

Brassinolides의 연구현황과 농업적 이용 전망

최 충 든*

경상북도 농촌진흥원

머 리 말

농업의 발전단계(특히 작물생육 및 농업생산)에 있어서 식물호르몬의 이용은 肥培관리·품종육성·작물보호(병,해충 및 잡초방제)에 이어 최고차원적인 것이라 할 수 있다. 식물호르몬이란 식물체내의 어느 한 부위에서 합성이 되어 다른 부위로 이행하면서 매우 낮은 농도로 식물체의 생리생화학적 반응을 유발하는 유기화합물로 정의될 수 있다. 최초의 식물호르몬은 약 100년전 Charles Darwin이 식물체내에 식물의 생장을 조절하는 물질이 존재한다는 것을 처음으로 밝힌 후 1920년대에 Went는 귀리 자엽초의 선단부가 빛을 향해 휘어지는 굴광성(phototropism)은 자엽초의 선단부에서 생장에 관여하는 물질이 합성되기 때문인 사실을 확인하고, 이 물질이 auxin이라는 것을 밝혔다. 몇년후 일본에서는 곰팡이(*Gibberella fujikuroi*)에서 gibberellin을 분리하였으며, 뒤이어 ethylene, cytokinin, abscisic acid(ABA)등이 식물체내에서 검출되어 5대 식물호르몬으로서 잘 알려져 있다.

이들 식물호르몬들은 각기 독특한 생리활성을 통하여 작물의 단위결과, 개화조절, 낙과방지, 발근촉진, 조직의 형성, 종자발아의 조절, 잡초방제 등 농업전반에 걸쳐 여러모로 이용되어 왔으며, 근래에는 생물공학 분야에서도 식물호르몬의 이용이 폭넓게 실용화 되어 가고 있다. 일반적으로 식물호르몬(plant hormone)과 식물 생장조정물질(plant growth regulator, PGR)을 같은 개념으로 생각하고 있지만 엄격한 의미에서는 구별되어야 한다. 식물호르몬은 비타민과 마찬가지로 식물체내에서 생합성이 되는 천연물이며, 식물생장조정물질이라고 하면 식물호르몬과 같은 천연물질과 인위적인 합성물질까지를 포함한다.

최근에는 기존 5종류의 식물호르몬 외에 brassinolide가 제6의 호르몬으로서 각광을 받고 있는데, 기존의 호르몬에 비하여 극히 미량으로서 식물체에 강한 활성을 나타내며, 불량한 생육환경하에서 작물의 생육을 촉진시킨다는 사실이 특이하다. 발견 초기에는 미국, 일본, 유럽등지에서 연구가 활발하게 진행되었으나 현재는 일본에서 다른 호르몬과 혼합제로서 개발에 박차를 가하고 있으며, 국내에서는 1986년 필자에 의해 처음으로 소개된 후(최, 1986) 기초 및 응용연구가 몇몇 학자들에 의해 단편적으로 수행되고 있는데 아직 획기적인 연구성과는 없지만 앞으로 농업발전에 크게 기여할 것으로 전망되는 식물호르몬이다.

본고에서는 brassinolide에 대한 개괄적인 소개와 더불어 이해를 높이고 향후 연구방향 설정 및 농업적인 이용 가능성을 검토하기 위하여 지금까지 수행된 국내외 연구결과를 요약하여 총설로서 보고하고자 한다.

발견 및 분포

Brassinolide는 화학구조적으로 steroid골격을 가진 화합물로서 B ring이 산화된 lactone형이다(그림 1).

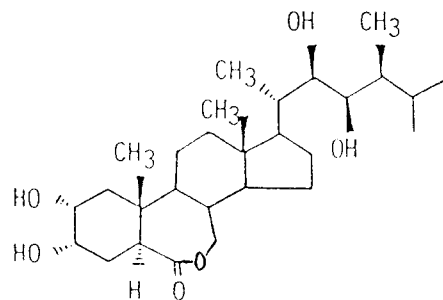


Fig. 1. Structure of natural brassinolide.

* 연락처자

Steroid계 화합물은 주로 동물의 조직에 존재하는데(동물의 성호르몬이나 곤충의 탈피호르몬이 주로 steroid계임), 이 화합물이 식물의 생장을 조절한다는 사실은 1970년 미국 농무성(USDA)의 Mitchell 등에 의해 처음으로 밝혀졌으며, 유채(*Brassica napus* L.)의 화분 추출물을 농축시켜 박층크로마토그래피(TLC)를 사용하여 silica gel 전개판의 Rf 0.35와 0.45부위를 채취하여 재정제후 강남콩의 유묘에 처리한 결과 제 2절간의 신장을 촉진시킨다는 것을 발견하고 이 미지의 물질을 'Brassine'이라고 하였으며, 처리한 강남콩의 초장과 경엽신장은 물론이고 수량도 40%나 증수되었다고 보고 하였다(Mitchell과 Gregory, 1971).

그 후 생리·생화학자들이 이 신물질의 탐색에 심혈을 기울였으나 추출·정제의 어려움과 미지의 신물질이어서 적절한 생물검정법의 미확립으로 약 10년간 별다른 연구의 진전이 없었다. Grove 등은 1979년 마침내 유채화분 40 kg에서 생리활성물질 4 mg을 結晶體로 추출하여 X-ray 結晶解析에 의해 이 물질의 구조를 [(22R, 23R, 24S)-2 α -3 α , 22, 23-tetrahydroxy-24-methyl-6,7-s-5 α -cholestano-6,7-lactone] 으로 밝히고 (그림 2), "Brassinolide"로 명명하였으며(steroid계 화합물이라서 Brassinosteroid 라고도 함), 이 때부터 이 물질에 대한 본격적인 연구가 시작되었다.

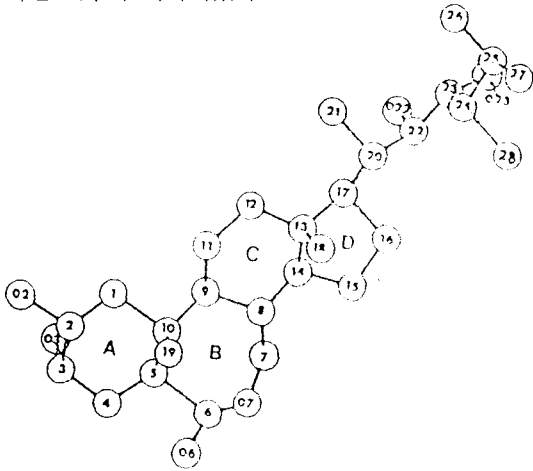


Fig. 2. Computer-generated perspective drawing of brassinolide(Grove *et al.*, 1979).

특히 미국과 일본에서 중점적으로 연구가 진행되고 있는데, 미국에서는 농무성이 중심이 되어 대학 및 연구

소에서 활발하게 이루어지고 있으며, 일본에서는 문부성 지원하에 東京대학과 이화학연구소에서는 주로 합성과 천연물에서의 추출을, 名古屋대학과 東京農工대학에서는 생리생화학적인 연구, 宇都宮대학에서는 생리활성작용 검정연구 등 상호협력하에 체계적인 연구를 진행하고 있으며, 全農 등 민간연구기관에서는 실용화를 위한 제품개발에 상당한 성과를 올리고 있다. 우리 나라에서는 최근 몇년간 연구기관과 대학에서 산발적인 연구가 이루어지고 있지만 합성과 추출의 어려움으로 큰 성과는 없는 실정이다.

한편 brassinolide는 최초 유채의 화분에서 검출되었지만 다른 식물에서도 brassinolide류의 물질이 계속 검출되고 있다. 현재까지 밝혀진 brassinolide가 함유된 식물은 쌍자엽식물과 단자엽식물을 포함한 피자식물 그리고 흔하지는 않지만 나자식물에서도 발견되며, 몇몇 조류에서도 함유되어 있는 것으로 밝혀지고 있다(Yokota, 1984). '90년대 초반까지 분리·동정된 천연 brassinolide는 약 30여종에 달하지만 매년 수종씩 새로운 관련 화합물이 검출되고 있어 자연계에는 이보다 훨씬 많은 천연 brassinolide가 존재할 것으로 생리·생화학자들은 믿고 있지만 근래에는 실용화 연구가 중점적으로 이루어지면서 검출에 관한 보고는 발견초기에 비하여 거의 없는 실정이다(Kim, 1991).

식물체내에서의 분포는 매우 다양한데, 기관별로는 화분·미숙종자·줄기·잎 등 고등식물체의 전 부위에 함유되어 있으며, 특히 화분이나 미숙종자의 생식생장기 조직에 많이 함유되어 있는 것으로 밝혀지고 있다(Yokota, 1984). 영양생장기의 식물조직에서도 검출되고 있지만 그 함량은 화분이나 미숙종자에 비하여 극히 미량인 것으로 알려져 있다. 간혹 정상적인 조직에서 보다 이상분열조직에서 함량이 높은 경우도 있는데, 밤나무의 insect gall에 함유되어 있는 brassinolide의 함량은 건전한 것에 비해 약 20~30배 높은 것으로 보고되고 있다.(Yokota, 1984) 그러나 '90년대 이후에는 상용화에 연구가 집중되면서 체내분포에 관한 연구도 등한시 되고 있다.

검출 및 구조적 특성

전술한 바와 같이 1979년 Grove 등에 의해 처음으로

발견된 이래 여러 식물체에서 관련 화합물이 계속해서 검출되고 있는데, 1982년 Yakota 등은 양배추, 밤나무충, 잠두 및 나팔꽃 등에서 brassinolide의 lactone부분이 ketone기로 치환된 castasterone이 동정되었는데, 이 물질은 brassinolide의 생합성과정에 있어서 전구물질로 여겨지고 있다. 즉 ketone기가 Baeyer-viliger형의 산화를 받으면 1차적으로 brassinolide로 치환되기 때문이다. 이들은 이듬해 콩의 미숙종자에서 dolicholide를 검출하는데 성공하였는데(Yokota 등, 1983), 이것은 brassinolide의 C-24 methylene체에 상당한다. 뒤이어 역시 콩의 미숙종자에서 dolicholide의 ketone형인 dolichosterone이 추출되었다.

한편 그 당시까지 발견된 brassinolide가 C28 steroid 화합물인 것에 비하여 탄소수가 1개 많은 C29 steroid 화합물인 lactone형의 homodolicholide와 ketone형인 homodolichosterone이 동경대학의 Yokota 등(1983)에 의해서 분리되었는데, 이 두가지 화합물은 C-24 위치에 ethylidene기를 보유하고 있는 것이 특징이다. Abe 등(1983, 1984)에 의해 배추에서 brassinolide 및 castasterone의 C-28 methyl기가 없는 C27 steroid 화합물인 28-norbrassinolide와 brassinone, C-24 위치에 ethyl기를 가지는 C29 steroid 화합물인 ethylbrassinolide가 검출되었고, Yokota 등(1983)은 강남콩의 미숙종자와 배추에서 6-deoxocastasterone과 6-deoxodolichosterone을 검출하였는데, 이들 화합물은 castasterone과 dolichosterone의 C-6 ketone기가 없는 것으로 생합성과정에 있어서 흥미있는 화합물이다. 이러한 화합물들은 공통적으로 A환과 측쇄에 수산기를 가지고 있는데, castasterone의 C-2 수산기가 없는 typhasterol이 Schneider 등(1983)에 의해 발견되었고, typhasterol의 3- β 이성체인 teasterone이 Abe 등(1984)에 의해서 검출되었는데 이것은 typhasterol과 castasterone의 생합성에 있어서 중간체로 여겨지고 있다. 그후 계속적으로 자연계에서 brassinolide류의 관련 화합물이 발견되고 있으며, '90년대 초반까지 약 30종이 밝혀지고 있다(Kim, 1991). 식물체에 존재하는 천연 brassinolide류는 고도의 정제기술을 요하고 또한 함량이 극히 미량이어서 생리활성 및 작용성검정에 크게 제한을 받았는데 Takatsuto (1983), Ishiguro (1980), Sakakibara 등(1982)은 brassinolide의 합성에 성공하였으며, homobrassinolide와 epibrassinolide 등 관련화합물의 연구가 이루어짐에 따라 구조활성 및 결정분석에 관해서도

보고되고 있다(Thompson, 1981 ; Wada 등, 1981).

한편 지금까지 발견된 천연 brassinolide는 모두 5 α -cholestane 구조를 가지고 있는데, A·B환의 구조가 다양하다(그림 2). A환은 주로 2 α , 3 α 에 인접한 수산기를 가지고 있지만 typhasterol 및 teasterone과 같이 2번 위치에 수산기가 없는 것도 있다. 또한 epicastasterone과 같이 2·3번 인접 수산기의 배치가 2 β -3 α , 2 α -3 β , 2 β -3 β 등 여러 형태가 있는데, 인접 수산기의 도입은 측쇄에서 먼저 일어난 다음 A환에 도입되는 것으로 추정하고 있다. B환의 구조는 산화단계에 따라 lactone형, ketone형, 非酸化型의 3가지 형태로 구분하고 있다. 생합성의 과정에 있어서 ketone형이 lactone형의 전구체로, 비산화형은 ketone형의 전구체로 추정하고 있다. 측쇄구조는 예외없이 C-22와 C-23 위치에 R형의 인접 수산기를 가지고 있는데, alkyl기의 치환상태는 다양하다. C-24의 치환기로서는 methylene기, ethylidene기, R-methyl을 보유하고 있는 것과 C-25 methyl기가 도입된 것 등이 있는데, 이에 따라 탄소수가 달라지기 때문에 C27·C28·C29로 분류한다(Yokota, 1984). 그러나 자연계에는 아직 구조가 밝혀지지 않은 많은 brassinolide류가 존재하고 있을 것으로 여겨져 구조적으로 더욱 다양해질 것이다.

생리활성검정

일반적으로 식물호르몬의 탐색 및 연구에 있어서 생리활성검정(생물검정, bioassay)은 개발의 성패를 좌우할 만큼 중요한 과제로 대두되고 있다. 생물검정의 개념은 여러 가지로 표현될 수 있겠지만 “신물질의 활성과 작용성을 구명하여 새로운 화합물의 합성 및 추출을 위한 정보획득과 동시에 개발가능성이 있는 물질을 선별하고 그 물질의 적용대상 설정과 적용조건을 추정하기 위한 검정”이라 할 수 있다. 신물질의 효력검정은 최소의 노력, 최저비용, 최단시간내의 검정에 주안점을 두고 목적에 부합하는 화합물을 효율적으로 선별하여야 한다. 따라서 생물검정은 호르몬의 생물학적인 활성과 특성구명에 중요한 역할을 하며 여러가지 중요한 2차적인 작용성 구명에 기여해 오고 있다.

Mitchell 등(1971)이 처음으로 보고한 brassinolide의 활성에 관한 연구에서는 재료식물을 자엽이 전개된 강남콩을 사용하여 제 2절간과 제 3절간의 신장반응으로 활

성을 평가하였는데, 대조구에 비하여 9~12배의 경이적인 신장반응을 나타내었으며 GA에 의해 유도되는 신장반응과는 전혀 양상이 다르다는 것이 밝혀졌다. 이것이 brassinolide에 대한 최초의 생물검정법으로 그후 약 10년간 이 신물질에 대한 새로운 생물검정법을 확립하지 못하여 별다른 진전을 보지 못하다가 1979년 미국 농무성(USDA)의 Grove 등이 강남콩의 제2절간 신장검정법을 사용하여 활성검정에 성공하였는데, 그 결과 brassinolide는 세포신장뿐만 아니라 세포분열도 동시에 촉진시킨다는 사실이 밝혀졌다. 이후로 여러 학자들이 이 신물질의 활성검정에 관심을 가지기 시작하였으며 여러가지 검정법이 확립되었는데 많이 사용하는 몇가지 방법을 표 1에 열거하였다. 주로 쌍자엽식물이 많이 이용되고 있으며 부위별로는 유식물의 상배축이나 하배축을 이용한 신장반응 또는 비대반응으로 활성을 검정하고 있는데 '80년대 중반에 확립된 검정법을 현재에도 적용하고 있으며 실용화 방향으로 연구가 치우치는 경향이어서 금후에도 생물검정법에 관한 새로운 연구는 거의 없을 것으로 여겨진다. 여기서는 초보자들도 쉽게 수행할 수 있는 몇가지 검정법을 간략하게 소개하고자 한다.

벼 엽신기부 굴곡 검정법 (rice lamina inclination bioassay)

이 검정법은 GA와 auxin과의 상호작용을 검정하기 위하여 사용한 방법으로 주로 auxin류의 생리활성 검정에

사용하여 왔으나 Wada 등(1981)이 brassinolide류에 검정한 결과 auxin보다 훨씬 저농도에서 민감한 반응을 나타내어 현재 많이 이용되고 있는 방법중의 하나이다. 최아시킨 벼 종자를 한천배지에 치상하여 항온기(25℃ 전후)에 일주일간 암상태로 경과시켜 제 2엽신기부(lamina joint)를 중심으로 1 cm 정도의 길이로 절단한 切片을 시험재료로 사용한다. 절편을 증류수에 침적시켜 24시간 암상태로 경과후 피검용액에 48시간 경과시켜 굴절각을 측정하여 검정하는데, 필자가 검정해 본 결과로는 IAA에 비하여 5,000~10,000배 정도 활성이 높았고, 천연 brassinolide가 합성 brassinolide보다 활성이 훨씬 강하였다.

무 하배축 신장검정법 (radish hypocotyl elongation bioassay)

무 유식물은 뿌리, 자엽, 하배축 등 모든 부위가 식물호르몬이나 제초제에 민감하기 때문에 생물검정에 많이 이용되고 있는데, 여기서는 하배축을 이용한 검정법에 관하여 약술하기로 한다. 무 종자를 파종하여 자엽이 전개된 후 하배축의 길이가 3 cm정도 되게 육묘하여 시험재료로 하여 검정한다. 이 검정법은 radish elongation test의 창시자인 Takematsu 등과 필자가 공동으로 창안해서 확립한 방법으로 auxin, GA, cytokinin 등의 식물호르몬에 비하여 신장반응이 현저하게 나타나기 때문에 brassinolide류의 관련 화합물에 대한 생물검정법으로 인

Table 1. Bioassay methods of brassinolides

Bioassay method	Source of tissue	Light condition
Rice lamina inclination	Lamina joint	Dark
Azuki bean epicotyl elongation	Epicotyl section	Dark
Maize etiolated hypocotyl hook opening	Root section	Dark
Mung bean hypocotyl root formation	Hypocotyl section	Light
Cress seedling root elongation	Intact plant	Dark
Bean etiolated hypocotyl hook opening	Root section	Dark
Pea hook expansion	Hypocotyl section	Dark
Bean etiolated hypocotyl elongation	Hypocotyl section	Dark
Cucumber hypocotyl elongation	Hypocotyl section	Dark
Jerusalem artichoke tuber slice weight change	Tuber slice	-
Pea apical section elongation	Epicotyl section	Dark
Pigweed beta-cyanin formation	Intact plant	Light
Bean second internode elongation	Intact plant	Light
Cucumber cotyledon expansion	Cotyledon	Dark

정받고 있으며 일본의 식물화학조절학회에도 보고된 바 있다 (최 등, 1986).

강남콩 하배축 신장 검정법 (bean etiolated hypocotyl elongation bioassay)

Mandava 등(1979)이 GA와 auxin류의 활성을 검정하기 위하여 적용하던중 brassinolide류에도 민감하게 반응을 한다는 것이 밝혀지면서 많이 이용하고 있다. 왜성 강남콩(*Phaseolus vulgaris*)을 암상태로 육묘해서 下胚軸 절편을 이용하여 신장반응을 측정한다. 이 방법에 의하면 brassinolide는 $0.1 \mu\text{M}$ 의 저농도에서도 다른 호르몬과는 달리 활성이 나타나는 것으로 알려져 있다.

생물학적 작용성

식물호르몬의 체내 작용기작은 생물검정의 결과에 기초를 두고서 연구가 진행되기 때문에 생물검정의 결과는 작용기작의 해석과 불가분의 관계에 있다. 전술한 바와 같이 brassinolide는 생장촉진 작용이 있는데, 절간신장에 있어서 GA의 작용과는 근본적으로 다르다는 것이 Mitchill 등(1970,1971)에 의해서 밝혀졌으며, Worley 등(1971)은 강남콩의 유식물에 처리하여 절간조직의 해부학적인 면에서 반응을 관찰한 결과 동일 절간에서도 상부조직은 세포분열이 촉진되는데 반하여 하부조직은 세포의 비대 즉 세포의 신장에 의해서 생장이 촉진된다는 사실을 확인하였다. 일반적으로 생장을 촉진시키는 식물호르몬은 세포분열의 촉진(auxin이나 cytokinin류)이나 세포신장의 촉진(GA류)을 통하여 생장이 촉진되는데, brassinolide는 세포의 분열과 비대가 동시에 촉진된다는 사실이 생리학자들에게 큰 흥미를 불러 일으키고 있다.

光質에 따른 신장반응도 매우 다양하게 나타나는데, brassinolide의 처리후 光照射 기간이 길어질수록 절간의 신장효과가 커지며, 백색광보다는 660 nm 의 적색광에서 신장효과가 높다는 보고도 있다 (Henry 등, 1985). Krizek 등(1983)은 처리후 백색 형광등하에서 생육시키는 것에 비하여 백열등하에서 오히려 절간신장이 억제된다고 하였다. 맥류를 대상으로 한 실험에서 brassinolide는 광합성 산물을 증가시키며, 가용성 단백질과 환원당의 합성을 촉진시키지만 엽록소 함량에는 영향이 없는 것으로 알려져 있다.

Brassinolide의 생리작용은 기존의 호르몬과 유사한 점이 많은데, auxin의 효과와 가장 밀접하여 auxin과 혼합하여 처리하면 높은 상승작용의 효과가 나타나는 것이 일반적인 현상이다. Auxin과 혼용처리하면 생육촉진반응은 auxin의 효과보다 선행하여 나타나는 것으로 보고되고 있다(Arteca 등, 1983). 식물의 정단부가 제거된 절편이 無傷식물(intact plant)에서 보다 brassinolide에 대한 반응이 훨씬 민감하다고 보고하였는데(최 등, 1986), 이것은 식물체내의 auxin 균형이 불안정한 상태에서는 brassinolide와 혼용하면 상승작용의 효과가 높아지기 때문으로 여겨지고 있다. Brassinolide는 auxin 세포신장작용이 조장되도록 조직의 감수성과 잠재력을 높이거나 아니면 auxin의 신장유도 과정에서 어느 한 단계를 활성화시킬 가능성이 있다는 김의 보고(1997)와도 연관이 있는 것으로 여겨진다. 대부분의 생리활성작용의 검정에서 brassinolide류는 auxin류와 상승작용을 하지만 직접적으로 조직내에서 auxin의 흡수와 이행을 촉진시키지는 않는 것으로 보여지며, Arteca 등(1983)은 이 두가지 호르몬은 에틸렌 생성에 있어서 상승효과가 있으나 불활성 indole화합물과는 상승효과가 없다고 보고한 사실이 이를 뒷받침한다고 볼 수 있는데, brassinolide가 생장점에서 auxin작용을 활성화시키고 조직내에서 에틸렌생성의 유도에 의해 auxin과는 상승작용을 하는 것만은 틀림없는 사실이다.

GA와의 혼용효과에 있어서는 서로 다른 반응을 나타내는데, GA를 처리한 식물체는 일반적으로 연약하며 도장되는 특성이 있지만 brassinolide를 처리한 식물은 신장효과와 비대가 동시에 이루어져 정상적인 생육을 한다. Yopp 등(1981)은 암상태에서 생육한 왜성콩의 신장에서 GA와 brassinolide는 상승작용을 한다고 하였으나 Mandava 등(1979)은 식물의 종류나 부위에 따라 반응이 다르게 나타난다고 보고하고 있어 auxin류와 비교하면 상승효과의 정도가 낮다고 할 수 있다. 몇가지 실험결과에 의하면 식물의 조직내에서 GA는 단독으로 작용하기도 하지만 체내 auxin 함량 및 활성과 관련이 있다고 보는 견해도 Henry 등(1985)에 의해서 제기되고 있으며, 실제로 정아가 존재하는 무상식물에 비해서 auxin의 균형이 불안정한 절편조직에서 GA활성이 낮아지며 brassinolide와의 혼용효과도 크게 기대할 수 없다 (Katsumi, 1985).

Cytokinin과의 혼용효과는 뚜렷한 상승작용이나 극단적인 길항작용은 보이지 않고 있는데, 조직배양시 세포분열에 의한 캘러스 증대의 경우에는 유사한 효과를 나타내지만 일반적으로 cytokinin류는 세포내에서의 반응이 짧은 시간내에 이루어지며 auxin에 의해 유도된 세포신장을 저해하는 경향이 있는데 반하여 brassinolide는 auxin류와는 대부분의 경우에 있어서 상승작용을 하는 것으로 보아 cytokinin과는 독립적으로 작용한다는 설이 지배적이다 (Katsumi, 1985).

한편 생장억제물질과 brassinolide와의 상호관계에 있어서 daminozide이나 chlormequat chloride(CCC)처리에 의해 억제된 생장이 brassinolide에 의해 회복된다는 사실이 밝혀졌으며(최, 1986), 특히 CCC와는 강한 길항작용을 하는 것으로 생각된다. CCC는 GA생합성의 중간대사과정을 차단하는 항GA성 호르몬으로서, CCC에 의한 생육억제는 GA에 의해 회복이 되며, brassinolide에 의해서도 회복이 되는 것으로 미루어 보아 CCC는 GA뿐만 아니라 brassinolide의 생합성과정에서도 어느 한 단계를 차단하는 항brassinolide 물질로 작용하는 것으로 추측된다.

농업적 이용 가능성

Brassinolide의 생리활성 및 생물학적 작용성이 밝혀지는 과정에서 기존의 식물호르몬에 비하여 농업적으로 다방면에서 실용화의 가능성이 높아지고 있다. 작물의 수량증대와 생장촉진, 광합성 산물의 증대, 개화·결실의 향상 특히 불량한환경조건에서 생육회복 등의 효과가 있으며, 최근 일본에서는 jasmonic acid와 혼합제로 개발하여 실험중에 있으며 1~2년내에 상용화하여 보급될 전망이다.

작물의 증수 효과

Mitchell 등(1970)이 유채의 화분에서 brassinolide를 추출하여 생리활성작용을 검정하는 과정에서 강낭콩의 절간신장을 유도할 뿐만 아니라 수량도 40% 정도 증수되었다는 보고가 있는 후 여러 가지 작물에 시도되고 있다. Thompson과 Mitchell 등(1971)은 콩과작물을 대상으로 시험한 결과 획기적으로 증수되었다고 보고한 바 있으며, Meudt 등(1983)은 채소류에도 상당한 증수효과가 있었다고 하였다. 밀의 개화기에 brassinolide를 처리한

결과 中位小穗와 하위소수의 임실이 촉진되어 증수되었다고 하였는데 弱勢穎花의 생육을 조정하여 영과의 임실을 촉진시키는 것으로 생각된다. 栗山 등(1996)도 토마토의 수정과 결실을 촉진시켜 수량증대의 가능성이 있다고 하였으며, 角田(1996)도 brassinolide는 사과 토마토 채소유 등에서 개화기의 수분·결실과 착과의 향상으로 수량증대 뿐만 아니라 품질향상의 효과가 있다고 하였다. 중국에서도 최근에 brassinolide의 응용연구에 상당한 성과를 올리고 있는데, 벼의 수량을 6~10%까지 증수시킬 수 있다는 결과가 발표되었다(CNRRI, 1996).

종자의 발아·출아 및 초기 생육촉진

Brassinolide용액에 침적처리한 종자가 발아를 촉진시키고 생육초기의 초장신장과 출엽속도를 향상시킨다는 것은 여러가지 작물에서 확인되고 있다. Cohen과 Meudt(1983)은 벼·밀과 같은 화곡류 종자는 물론이고 무나 오이같은 채소류 종자를 brassinolide용액에 24시간 정도 침적해서 파종하면 출아기간이 단축되고 출아율이 향상된다고 보고하였으며, 벼 직파재배에서도 출아기간을 단축시켜 출아율이 향상되고 초기생육이 촉진되는 효과가 인정되고 있다 (竹内, 1992).

벼 육묘기간중 묘상에 처리하여 이양하면 활착이 촉진되어 이양후 엽령진전이 다소 빨라져서 초기생육이 촉진되고, 뿌리의 생장량도 많아진다. 수목류의 삼목에 있어서 부정근의 발생을 조정하여 초기생육을 촉진하기도 하여 육묘기간을 단축시켜 묘생산의 효율을 높일 수 있고, 재배지역의 확대도 기대된다 (角田, 1995). 일본에서는 실용화를 목적으로 Jasmonic acid와 혼합제로 개발하여(아직 등록이 되지 않아서 상표명은 없는 상태이며 'TNZ303'으로 통용되고 있음) 화곡류, 과수, 채소 등 여러 작물에 적용을 시도하고 있다 (高橋, 1994; 角田, 1997; 竹内, 1997).

불량환경 조건하에서의 생육촉진

Brassinolide의 다양한 생리작용중에서 특히 관심을 불러 일으키는 것은 불량한 조건에서 생육촉진효과가 높다는 것이다. 벼 감수분열기와 개화기에 저온이 도래하면 저온으로 인한 임실장해가 유발되는데, 유수형성기에 brassinolide를 처리하여 임실향상을 통하여 저온피해를 경감시킨 경우가 있으며(角田, 1995), ABA 또는 jasmonic

acid와 혼합제로 개발하여 화곡류의 생육초기인 저온기에 적용하는 것도 연구중에 있으며 상당한 효과가 있는 것으로 알려지고 있다 (Suguru 등, 1996). 벼의 조기재배에 있어서 이양전에 경엽처리하여 이양하면 植傷경감과 활착이 촉진되어 온도가 낮은 저온기에 효과가 높다는 사실이 중국과 일본에서 보고되고 있다 (植調, 1995, 1996; CNRRI, 1996). 겨울철 하우스를 이용한 시설재배에 있어서 토마토와 같은 과채류의 과실중이 증대되고, 몇몇 화훼류에서 경엽처리에 의해 잎의 낙엽율이 현저하게 낮아져 겨울철에 상품성을 향상시킬 수 있다는 연구결과도 발표된 바 있다 (角田, 1996). 필자 등(1990)은 벼 종자와 유묘의 뿌리를 brassinolide의 용액에 침적시킨 후 제조제 용액에 옮겨서 생육을 관찰한 결과 제조제의 약해경감 효과가 있음을 확인할 수 있었는데, 이것은 brassinolide가 제조제의 흡수를 방해하거나 아니면 식물체내에서 제조제의 활성을 저해하는 것으로 생각해 볼 수 있다. 또한 간척지와 시설재배 연작지에서는 염류집적이 문제시 되고 있는데, brassinolide에 의해 작물에 따라서 염류피해를 어느 정도 경감시킬 수 있다는 연구결과도 보고되고 있다 (최, 1990).

전망 및 문제점

지금까지 언급한 바와 같이 brassinolide는 기존 5종의 식물호르몬에 비하여 작용성이 독특하고 매우 다양하여 제 6의 식물호르몬으로 각광을 받고 있다. 구조가 밝혀진 후 거의 20년이 경과하였으나 미국, 일본 등에서 연구가 활발히 이루어질뿐 국내에서는 체계적인 연구가 전혀 이루어지지 않고 있다. 선진외국에서는 추출·생리활성 및 작용성 검정·합성·실용화 연구 등으로 역할을 분담하여 추진한 결과 식물호르몬 개발의 궁극적인 목표인 농업적 이용이 가능한 단계에 이르렀다. 국내에서 연구가 미진하였던 것은 추출의 어려움과 식물호르몬에 대한 인식부족 그리고 종합적인 개발체계의 미흡을 들 수 있다. 농약개발을 실질적으로 담당하는 국내 제조회사에서도 식물호르몬은 제조제나 살충·살균제에 비하여 개발을 등한시하고 있으며, 전문 연구인력도 극히 제한되어 있는 등 연구기반이나 여건이 매우 열악한 현실이다. 현재까지 확인된 brassinolide의 다양한 생리작용을 감안하여 보면 자연계에 존재하는 어느 호르몬보다

농업적인 이용 가능성이 높은 것으로 평가되고 있으며, 20년 가까운 기간 동안 수행한 기초연구를 바탕으로 최근에 응용연구가 급진전을 보이고 있어 전망은 밝다고 하겠다.

그러나 효과의 발현이 처리조건이나 작물의 생육시기에 따라 너무 민감하여 일반 농약에 비하여 처리량이나 처리시기를 정확하게 선정하는 어려움이 있고, 효과의 발현은 빠르지만 지속기간이 짧은 것도 실용화의 제한요인이 되고 있는데 이러한 문제는 다른 호르몬과의 혼합이나 제품개발시 보조제(혹은 증량제)의 활용으로 약효의 발현과 지속을 어느정도 조절할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 brassinolide는 환경조건이 정상적인 상태에서 보다는 작물생육에 부적합한 불량환경조건하에서 효과가 높다는 것이 특징이기도 하지만 실용화 연구에서는 문제점으로 제기되기도 한다. 실내검정과 포장시험에서의 현저한 효과차이 특히 포장조건에서 효과발현의 불안정은 개발과정에서 보완하여야 할 중요한 문제점으로 지적되고 있다.

인용문헌

- Abe, H., T. Morishita, M. Uchiyama, S. Takatsuto, N. Ikekawa, M. Ikeda, T. Sassa, T. Kitsuwu and S. Marumo (1983) Occurrence of three new brassinosteroids : brassinone, (24S)-24-ethylbrassinone and 28-norbrassinolide, in higher plants. *Experientia* 39:351~354.
- Abe, H., T. Morishita, M. Uchiyama, S. Takatsuto and N. Ikekawa (1984) A new brassinolide-related steroid in the leaves of *Thea sinensis*, *Agri. Biol. Chem* 48(8) : 2171~2172.
- Arteca, R. N., D. S. Tasi, C. Schlagnhauser and N. B. Mandava (1983) The effect of brassinosteroid on auxin induced ethylene production by etiolated mung bean segments. *Physiol. Plant.* 59:539~544.
- China National Rice Research Institute (1996) The study on effect of TNZ303 of growth and development and yield of rice plant. pp.1~6.
- Choi, C. D., Y. Takeuchi and T. Takematsu(1986) The effect of brassinolides on the elongation of radish

- hypocotyl. Chem. Reg. Plant 21(2):134~143.
- Cohen, J. D. and W. J. Meudt (1983) Investigation on the mechanism of the brassino-steroid response. Plant Physiol. 72:691~694.
- Grove, M. D., G. F. Spencer, W. K. Rohwedder, N. Mandava, J. F. Worley, J. D. Warthen Jr, G. L. Steffens, J. L. Flippen-Anderson and J. C. Cook Jr. (1979) Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. Nature 281:216~217.
- Henry, E. W., L. J. Dungy and D. M. Bracciano (1985) The effect of brassinolide on growth little marvel and alaska pea. Plant Physiol. 77(4):42.
- Ishiguro, M., S. Taketsuto, M. Morisaki and N. Ikekawa (1980) Synthesis of brassinolide, a steroidal lactone with plant-growth promoting activity. J. C. S. Chem. Comm. pp.962~964.
- Katsumi, M. (1985) Interaction of a brassinosteroid with IAA and GA in the elongation of cucumber hypocotyl sections. Plant Cell Physiol. 26(4):615~625.
- Kim, Seong-Ki (1991) Natural occurrence of brassinosteroids. ACC symposium series. America Chemical Society, Washington. pp.26~35.
- Krizek, D. T. and N. B. Mandava (1983) Influence of spectral quality on the growth responses of intact bean plant to brassinosteroid, a growth promoting steroidal lactone. Plant Physiol. 57:317~323.
- 栗山宏樹 (1995) ブラシノステロイド “TS303とジャスモン酸誘導體 PDJとの上昇効果. 日本植物化学調節学会 発表要旨. p.85.日植調.日本.
- 栗山宏樹 (1996) 新規ブラシノステロイド化合物 TS303に關とする研究. 植物化学調節学会発表要旨. p. 87. 日植調.日本.
- Mandava, N. B. and J. F. Worley (1979) Brassinolide-type growth promoting activity in various pollen. Proceeding of the 10th International Conference on plant Growth Substance. Madison. Wisconsin. July 22~26.
- Meudt, W. J. and M. J. Thompson (1983) Investigation on the mechanism of the brassinosteroid response. Proceeding of the Plant Growth Regulator Society of America. pp.306~311.
- Mitchell, J. W. and L. E. Gregory (1971) Enhancement of overall plant growth a new response to brassins. Nature New Biology 239:253~254.
- Mitchell, J. W., N. Mandava, J. F. Worley and J. R. Plimmer (1970) Brassins a new family of plant hormones from rape pollen. Nature 225:1065~1066.
- Sakakibara, M., K. Okada, Y. Ichikawa and K. Mori (1982) Synthesis of brassinolide, A plant growth promoting steroidal lactone. Heterocycles 17:301~304.
- Schneider, J. A., K. Yosihara and K. Nakanish(1983) Typhasrerol a new plant growth regulator from cat-tail pollen. Tetrahedron letter 24(36):3859~3860.
- Suguru, T., Y. Kamuro, T. Watanabe, T. Noguchi and H. Kuriyama (1996) PGRSA /JSC Joint Meeting at Calgary. pp.1~6.
- 高橋淳 (1994) ジャスモン酸による細胞肥大におけるブラシノステロイドの促進作用. 植物化学調節学会発表要旨. pp. 155~156.日植調.日本
- 角田光治 (1995) TS303の農業生産への利用効果. 社内技術資料. 1~10.タマ生化学.日本.
- 角田光治 (1996) 新植物生育調節剤 TS303. 社内技術資料. 1~7.タマ生化学.日本.
- Takatsuto, S., N. Yazawa, N. Ikegawa, T. Morishita and H. Abe (1983) Synthesis of (24R)-28-homobrasinolide analogue and structure - activity relationships of brassinosteroids in the rice lamina inclination test. Phytochem. 22(6):1393~1397.
- 竹内安智 (1992) ブラシノステロイドの生理作用と利用に關する研究. 植物の化学調節 27(1):1~11.
- 竹内安智 (1997) ブテシノステロイド及びジャスモン酸の生理作用と實用化研究の現状. 植物の化学調節. 32(1):74~86.
- Thompson, M. J. (1981) Brassinosteroid analogs promote plant growth. Chem. & Enginner. 16:26.
- Wada, K., S. Marumo, N. Ikekawa, M. Morisaki and K. Mori (1981) Brassinolide and homobrasinolide promotion of lamina inclination of rice seedling. Plant Cell Physiol. 22(2):323~325.

- Worley, J. F. and J. W. Mitchell (1971) Growth responses induced by brassin in bean plants, J. Ame. Soc. Hort. Sci. 96(3):270~273.
- Yokota, T. (1984) Brassinosteroids from higher plant. Chem. Regu. Plant. 19(2):102~109.
- Yokota, T., J. Baba and N. Takahashi (1983) Brassinolide-related bioactive sterols in *Dolichos lablab*: brassinolide, castasterone and a new analog, homodolicholide. Agri. Biol. Chem. 47(6):1409~1411.
- Yokota, T., M. Morita and N. Takahashi (1983) 6-deoxocastasterone and 6-de-oxodolicosterone ; putative precursors for brassinolide-related steroids from *Phaseolus vulgaris*. Agri. Biol. Chem. 47(9):2149~2151.
- Yokota, T., M. Arima and N. Takahashi (1982) Castasterone, a new phytosterol with plant hormone potency, from chestnut insect gall, Tetrahedron letters, 23(12):1275~1278.
- Yopp, J. H., N. B. Mandava and J. M. Sasse (1981) Brassinolide, a growth promoting steroidal lactone. Physiol Plant 53:445~452.
- 植調 (1995) 夏作關係 生育調節劑試驗成績集錄(水稻篇) pp.1~35.日植調.日本
- 植調 (1996) 夏作關係 生育調節劑試驗成績集錄(水稻篇) pp.60~73.日植調.日本
- 김일섭 (1997) Brassinolide의 생리작용과 실용화 연구 방향. 원예학세계 2(2):15~18.
- 崔忠惇 (1986) 新植物生長調節物質 brassinolide의 生理活性 檢定法 確立 및 農業的 利用.慶北大 博士學位 論文集.
- 崔忠惇, 竹松哲夫, 竹內安智, 金吉雄 (1987) Brassinolide와 auxin類의 植物生長調節劑가 무 子葉柄의 屈折에 미치는 影響. 韓雜草誌. 7(1):84~89.
- 崔忠惇, 金純哲, 李壽寬 (1990) Brassinolide와 Auxin과의 相互作用의 生物檢定에 의한 評價. 韓作物誌. 35(1): 58~64.
- 崔忠惇, 金純哲, 李壽寬 (1990) Brassinolide의 除草劑 藥害 輕減效果. 農試論文集(水稻篇) 32(1):65~71.