기관의 막이 스트레스조건에서 가장 민감하게 반응한다. 스트레스상황에서 생체막의 물리적 유동상태는 막을 구성하는 지질과 단백질의 생화학적 구조변화에 의존하며 생화학적반응은 지질 및 지방산 조성, 지방산의 포화정도가 물리적 유동상태에 영향을 준다. 산소결핍상태에서 식물은 여러 가지 원인에 의해 산화적 스트레스가 일어나며, 기본적인 기작은 광계II에서 생성이 되는 산소분자가 비정상적 경로로 환원이 되어 superoxide가 생성되며 이것이 일련의 과정을 거쳐서 과산화수소, hydroxy radical 등 반응성이 큰 독성산소가 되고 이들이 지질의 변화에 의한 생체막의 파괴, 효소의 불활성화, 식물색소의 파괴 등 피해를 일으킨다고 보고되고 있다(Cakmak & Horst, 1991; Vartapetian, 1993; Pezeshki, 1994; Shewfelt & Purvis, 1995; Yan *et al.*, 1996; Rodriguez-Rosales *et al.*, 1998; Ito *et al.*, 1999). 그러나 벼에서

†Corresponding author: (Phone) +82-2-3290-3462 (E-mail) weedsg@daum.net <Received April 9, 2001>

관수시 발생하는 지방산조성 및 지질과산화가 에너지 생산감소에 어떻게 영향하는지는 잘 연구되지 않았고 결과도 미미한 실정이다.

본 연구는 벼의 탁도 별 관수시간에 따라 반응하는 단백질, 지방산 조성 및 지질과산화(malondialdehyde)정도를 정량하여 관수스트레스에 대한 생육장애와 작용기작을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시품종은 일품이었으며 2000년 4월부터 9월까지 고려대학교 생명환경과학대학 부속온실에서 1/5000a 포트에 3분씩 이식하여 일반재배법에 준하여 관리하였다. 시비량은 수도용 복합비료를 17-21-17 kg/10a(N-P₂O₅-K₂O)로 하여 기비와 분얼비로 나누어 사용하였다. 관수처리는 이앙 후 50일의 분얼최성기의 벼를 내경 70 cm, 높이 80 cm의 300 l들이 플라스틱통에 수도물을 채우고 무관수를 대조로 하여, 청수, 반탁수, 탁수로 처리하였다. 수온상승에 따른 피해를 줄이기 위해 약광조건인 반그늘 상태에서 실시하였고, 처리기간동안 중간수위의 수온을 평균 27±1°C로 유지시켰다. 시료채취는 관수처리 후 12시간 간격으로 최대엽을 일부는 생체시료로 이용하고 일부는 건조기(80°C, 48시간)에서 건조시켜 분석시료로 이용하였다. 탁도 결정은 황갈색양토를 건조시켜 0.1 mm 체로 쳐서 검정선을 구한 628 nm로 표준곡선($y=0.1097x-0.0307$, $R^2=0.9938$)을 작성하여 반탁수는 2.5 g/l기준으로, 탁수는 7.5 g/l기준으로 탁도를 결정하였다. 처리한 탁도의 투명도는 NTU탁도계(HACH 2100P)를 이용하여 측정하였으며 반탁수는 296NTU, 탁수는 1360NTU이었다.

가용성단백질은 0.1 mM Tris HCl(pH7.8)로 추출하여 정량하였고 표준물질은 Bovine serum albumin을 사용하였다. SDS-PAGE를 위한 단백질 추출 및 정제는 총단백질을 추출하는 방법으로 생엽 3 g을 액체질소에 넣고 추출용액[30 mM Tris(pH8.7), 1 mM ascorbic acid, 5 mM MgCl₂, 1 mM EDTA, 0.5% PVP]을 가해 마쇄하여 33,000 g로 15분간 원심분리하여 상정액만 추출하였다. 상정액의 4배에 해당하는 0.07% 2-mercaptoethanol을 함유한 냉각아세톤을 처리하여 -20°C에서 1시간 침전시킨 후 33,000 g로 10분간 원심분리하여 정제하였다. 각 처리별 단백질함량을 정량하여 15 µg의 단백질을 함유한 시료와 SDS reducing buffer[60 mM Tris (pH6.8), 10% glycerol, 2% SDS, 5% 2-mercaptoethanol, bromophenol blue]에 1:2로 희석시켜 전기영동에 사용하였다. 전기영동은 1차원 SDS-PAGE로 실시하였다. 지방산조성은 Garces & Manuel(1993)의 방법에 따라 mixture [methanol: benzene: 2,2-dimethoxy propane(DMP): H₂SO₄=39: 20: 5: 2, v/v, 냉암소보관]를 340 µl를 넣어 충분히 흔든 다음 80°C에서 2시간 추출하였다. 추출 후 상온으로 냉각하여 두층이 형성되

면 위의 층에서 일정량을 취해 GLC로 분석하였다. Column은 15% diethylene glycol succinate로 충전된 glass column을 사용하였고 column과 injector 온도는 각각 200, 220°C로 하였다. 지방산의 불포화정도는 Peoples *et al*(1978)의 방법에 따라 상대적 비율에 지방산이 함유하고 있는 이중결합의 수를 곱한 후 그 값들을 100으로 나누어 double bond index(DBI)를 구하였다. 지질과산화 검정은 Cakmak & Horst(1991)의 방법에 따라 지질의 과산화를 thiobarbituric acid(TBA)를 이용하여 malondialdehyde(MDA)의 형성을 다음의 과정을 통하여 정량하여 산화 정도를 파악하였다. 생체 200 mg에 0.1% trichloroacetic acid(TCA) 2 ml을 가하여 추출한 용액을 10,000 g에서 10분간 원심분리하여 상정액 1 ml을 취하고 여기에 0.5%의 TBA를 함유하는 20% TCA 용액 4 ml을 가한 다음 95°C에서 30분간 반응시키고 ice bath에 옮겨 반응을 정지시킨 다음 10,000 g에서 5분간 원심분리하고 상정액을 취하여 532 nm에서 MDA-TBA의 흡광계수 155 mM⁻¹cm⁻¹을 이용하여 측정하였다. 특히 추출용액 자체가 갖는 비특이적 흡광도는 600 nm에서 흡광도 측정을 보정하여 주었다. catalase활성측정은 Mishra *et al*(1993)의 방법에 따라 H₂O₂ 용액이 240 nm에서 감소되는 흡광도를 1분간 측정한 다음 이 변화량을 1 unit로 하였다. 반응 혼합액은 100 mM potassium phosphate(pH 7.0), 55 mM H₂O₂ 0.2 ml, 효소추출액 0.03 ml, 증류수 0.77 ml로 사용하였다.

결과 및 고찰

세포의 생화학 반응을 통해 식물체 생명현상의 중심적 역할을 하는 가용성단백질함량과 총단백질 전기영동 양상의 결과는 Fig. 1과 2와 같다. 관수스트레스에 따라 가용성단백질함량 (Fig. 1)은 대조구에 비해 약 20%가 감소하였다. 탁도에 따른

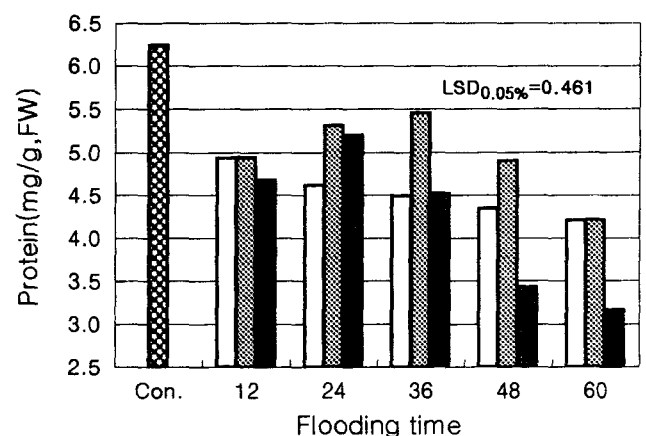


Fig. 1. Soluble protein content of rice leaf blade as treated by different degrees of turbidity and flooding time in rice (▨: Control, □: Clear water, ▤: Sub-muddy water, ■: Muddy water).

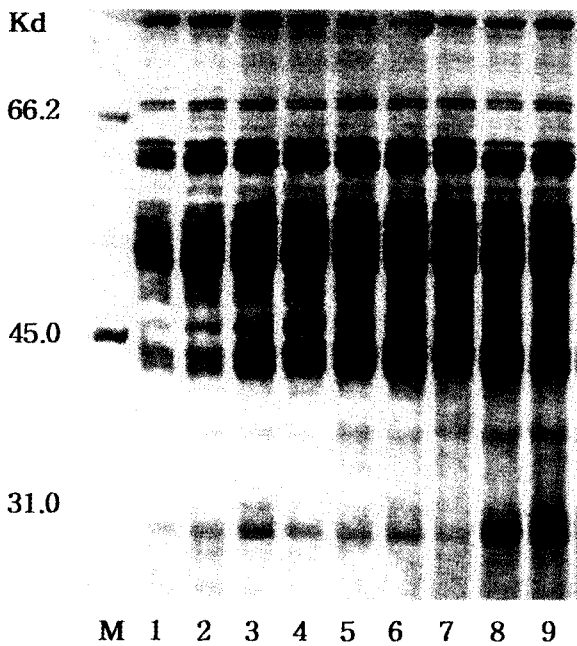


Fig. 2. SDS-PAGE profiles of total proteins extracted from rice flooded with muddy water for different duration. Estimated molecular weight in kilodalton were indicated. Lane 1; control, Lane 2; 12 hrs, Lane3; 18 hrs, Lane4; 24 hrs, Lane5; 30 hrs, Lane6; 36 hrs, Lane7; 42 hrs, Lane8; 48 hrs, Lane9; 54 hrs.

가용성단백질함량의 변화는 청수, 반탁수, 탁수에서 처리간의 차이는 작았으나, 관수시간이 경과할수록 감소량은 컸다. 관수 시간에 따른 가용성단백질함량은 탁도 별 처리 모두에서 36시간까지는 함량차이는 작았으나 36시간이후부터는 감소량이 컸다. 특히 관수 48시간 경과 후 청수와 반탁수에서의 가용성단백질은 대조구에 비해 약 30%, 탁수에서는 약 50%가 감소하여, 탁도가 높고 관수시간이 경과할수록 급격히 감소했다. 스트레스환경에서 식물의 생리적 반응을 위한 단백질 대사회전(turnover)의 조절은 성장과 발달에 중요한 요인이 된다. 몇몇의 연구결과에 의하면 관수조건에서의 Rubisco단백질의 증·감에 따라 벼의 감수성과 저항성을 평가하고 있지만 관수스트레스에 대한 단백질대사의 기작은 아직까지 정확히 연구되지 않았다(Pezeshki, 1994; Vartapetian & Jackson, 1997; Ito *et al.*, 1999). Fig. 2는 탁도처리 중 탁수의 관수시간별 총단백질의 1차원 전기영동 양상의 결과이다. 식물은 환경적인 스트레스하에서 유전적 프로그래밍에 반응하여 대사과정에서 특이한 변화를 일으켜 스트레스를 회피하거나 극복하여 적응하는데 (Pezeshki, 1994; Vartapetian & Jackson, 1997; Inada *et al.*, 1998), 본 실험에서는 관수스트레스에 따른 새로운 폴리펩타이드의 생성이나 소멸의 밴드는 없었지만 몇몇 밴드의 함량의 증가가 나타났다. 특히 약 53 Kd 부위의 양적인 변화는 관수 초기부터 함량이 증가하여 이 밴드의 변화는 관수스트레스에 따른 회피나 지연을 위한 혐기적 대사 적응기작으로 보여지

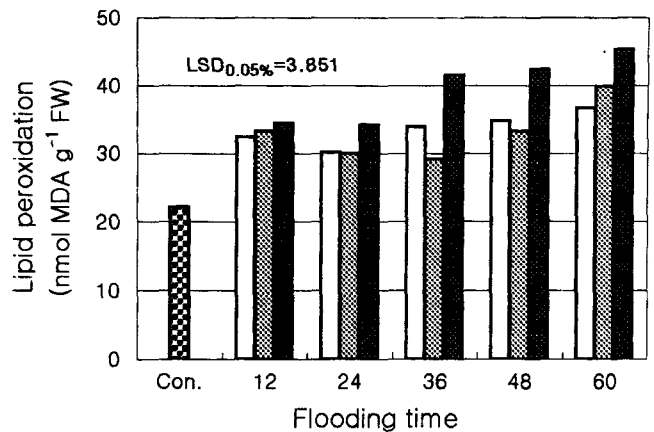


Fig. 3. Lipid proxidation of rice plant as flooded by different degrees of turbidity and flooding time in rice (▨ : Control, □ : Clear water, ▤ : Sub-muddy water, ■ : Muddy water).

나, 48시간, 54시간의 약 28 Kd의 밴드의 함량의 증가가 뚜렷하게 관찰된 것은 이 밴드의 변화가 이(2001)에 의하면 관수 48시간에서 퇴수 후 탁도가 높은 탁수에서 고사하였다는 결과와 일치하여 회피나 적응보다는 스트레스에 유도된 활성 유전자의 발현으로 식물의 생명현상과 연관된 중요한 펩타이드로 사료되며 추후 분자적 수준에서 연구가 이루어져야 될 것 같다.

산화적인 스트레스의 검정은 지질과산화에 따른 malondialdehyde(MDA)를 정량함으로써 지질의 과산화를 간접적으로 비교한다(Cakmak & Horst, 1991; Shewfelt & Purvis, 1995; Blokhina *et al.*, 1999). 관수스트레스에 따른 지질의 과산화 정도는 대조구에 비해 약 150%가 증가하였다(Fig. 3). 관수스트레스하에서 혐기적인 광분해를 위한 산화적인 호흡이 유도되어 H₂O₂, OH⁻ 등 반응성이 큰 독성산소의 생성이 지질의 변화에 의한 생체막을 파괴하여 식물체의 피해를 일으킬 것으로 사료된다. 이러한 독성산소의 피해를 대표하는 지질의 과산화는 탁도에 따라서 청수, 반탁수에서는 처리간의 차이는 작았으나, 탁수에서 관수초기부터 MDA함량이 높아 처리간의 차이가 컸다. 관수시간에 따라서는 청수와 반탁수의 48시간까지는 관수시간에 따른 차이는 작았으나 60시간에서는 각각 160%, 180%가 증가하였다. 또한 탁수에서는 관수초기부터 지질의 과산화 정도가 커서 MDA형성량이 많았고 36시간부터는 약 190%로 급속히 증가하여 48시간이후에는 약 200%로 증가하였다. 지질과산화는 대사장해의 진행과정에서 관찰되지만 세포의 지질과산화와 관련된 방어기작은 대단히 복잡한 과정을 통해 일어나기 때문에 확실히 밝혀지지는 않았지만 관수스트레스에 따라서는 탁도가 높을수록 지질과산화가 큰 것으로 나타났다. 퍼옥시소좀에서 글리콜산의 산화과정에서 환원된 과산화수소는 catalase와 peroxidase가 과산화수소의 제거에 중요한 기능을 담당한다(Taiz & Zeiger, 1998; Isamah *et al.*, 2000). Fig. 4에서 보면 관수스트레스에 따른 catalase활성은 탁도처리와 관수시간에 따라 증가하였다. 탁도처리에 따른 catalase활

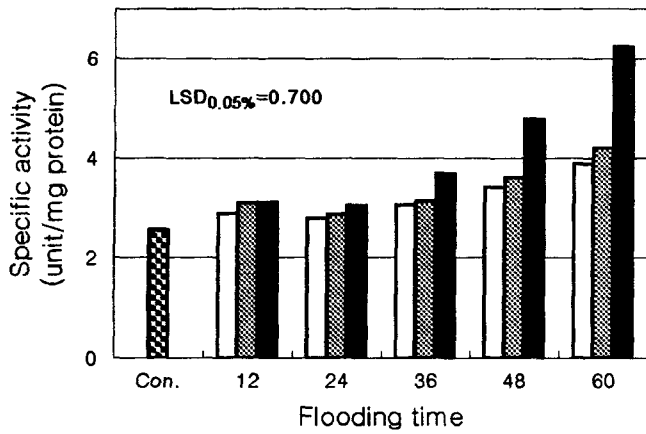


Fig. 4. Catalase activity of rice planted as flooded by different degrees of turbidity and flooding time in rice (▨ : Control, □ : Clear water, ▤ : Sub-muddy water, ■ : Muddy water).

성은 탁도가 높고 관수시간이 경과할수록 활성은 급격히 증가하였다. 특히 청수와 반탁수의 36시간까지 활성차이는 작았지만 48시간이후의 활성은 완만히 증가하여 60시간에서는 대조구에 비해 각각 150%, 160%가 증가하였다. 탁수에서는 처리초기부터 활성이 높았으며 관수시간이 경과할수록 급격히 증가하여 48시간에는 약 190%, 60시간에는 약 250%가 증가하였다. 본 실험을 통해 탁도가 높고 처리시간이 경과할수록 catalase활성증가의 징후는 48시간을 전후로 나타나 관수스트레스에 대한 식물체의 피해정도를 파악할 수 있는 지표로서의 사용이 가능 할 것으로 사료된다. 관수스트레스에서는 산소결핍에 의한 피해가 발생되므로 Catalase는 과산화수소를 물과 산소로 분해시켜 산소를 생성하는 반면에 Peroxidase는 과산화수소를 물로 분해시켜 산소의 생성없이 과산화산소량만 줄일 것이므로 산소생성량과 관련성이 클 것으로 생각되어

Peroxidase활성은 불리한 조건으로 작용 할 것으로 사료된다 (Taiz & Zeiger, 1998; Isamah *et al.*, 2000).

관수상태에서는 산화적인 인산화에 의해 에너지 공급을 충당하지만 관수기간의 경과에 따른 피해와 고사의 1차적인 원인은 식물세포의 에너지불균형상태가 일어나 가장 중요한 세포구성물질의 합성을 차단한다(Pezeshki, 1994; Vartapetian & Jackson, 1997; Ito *et al.*, 1999). Table 1은 관수스트레스에 따른 벼의 지방산 조성을 나타낸 결과이다. 분얼최성기의 최대엽의 지방산 분포는 Linolenic acid 59.96%, Palmitic acid 20.11%, Linoleic acid 12.22%로써 큰 비율을 구성하고, Palmitoleic acid, Stearic acid, Oleic acid, Myristoleic acid, Myristic acid는 적은량이 분포하고 있다. 특히 지방산조성중 포화지방산은 22%와 불포화지방산은 78%의 상대적인 비율을 보이고 있다. 본 실험에서 관수처리에 따른 분얼최성기 최대엽의 지방산조성의 변화는 포화지방산의 조성비율은 증가하고 불포화지방산은 감소하였다. 특히 탁도에 따라서는 청수보다는 반탁수와 탁수에서 지방산 조성비율의 변화는 컸다. 청수에서는 대조구와 비교해서 관수시간이 경과함에 따라 몇몇 지방산은 증·감의 경향은 있었지만 유의성은 없었다. 반탁수와 탁수에서는 조성비율이 큰 불포화지방산인 Linoleic acid, Linolenic acid는 관수시간이 경과할수록 상대적인 비율이 감소하고, 포화지방산인 Palmitic acid의 상대적인 비율은 증가하였다. 결국 지방산조성중 상대적 비율이 큰 불포화지방산과 포화지방산의 상대적인 증·감은 관수스트레스에 따른 물리적 유동상태의 유지를 위한 화학적인 적응일 것으로 사료된다. 또한 탁도처리에서 지방산의 조성비율의 변화는 타 처리구에 비해 반탁수에서 컸으며 Linoleic acid, Linolenic acid의 상대적인 조성비율은 감소하고, Palmitoleic acid, Stearic acid, Oleic acid의 상대적인 조성비율이 증가하였지만, 탁도가 높은 탁수에서 Palmitoleic acid, Stearic acid, Oleic acid의 조성비

Table 1. The relative fatty acid composition of rice plant as flooded by different degrees of turbidity and flooding time in rice.

Fatty acid	Relative percent of total fatty acid content																	
	Control		Clear water					Sub-muddy water					Muddy water					
	0	12	24	36	48	60	12	24	36	48	60	12	24	36	48	60		
Myristic acid (14:0)	0.42	0.41	0.59	0.58	0.74	0.31	0.26	0.35	0.85	0.31	0.35	0.43	0.34	0.24	0.56	0.62		
Myristoleic acid (14:1)	1.37	1.46	1.72	1.44	1.20	1.84	1.90	2.03	1.59	1.17	1.95	1.60	1.91	2.15	2.54	1.68		
Palmitic acid (16:0)	20.11	19.25	20.23	19.38	20.69	22.86	22.60	22.96	22.28	21.85	23.19	21.58	21.60	22.90	24.86	26.34		
Palmitoleic acid (16:1)	2.77	2.93	2.92	3.00	2.72	2.60	2.93	2.85	3.11	3.05	2.99	2.75	2.72	2.54	3.01	3.38		
Stearic acid (18:0)	1.73	1.84	1.71	1.82	1.80	1.90	2.04	2.07	2.29	2.00	2.19	1.79	2.05	1.87	2.65	1.98		
Oleic acid (18:1)	1.42	1.14	1.40	1.21	1.68	1.88	2.38	2.35	2.09	1.87	2.13	1.50	1.97	1.68	1.87	1.88		
Linoleic acid (18:2)	12.22	11.35	10.70	11.93	12.46	11.18	11.30	11.07	11.22	10.91	11.69	12.15	11.25	11.65	11.50	12.96		
Linolenic acid (18:3)	59.96	61.63	60.73	60.61	58.70	57.43	56.59	56.33	56.56	58.80	55.52	58.21	57.82	56.97	53.02	51.16		
Saturated (%)	22.66	21.50	22.53	21.78	23.23	25.07	24.90	25.38	25.42	24.22	25.73	23.80	23.99	25.01	28.07	28.94		
Monounsaturated (%)	5.56	5.53	6.04	5.65	5.60	6.32	7.21	7.23	6.79	6.09	7.07	5.85	6.60	6.37	7.42	6.94		
Polyunsaturated (%)	72.28	72.98	71.34	72.54	71.76	68.91	67.89	67.40	67.78	69.71	67.21	70.36	69.07	68.62	64.52	64.12		
Double bond index (%)	2.10	2.13	2.10	2.06	2.07	2.01	1.92	1.91	1.99	2.04	1.97	2.05	2.03	2.01	1.89	1.86		

율의 변화가 작은 것은 특이한 현상이었다. 결과적으로 벼의 관수스트레스에 따른 포화지방산은 탁도가 높을수록 상대적 조성비율이 높았고, 특히 탁수에서의 48시간 이후 상대적인 조성비율이 급격히 증가하였다. 또한 관수스트레스에 따른 지방산조성중 불포화지방산은 monounsaturated과 polyunsaturated의 조성비율의 변화는 상반된 경향으로서 monounsaturated은 관수처리 및 관수시간이 경과함에 따라 증가하는 경향이었고, polyunsaturated은 관수처리 및 관수시간이 경과함에 따라 상대적인 조성비율은 감소하였다. 특히 관수시간에 따라 청수의 60시간에서는 대조구에 비해 약 5%, 반탁수에서는 약 8%가 감소하였으며, 탁수에서는 48시간부터 약 12%가 감소하여 관수시간이 경과할수록 상대적 조성비율의 감소폭이 컸다. Table 1의 지방산의 불포화정도를 나타내는 이중결합(Double Bond Index : DBI)의 수는 이미 설명된 내용과 같은 경향으로 DBI 수의 감소는 막의 유동성을 감소시키는 원인이 된다(Peoples *et al.*, 1978; Samala *et al.*, 1998). 본 실험에서 DBI는 대조구의 2.10보다 관수초기에는 DBI 감소의 폭은 작았으나 관수시간에 따라 60시간후에 청수의 2.01, 반탁수의 1.97로 감소하였지만, 탁수에서는 48시간에서 1.89로 감소하여 탁도가 높을수록 또한 관수시간이 경과할수록 감소폭은 커서 불포화정도가 떨어짐을 나타냈다. 지방산 조성의 변화는 관수시 O₂의 용해도가 증가하여 desaturase활성을 증대시켜 막의 구조적변화를 유도한다고 보고(Vartapetian, 1993; Pezeshki, 1994)되었지만, 관수스트레스에 따라 생체내의 세포막의 중요한 구성 성분인 불포화 지방산의 형성을 억제 또는 감소를 시키는 것으로 나타났다. 결과적으로 관수스트레스는 지방산의 불포화도의 변화에 커다란 영향을 주는 요인으로 작용하는 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 벼의 분얼최성기의 관수스트레스 시 탁도(청수, 반탁수, 탁수) 및 관수시간에 따라 반응하는 단백질, 지방산 조성 및 지질과산화(malondialdehyde)를 정량하여 관수에 따른 생육장애 및 그 작용기작을 구명하여, 관수에 따른 생화학적 대사의 기초자료를 제공하고자 실시되었다.

관수스트레스에 의해 가용성단백질은 약 20%가 감소하였다. 특히 탁도가 높고 관수시간이 경과할수록 급격히 감소하였으며, 관수 36시간부터 감소량이 크게 나타났다. 단백질 전기영동패턴은 관수스트레스에 따라 생성이나 소멸한 펩타이드는 없었으나 약 53 Kd 부위의 폴리펩타이드는 관수초기부터 함량이 증가하였고, 약 28 Kd는 48시간, 54시간에서만 함량이 증가하였다. 관수스트레스에 의한 지질의 과산화정도는 약 150%가 증가하였고, 탁도처리에서 청수와 반탁수간의 차이는 작은 경향이었지만, 관수 60시간에서 약 160~180%가 증가하였다. 그러나 탁수에서는 관수초기부터 malondialdehyde함량

이 높았고, 36시간이후부터는 약 190~200%로 급격히 증가하였다. Catalase는 탁도가 높고 처리시간이 경과할수록 활성은 급격히 증가하였다. 관수 48시간을 기준으로 catalase활성변화가 크게 나타났다. 지방산조성의 변화는 포화지방산의 조성비율은 증가하고 불포화지방산은 감소하였다. 특히 불포화지방산 중 monounsaturated은 증가하였고 polyunsaturated의 상대적인 조성비율은 감소하였다. Double bond index는 탁도가 높을수록 관수시간이 경과할수록 감소폭은 커서 불포화정도가 떨어짐을 나타냈다.

인용문헌

- Blokhina, O. B., K. V. Fagerstedt, and T. V. Chirkova, 1999. Relationships between lipid peroxidation and anoxia tolerance in a range of species during post-anoxic reoxygenation. *Physiol. Plant.* 105 : 625-632.
- Cakmak, I., and W. J. Host. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiol. Plant.* 83 : 463-468.
- Counce, P. A., T. C. Keisling, and A. J. Mitchell. 2000. A uniform, abjective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Sci.* 40 : 436-443.
- Drew, M. C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Ann. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 48 : 223-250.
- Ellis, M. H., and T. L. Setter. 1999. Hypoxia induces anoxia tolerance in completely submerged rice seedling. *J. Plant Physiol.* 154 : 219-230.
- Grarces, Rafael and M. Manuel. 1993. One-step lipid extraction and fatty acid methylesters preparation from fresh plant tissues. *Analytical biochemistry* 211 : 139-143.
- Hasegawa, T., and T. Horie, 1996. Leaf nitrogen, plant age and crop dry matter production in rice. *Field Crops Res.* 47 : 107-116.
- Inada, N., A. Sakai, H. Kuroiwa, and T. Kuroiwa. 1998. Three-dimensional analysis of the senescence program in rice (*Oryza sativa* L.) coleoptiles. *Planta* 205 : 153-164.
- Isamah, G. K., S. D. Asagba, and A. E. Thomas, 2000. Lipid peroxidation, O-diphenolase, superoxide dismutase and catalase profile along the three physiological regions of *Dioscorea rotundata* Poir cv. Omi. *Food chem.* 69 : 1-4.
- Ito, O., E. Ella, and N. Kawano. 1999. Physiological basis of submergence tolerance in rained lowland rice ecosystem. *Field Crops Res.* 64 : 75-90.
- Lee, S. G. 2001. Effect of flooding stress on photosynthetic capacity and physiological recovery in rice(미발표논문).
- Mishra, N. P., R. K. Mishra, and G. S. Singhal. 1993. Changes in the activities of anti-oxidant enzymes during exposure of intact wheat leaves to strong visible light at different temperatures in the presence of protein synthesis inhibitors. *Plant Physiol.* 102 : 903-910.
- Peoples, T., D. W. Koch, and S. C. Smith. 1978. Relationship between chloroplast membrane fatty acid composition and photosynthetic response to a chilling temperature in four alfalfa cultivars. *Plant Physiol.* 61 : 472-473.
- Pezeshki, S. R. 1994. Plant response to flooding. In *Plant environment interactions*. Marcel Dekker. New York. p199-244.
- Rodriguez-Rosales, M. P., L. Kerkeb, N. Ferrol and J. P. Donaire.

1998. Lipoxygenase activity and lipid composition of cotyledons and oil bodies of two sunflower hybrids. *Plant Physiol. Biochem.* 36(4) : 285-291.
- Samala, S., J. Yan, and W. V. Baird, 1998. Changes in polar lipid fatty acid composition during cold acclimation in 'midiron' and U3 bermudagrass. *Crop Sci.*, 38 : 188-195.
- Shewfelt, R. L., and A. C. Purvis. 1995. Toward a comprehensive model for lipid peroxidation in plant tissue disorders. *HortScience* 30(2) : 213-228.
- Taiz, and E. Zeiger. 1998. *Plant physiology*. Sinauer. MA. P 725-757.
- Vartapetian, B. B. 1993. Plant physiological responses to anoxia. *In* International crop science I. Crop science society of America. P 721-726.
- Vartapetian, B. B., and M. B. Jackson. 1997. Plant adaptations to anaerobic stress. *Ann. Bot.* 79 : 3-20.
- Yan, B., Q. Dai, X. Liu, S. Huang, and Z. Wang. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and soil* 179 : 262-268.