한작지(Korean J. Crop Sci.), 51(3): 209~214(2006)

콩 발아중의 Lipoxygenase 활성 변화

손범영*† · 이영호* · 이석하**

*작물과학원, **서울대학교 농업생명과학대학

Change of Lipoxygenase Activity during Seed Germination in Soybean

Beom-Young Son*†, Yeong-Ho Lee*, and Suk-Ha Lee**

National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea
***Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea*

ABSTRACT Three lipoxygenase isozymes in soybean seeds are thought to be a major contributor to lipid peroxidation and generation of free radicals which may result in seed deterioration. This study was conducted to get the basic information for changing lipoxygenase activity during seed germination in lipoxygenase-lacking soybeans. Fresh weight of soybean seedling of Jinpumkong 2 and Taekwangkong increased more rapidly than that of Jinpumkong. Hypocotyls of Jinpumkong and Jinpumkong 2 were longer and thicker than that of Taekwangkong. Type I lipoxygenase activity (pH 9.0) in cotyledon of Jinpumkong lacking lipoxygenase-2, 3 showed higher than that of Taekwangkong, and Type I lipoxygenase activity of two cultivars decreased continually. On the other hand, Type II lipoxygenase activity of Taekwangkong began to increase continually two days after germination, reached to the maximum between 4 days and 5 days, and began to decrease continually five days after germination. Type I and II lipoxygenase activity in hypocotyls was not detected in all soybean cultivars.

Keywords : soybean, lipoxygenase activity

Lipoxygenase는 콩 비린내를 일으키기 때문에 식품 영양상 이를 제거하기 위한 노력을 오래전부터 계속하고 있으며 한편 lipoxygenase는 효소로서 작물의 생리작용에 관여하고 있어 이에 대한 연구도 계속되고 있다.

Lipoxygenase는 대부분 식물 종실의 저장조직에 용해된 상태로 존재하고 있으며 있고 발아중인 콩에서의 lipoxygenase의 세포 내 위치는 가수분해되는 단백질체내에 존재하며 다른 세포 소기관인 미토콘드리아, endoplasmic reticulum (ER), 그리고 glyoxysomes에 lipoxygenase가 존재한다는 증거는 보이지 않았다고 하였다(Song, 1987). 성숙한 종자는 3개 내지 4개 lipoxygenase 동위효소가 발육하는 종자의 배에서 합성되어 높은 수준의 활성이 나타나며 종자가 발아하는 동안에도 자엽에서 3가지 이상의 다른 동위효소가 나타난다고 하였다(Christopher *et al.*, 1970, 1972; Kato *et al.*, 1992). 또한 적어도 새로운 2 가지 단백질 형태가 배축과 유근에서 생성된다고 하였다(Park, 1989). 이러한 새로운 lipoxygenase들은 3 가지 lipoxygenase 결여 계통(*lx1lx2lx3*)의 유묘에서도 나타나며 발아와 관련된 lipoxygenase들은 건조 종실내의 lipoxygenase와 구별되며, 등전점(isoelectric point) 방법으로 될 수 있다고 하였다(Park, 1989). 세 종류의 lipoxygenase가 성숙한 콩에서 다량 발견되지만 콩이 발아하는 동안에도 lipoxygenase 활성이 증가한다고 하였으며(Holman, 1948; Ohta *et al.*, 1986; Olias *et al.*, 1990), 발아 약 2일째에 lipoxygenase 활성이 증가함을 발견하였다(Holman, 1948). 그리고 종실 발아 2일 동안 lipoxygenase 활성이 최대가 된다고 하였으나 효소의 정확한 생리적인 기능은 밝히지 못하였다. 자엽의 하피(hypodermis), 표피(epidermis) 그리고 유관속 다발(vascular bundle sheath)에 위치해 있는 lipoxygenase(주로 lipoxygenase-2)는 발아 2일 내지 3일 후의 초기 단계에 호흡 및 불포화 지방산의 물질대사에 관여하는 것보다 세포 내에서 다양한 과정을 일으키는 생리적인 역할을 한다고 하였다(Vernooy-Gerritsen *et al.*, 1983). Vernooy-Gerritsen *et al.*(1984)은 자엽에서 발아 1일째부터 7일째에 이르는 동안 lipoxygenase-1(L-1)과 lipoxygenase-2(L-2)는 저장 연조직(parenchyma)의 세포질에 위치해 있다고 하였다.

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6743
(E-mail) sonby@rda.go.kr <Received April 4, 2006>

발아 초기의 lipoxygenase 활성의 비슷한 증가는 밀(Guss *et al.*, 1968), 완두(Anstis and Friend, 1974), 벼(Ohta *et al.*, 1986), 보리(Yabuuchi *et al.*, 1976)에서도 보고되었다. Anstis & Friend(1974)는 누렇게 뜬 10일된 완두의 유묘 중 줄기 부분에서는 다량의 lipoxygenase 활성이 나타나며 잎 부분에서는 lipoxygenase 중의 하나가 나타났다고 하였다. 콩이 발아하는 동안에 pH 7.0에서 측정한 자엽 부분의 lipoxygenase-2와 lipoxygenase-3(L-3) 활성은 증가하고 특히 발아 4일과 7일 사이에 최대가 되며, 반면에 L-1 활성은 발아 초기에는 높은 활성을 보였지만 발아 중 계속 감소하며 발아 7일쯤은 거의 활성이 나타나지 않는다고 하였다(Hildebrand & Hymowitz, 1983). 그리고 Peterman & Siedow(1985)도 pH 6.0에서 측정한 활성은 발아 후 초기에는 계속 감소한다고 하였다. 하지만 Park *et al.*(1989)은 콩이 발아하는 동안 L-1, L-2, L-3의 활성이 자엽에서 감소하는 반면 발아 후 5일 동안 새로운 lipoxygenase 동위효소가 명확하게 활성을 나타내었다고 하였다. 이와 같이 연구의 결과가 일치하지 않는 것은 식물생장 조건이 다르기 때문인데 전자의 연구는 어두운 상태에서 자란 자엽인 반면에 후자의 연구는 밝은 상태에서 자란 자엽에서 수행하였기 때문이라고 하였다(Peterman & Siedow, 1985). 최근 Ohta *et al.*(1986)은 벼 유묘의 3일째에 lipoxygenase 활성은 발아하지 않은 종자보다 20배 이상이라고 하였고 cycloheximide는 lipoxygenase 활성의 증가를 억제한다고 하였다. Kato *et al.*(1992)은 L-2와 L-3이 결여된 관동 101호 품종에서 발아 중 자엽에서 3 가지의 새로운 lipoxygenase-4(L-4), lipoxygenase-5(L-5), 그리고 lipoxygenase-6(L-6)을 음이온 또는 양이온 변환 크로마토그래피를 이용하여 정제하였으며 최적 pH는 6.5이라 하였다. 이러한 것으로 보아 콩의 발아 중 lipoxygenase 활성의 증가는 이미 존재하는 3가지 배의 lipoxygenase 중 하나 혹은 그 이상의 증가이거나 새로운 lipoxygenase의 생성으로 보고 있다.

따라서 본 연구는 비린내 없는 콩의 초기 유묘생육기간 동안의 lipoxygenase 활성 변화에 대해서는 연구가 아직 미진한 상태이기 때문에 lipoxygenase가 결여된 진품콩, 진품콩2호와 정상적인 태광콩의 lipoxygenase 활성 변화를 비교 검토하여 알아보기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

시험품종은 L-2, L-3이 결여된 진품콩(*Lx1Lx1lx2lx2lx3l*), L-1, L-2, L-3이 모두 결여된 진품콩2호(*lx1lx1lx2lx2lx3lx3*) 및 L-1, L-2, L-3이 모두 존재하는 태광콩(*Lx1Lx1Lx2Lx2Lx3Lx3*) 등 3 품종이다.

콩의 유묘 생체중, 하배축의 길이 및 두께의 변화 측정은 25℃로 조절된 암상태의 항온기에 모래를 채운 사각 폿트(25×25×12 cm)에 콩 종실을 2 cm정도 깊이로 파종하고 7일 동안 매일 유묘의 생체중, 하배축 길이, 하배축 두께를 10립씩 측정 조사하였다.

Lipoxygenase 활성의 측정은 콩 분말 시료 0.5 g에 Tris buffer(0.06 M Tris, 0.015M $CaCl_2$, 13% sucrose, pH 8.2) 10 ㎖를 가하여 균질화한 후 15,000 rpm, 4℃에서 15분 동안 원심 분리하여 그 상등액 20 ㎕에 L-1 기질 또는 L-2 기질 완충용액 2.0 ㎖를 첨가하여 spectrophotometer(Model HP 8452A, USA)의 235 nm에서 Type I(pH 9.0) 또는 Type II(pH 7.0)를 30초, 60초, 90초에서 각각 흡광도를 측정하였다. Type I과 Type II의 기질 완충용액은 Hildebrand (1991) 방법으로 만들었으며, Type I 기질은 증류수 5 ㎖에 Tween20 0.65 ㎖, 0.02% citric acid 1 ㎖, linoleic acid 500 mg을 넣어 균질화한 후 이에 0.2M borate buffer(pH 9.0)를 넣어 linoleic acid 농도가 2.57mM이 되도록 조정한 후 사용하였으며, Type II 기질은 증류수 5 ㎖에 Tween20 0.65 ㎖, 0.02% citric acid 1 ㎖, linoleic acid 500 mg을 넣어 균질화한 후 이에 0.1 M phosphate buffer(pH 7.0)를 넣어 linoleic acid 농도가 2.53 mM이 되도록 조정한 후 사용하였다.

Carotene bleaching 검정은 분쇄된 종자시료 10 mg을 0.01 M sodium phosphate buffer(pH 6.8) 1.0 ㎖에 침지한 후 4℃에서 가끔 저어주면서 방치하고 그 상등액을 사용했다. Acetone용액에 녹은 carotene은 분석할 때마다 만들어 사용하였으며 이는 약 10 mg의 carotene을 10 ㎖의 acetone에 녹인 후 원심 분리하여 오렌지 색깔을 띤 상등액을 사용했다. 분석방법은 Kitamura(1987)의 방법을 이용하였으며 L-1 결여여부 확인은 10 mM linoleic acid 40 ㎕와 carotene-saturated acetone 100 ㎕를 포함한 0.05M boric buffer(pH 9.0) 1.0 ㎖에 시료 상등액 200 ㎕를 넣은 후 20℃ 항온에 60초 동안 방치하고 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.8) 1.0 ㎖을 넣어 20℃ 항온에 30분 동안 방치 후 검정하였다. L-2 결여여부 확인은 10 mM arachidonic acid 20 ㎕와 carotene-saturated acetone 50 ㎕를 포함한 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.8) 1.0 ㎖에 시료 상등액 20 ㎕를 넣은 다음 20℃ 항온에 3분 동안 방치 후 methanol 1.0 ㎖를 넣어 검정하였다. L-3 缺如 여부확인은 10mM linoleic acid 50 ㎕와 carotene-saturated acetone 50 ㎕를 포함한 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.8) 1.0 ㎖에 시료 상등액 20

㎕를 넣어 확인하였고 20℃ 항온에 10분 동안 방치 후 methanol 1.0 ㎖를 넣고 검정하였다. Carotene bleaching 활성은 spectrophotometer(Model Spectronic 1201 Milton Roy, Japan)의 452 nm에서 60분 이내에 측정하였다.

결과 및 고찰

유묘의 초기 생체중, 하배축 길이 및 두께의 변화

Lipoxygenase가 결여된 진품콩, 진품콩2호와 lipoxygenase가 모두 존재하는 정상인 태광콩의 발아 과정 중 유묘의 생체중을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 생체중은 발아 7일 동안 진품콩2호는 태광콩과 비슷하게 증가하였으나, 진품콩은 이들 2품종보다 낮게 증가하였다. 발아 7일째는 진품콩2호와 태광콩이 거의 비슷한 생체중을 나타내었으며, 진품콩은 적었다.

발아과정 중 하배축의 길이 변화를 측정한 결과를 보면 (Fig. 1) 발아 2일째까지는 진품콩과 진품콩2호가 태광콩과 비슷하게 증가하였지만 발아 3일째부터는 진품콩과 진품콩2호가 태광콩보다 증가하는 정도가 낮았으며 발아 7일째는 진품콩과 진품콩2호의 하배축의 길이가 태광콩보다 짧았다.

발아과정 중 하배축의 두께 변화를 살펴보면 Fig. 1과 같다. lipoxygenase가 결여된 진품콩과 진품콩2호가 태광콩보다 하배축이 두꺼웠고 발아 3일째부터는 증가되지 않았다. 발아 7일째는 진품콩2호가 가장 두꺼웠으며 진품콩과 태광콩은 거의 비슷한 두께를 나타내었다.

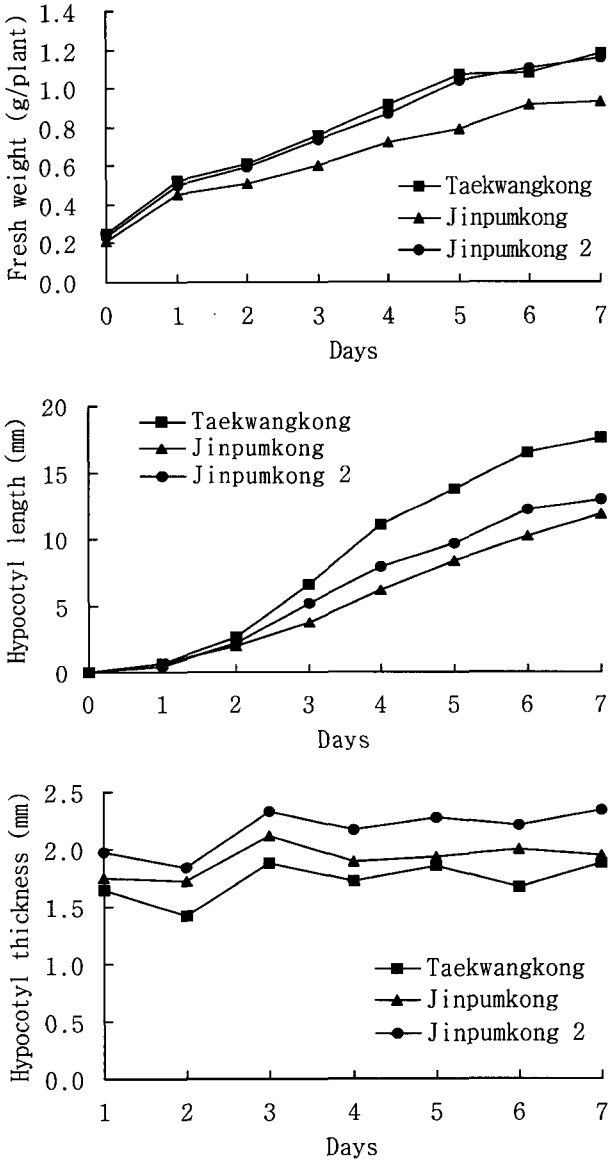

Fig. 1. Changes in fresh weight of seedlings (Top), hypocotyl length (Middle), and hypocotyl thickness (Bottom) of soybeans during germination.

유묘의 Lipoxygenase 활성 변화

시험 품종의 발아과정 중 자엽의 유형 I lipoxygenase 활성 변화를 보면(Fig. 2) 발아 1일째 자엽의 유형 I lipoxygenase

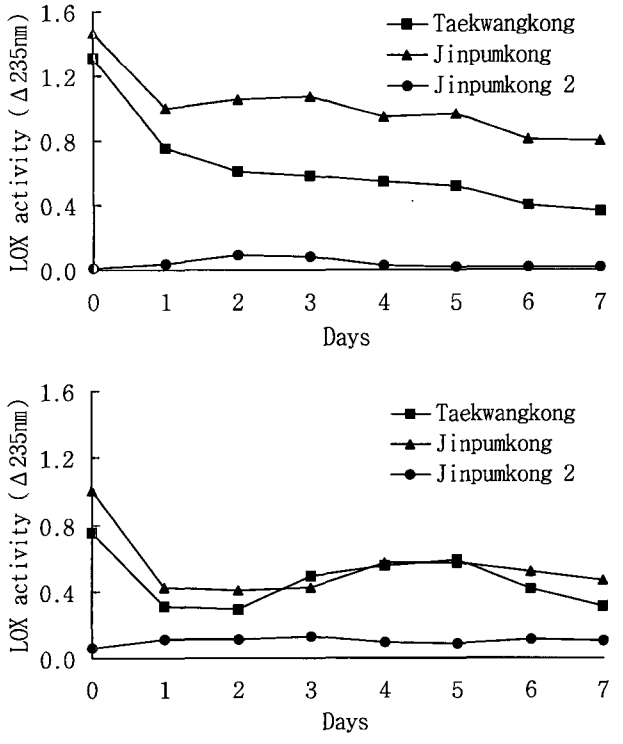

Fig. 2. Changes of Type I lipoxygenase (LOX) activity (pH 9.0) (Top) and Type II lipoxygenase activity (pH 7.0) (Bottom) in cotyledon of soybeans during germination.

활성은 종실상태에서보다 낮았으며 진품콩이 태광콩보다 높았고 진품콩2호는 활성이 거의 나타나지 않았다. 진품콩은 발아 7일 동안은 완만하게 감소하였으며, 태광콩도 진품콩과 비슷한 감소 경향을 나타내었다. 진품콩2호는 발아 7일 동안 거의 활성이 나타나지 않았다. Kato *et al.*(1992)은 pH 9.0의 linoleic acid 기질로 16시간의 명기와 8시간의 암기상태로 9일 동안 28℃ 온도에서 L-2, 3 결여 콩의 활성을 측정한 결과 발아 1일째에서 9일째까지 자엽에서 계속적으로 활성이 감소하여 본 실험과 비슷한 경향을 나타내었다.

Lipoxygenase 결여 콩인 진품콩과 진품콩2호의 발아과정 중 자엽의 유형 II lipoxygenase 활성 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 발아 1일째에서 2일째까지 자엽의 유형 II lipoxygenase 활성은 진품콩이 태광콩보다 약간 높게 나타났으며 발아 3일째는 진품콩이 태광콩보다 약간 낮게 나타났다. 유형 II lipoxygenase 활성은 진품콩과 태광콩이 발아 3일째부터 증가하여 발아 4일째에서 5일째 사이는 최대의 활성을 나타내었으며 발아 5일째에서 7일째 동안 진품콩은 완만하게 활성이 감소한 반면 태광콩은 진품콩보다 심하게 감소하였다. 그리고 진품콩2호는 자엽에서 유형 II lipoxygenase 활성이 거의 나타나지 않았으며 활성변화도 나타나지 않았다. Kato *et al.*(1992)은 pH 9.0의 linoleic acid 기질로 16시간의 명기와 8시간의 암기상태로 9일 동안 28℃ 온도에서 L-2, 3 결여 콩의 활성을 측정한 결과 발아 1일째에서 5일째까지 계속해서 증가하였으며 발아 5일째에서 9일째까지는 계속해서 감소하였다고 한다. 본 실험에서는 발아 3일째부터 활성이 증가하였지만 발아 후 활성이 증가하는 경향은 Kato *et al.*(1992)의 보고와 비슷하였다. 이와 같이 콩의 발아 초기에 유형 II lipoxygenase 활성이 미미하게 증가하는 것은 종실 내 지질을 분해하는 물질대사에 관여하기 위하여 새롭게 생성한 것으로 추정되며 이에 대한 연구는 계속 검토되어야 할 것으로 생각된다.

Christopher *et al.*(1970, 1972)과 Kato *et al.*(1992)은 종자가 발아하는 동안에도 자엽에서 3 가지 이상의 다른 동위효소가 나타난다고 하였으며 Park(1989)도 적어도 새로운 2가지 단백질 형태가 하배축과 유근에서 생성된다고 하였으며 L-1, L-2, L-3의 활성이 각각 자엽에서 감소하는 반면 발아 후 5일 동안 새로운 lipoxygenase 동위효소가 명확하게 활성을 나타내었다고 하였다. 이렇게 생성된 새로운 lipoxygenase 동위효소들은 3 가지 lipoxygenase 결여 계통(*lx1, lx2, lx3*)의 유묘에서도 나타나며 발아와 관련된 lipoxygenase 동위효소들은 건조 종실내의 lipoxygenase와 구별이 된다고 하였다(Park, 1989). Holman(1948)은 발아 약 2일째 lipoxygenase 활성이 증가한다고 하였으며 Vernooy-Gerritsen *et al.*(1983)도 종실 발아 2일 동안 lipoxygenase 활성이 최대가 된다고 하였다. 하지만 효소의 정확한 생리적인 기능은 밝히지 못했다. 콩이 발아하는 동안 pH 7.0에서 측정한 자엽 부분의 L-2와 L-3 활성은 증가하고 특히 4일과 7일 사이에 최대가 되며, 반면 L-1 활성은 발아 중 계속 감소한다고 하는데(Hildebrand *et al.*, 1983). 본 실험에서도 L-1 활성은 발아 중 계속 감소하였으며 L-2와 L-3의 활성은 4일째와 5일째 사이에 최대가 되어 Hildebrand *et al.*(1983)의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

발아과정 중 하배축에서의 유형 I lipoxygenase 활성 변화를 보면 Fig. 3과 같다. 진품콩은 발아 1일째에 태광콩보다 조금 높은 활성을 나타내었으며 발아 1일째에서 4일째까지 계속 감소하였고 4일째 이후에는 활성이 거의 나타나지 않았고 변화도 없었다. 태광콩은 발아 1일째에서 2일째까지 거의 비슷한 활성을 나타내었고 발아 2일째에서 3일째까지는 활성이 감소하였으며 발아 3일째에서 7일째 동안은 활성이 나타나지 않았고 변화도 거의 없었다. 그리고 진

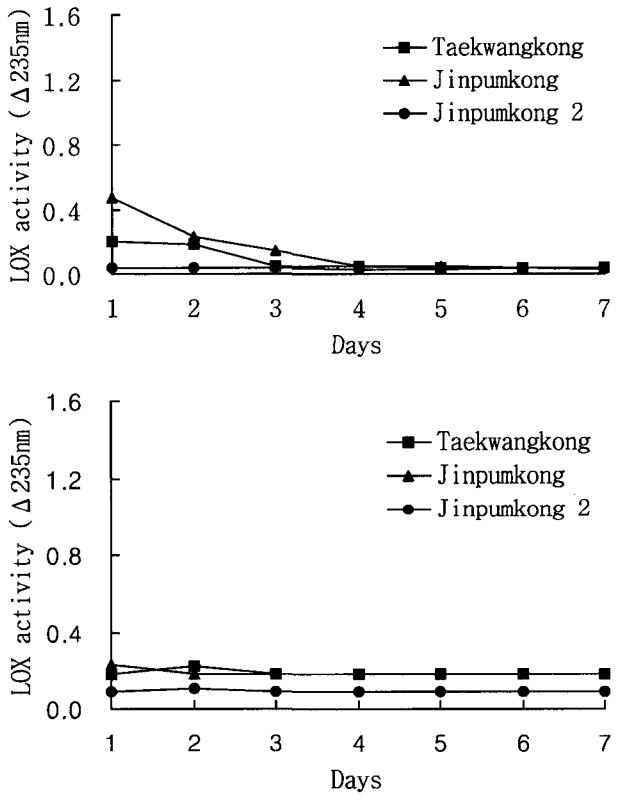

Fig. 3. Changes of Type I lipoxygenase (LOX) activity (pH 9.0) (Top) and Type II lipoxygenase activity (pH 7.0) (Bottom) in hypocotyl of soybeans during germination.

품콩2호는 하배축에서 활성이 거의 나타나지 않았고 변화도 없었다. 다른 한편 발아과정 중 공시품종의 하배축에서 유형 II lipoxygenase 활성변화를 보면 Fig. 3과 같다. 발아 1일째부터 7일째 동안은 진품콩과 태광콩의 활성이 낮으면서 변화는 거의 없었다. 그리고 진품콩2호는 하배축에서 활성이 없었으며 변화도 나타나지 않았다. 이상의 결과에서 보면 발아 중 생체중과 하배축 길이는 증가하는데 비하여 유형 I lipoxygenase 활성은 계속 감소하고 유형 I lipoxygenase 활성보다 낮은 유형 II lipoxygenase 활성은 발아 3일에서 5일 사이에 약간 증가함을 볼 때 발아 중 lipoxygenase의 활성이 초기 발아에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

자엽과 하배축의 lipoxygenase의 활성을 비교해 보면 자엽에서는 태광콩과 진품콩에서 유형 I과 II의 lipoxygenase 활성이 나타났지만 하배축에서는 미미하거나 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 자엽에서는 태광콩과 진품콩의 자엽부분인 종실에 L-1, 2, 3 및 L-1이 각각 존재하기 때문에 발아 과정에서 유형 I과 II lipoxygenase 활성이 나타난 것으로 생각된다. 하지만 하배축에서는 유형 I lipoxygenase 활성이 진품콩과 태광콩에서 미미하게 나타나지만 유형 II lipoxygenase 활성은 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과는 하배축에서는 종실에 존재하는 L-1, 2, 3이 없기 때문이며 또한 발아하는 동안 자엽에서 하배축으로 종실에 존재하는 lipoxygenase가 전이되지 않는 것으로 추정된다. 하배축에서 발아 1일째에 유형 I lipoxygenase 활성이 진품콩과 태광콩에서 미미하게 나타났는데 이러한 결과는 종실에 존재하는 lipoxygenase가 전이된 것인지 새롭게 생성된 다른 유형의 lipoxygenase인지는 계속 검토되어야 할 것으로 생각된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 종실내 Lipoxygenase의 존재 유무가 발아에는 영향을 미치지 않은 것으로 사료되며(Son *et al.*, 2002, 2002) 발아와 관련된 다른 요인들에 의해 유묘의 초기 생체중, 하배축 길이 및 두께의 차이에 영향을 미치는 것으로 추정된다.

적 요

본 연구는 콩의 초기 유묘생육기간 동안의 lipoxygenase가 결여된 진품콩, 진품콩2호와 정상적인 태광콩의 lipoxygenase 활성 변화를 비교 검토하여 알아보기 위하여 실시하였다. Lipoxygenase 결여 콩 품종의 초기 생육 및 lipoxygenase 활성 변화에서 유묘의 생체중은 진품콩2호와 태광콩이 진품콩보다 증대되는 경향이었고 하배축의 길이는 진품콩과 진품콩2호가 태광콩보다 서서히 증가하였지만 하배축의 두께는 진품콩과 진품콩2호가 태광콩보다 두껍게 증가하는 경향이었다. 자엽의 lipoxygenase 활성 변화는 유형 I lipoxygenase 활성에서 진품콩과 태광콩이 계속 감소하는 경향이었지만 진품콩2호는 활성이 나타나지 않았다. 유형 II lipoxygenase 활성에서 태광콩은 발아 2일째부터 계속 증가하다가 발아 4일째에서 5일째 사이에 최대의 활성이 나타났고 발아 5일째부터 다시 감소하는 경향이었다. 하배축의 유형 I lipoxygenase 활성에서는 진품콩과 태광콩이 발아 1일째부터 급격히 감소하였다. 하배축의 유형 II lipoxygenase 활성은 3 품종 모두 나타나지 않았다.

인용문헌

Anstis, P. J. and P. J. Friend. 1974. The isoenzyme distribution of etiolated pea seedling lipoxygenase. Planta. 115 : 329-335.

Christopher, T. P., E. K. Pistourius, and B. Axelord. 1970. Isolation of isozyme of soybean lipoxygenase. Biochem. Biophys. Acta. 198 : 12-19.

Christopher, T. P., E. K. Pistourius, and B. Axelrod. 1972. Isolation of a third isoenzyme of soybean lipoxygenase. Biochem Biophys Acta. 284 : 54-62.

Guss, P. L., V. Macko, T. Richardson, and M. A. Stahmann. 1968. Lipoxidase in early growth of wheat. Plant Cell Physiol. 9 : 415-422.

Hildbrand D. F. and T. Hymowitz. 1983. Lipoxygenase activities in developing and germinating soybean seeds with and without lipoxygenase-1. Bot Gaz. 144 : 212-216.

Hildebrand, D. F., R. T. Versluys, and G. B. Collins. 1991. Change in lipoxygenase isozyme levels during soybean embryo development. Plant Sci. 75 : 1-8.

Holman, R. T. 1948. Lipoxidase activity and fat composition of germinating soybeans. Arch. Biochem. Biophys. 17 : 459-466.

Kato, T., H. Ohta, K. Tanaka, and D. Shibata. 1992. Appearance of new lipoxygenases in soybean cotyledons after germination and evidence for expression of a major new lipoxygenase gene. Plant Physiol. 98 : 324-330.

Kim Y. H., S. D. Kim, S. H. Lee, and E. H. Hong. 1993. Breeding for soybean with lipoxygenase-deficient seed 2. Inheritance of lipoxygenase-3 in soybean seed and agronomic characteristics in soybean genotypes lacking lipoxygenase. RDA. J. Agri. Sci. 35(2) : 111-115.

Kwon, J. S. and K. Y. Chang. 1992. Studies on selection, characterization, and utilization of lipoxygenase-3 deficient soybean lines. Korean J. Breed. 24(1) : 68-75.

Kitamura, K., A. Kikuchi, and K. Harada. 1987. Performance of near-isogenic lines lacking seed lipoxygenases. Soybean Genet. Newsl. 14 : 109-112.

Ohta, H., S. Ida, B. Mikami, and Y. Morita. 1986. Changes

in lipoxygenase components of rice seedlings during germination. Plant Cell Physiol. 27 : 911-918.

Olias, J. M., J. Rios, M. valle, R. Zamora, L. Sanz, and B. Axelrod. 1990. Fatty acid hydroperoxide lyase in germinating soybean seedlings. J. Agric. Food Chem. 38 : 624-630.

Park, T. K. and J. C. Polacco. 1989. Distinct lipoxygenase species appear in the hypocotyl/radicle of germinating soybean. Plant Physiol. 90 : 285-290.

Peterman, T. K. and J. N. Siedow. 1985. Behavior of lipoxygenase during establishment, senescence, and rejuvenation of soybean cotyledons. Plant Physiol. 78 : 690-695.

Son, B. Y., Y. H. Lee, H. S. Lee, and S. H. Lee. 2002. Relationship of seed germination and lipoxygenase activity in soybean. Korean J. Crop Sci. 47(2) : 123-126.

Son, B. Y., Y. H. Lee, S. H. Kim, H. S. Lee, and S. H. Lee. 2002. Effects of Planting date and accelerated aging on seed germination-related traits of lipoxygenase-lacking soybean. Korean J. Crop Sci. 47(3) : 196-200.

Song, Y. S. 1987. Localization of lipoxygenase in germinating soybeans. Korean J. Food Sci. Technol. 19(5) : 441-445.

Vernooy-Gerritsen, M., A. L. M. Bos, G. A. Veldink, and J. F. G. Vliegenthart. 1983. Localization of lipoxygenases 1 and 2 in germinating soybean seeds by an indirect immuno-fluorescence technique. Plant Physiol. 73 : 262-267.

Vernooy-Gerritsen, M., J. L. M. Leunissen, G. A. Veldink, and J. F. G. Vliegenthart. 1984. Intracellular localization of lipoxygenase-1 and -2 in germinating soybean seeds by indirect labeling with protein α-colloidal gold complexes. Plant Physiol. 76 : 1070-1079.

Yabuuchi, S. 1976. Occurrence of a new lipoxygenase isozyme in germinating barley embryos. Agric. Biol. Chem. 40 : 1987-1992.