

영양소의 변천과 식물육종의 추이

한창열

Changes in the Concept of Nutrients and Transition of Plant Breeding

Changyawl Harn

ABSTRACT During the first half of twentieth century, even though the importance of non-calorie essential micronutrients of 13 vitamins and 17 minerals has been known to alleviate nutritional disorder, the primary objective of agriculture and plant breeding programs has been to increase the productivity and seed yields, and macronutrients of proteins, fats, and carbohydrates made up the bulk of foodstuff which were used primarily as an energy source. In the last decade it has been found that non-essential micronutrients encompass a vast group of phytochemicals including antioxidants that are not strictly required in the diet but when present at sufficient levels work as health-promoting chemicals. Nowadays agricultural crops are grown for health rather than for food or fiber, and modifying the nutritional compositions of plant foods has become an urgent health issue. To ensure an adequate intake of essential vitamins and minerals, and to increase the consumption of health-promoting phytochemicals, the researches on plant secondary metabolism have been made. The attempt to improve nutritional quality of crops has been blocked by a lack of basic knowledge of plant metabolism. The advent of genomics era enabled new approaches to make crossing regardless of species, family, or phylum barriers, and the accumulation in our basic knowledge on plant secondary metabolism during the coming decade would be tremendous. As the major staple crops contain insufficient amount of many micronutrients, fortification strategy will be a necessary practice. Elevated intake of specific vitamins, C, E, and β -carotene, mineral selenium, antioxidants, and phytochemicals significantly reduces the risk of chronic disease such as cancer, cardiovascular disorder, diabetes, and other degenerative disease associated with aging. As the attempt to improve the nutritional quality of crops requires the basic knowledges on plant metabolism, plant biochemistry, human physiology, and food chemistry, strong interdisciplinary collaboration among plant biotechnologists, human nutritionists, and food scientists will be needed. Inhibition of cancer, cardiovascular disease, and other degenerative disorder may be the biggest goal facing nutritional plant breeders. But the assumption that simply increasing dietary level of any compound will necessarily improve human health is a dangerous idea because many plant secondary products and dietary contaminants have paradoxical (hormetic) effects. Before biotechnical manipulation is undertaken to elevate or reduce any individual constituent of crops, the contribution of the micronutrient to human health must first be investigated.

Key words: Antioxidant, micronutrient, oxygen free radical, phytochemical

現行의 고전(古典)육종과 분자육종

현행 고전육종에서는 phenotype만 보고 품종개량을 하고 유

한창열(韓昶烈) 박사님은 한국식물생명공학회 (구 한국식물조식배양학회)의 1~6대 회장 (1973-1984)을 역임하셨습니다.

전자는 가정을 한다. 형질의 유전양식을 유전자를 붙여서 결정해 나가는 것을 인자분석 (gene analysis)라고 했다. 농작물의 자가불화합 (SI)현상, 응성불임 (MS) 등도 인자분석을 하면서 F₂종자를 만드는 데 이용을 하고 있다. 그런데 식물에서 깨끗이 인자분석을 할 수 있는 것은 농작물의 수량과는 별 관련이 없는 일부 質的形質이고, 수량 같은 양적(量的) 형질에

관계하는 유전자는 대부분 微動의 minor polygene들이어서 인자분석을 할 수가 없다. 또한 양적형질은 환경인자의 영향을 많이 받기 때문에 유전자의 능력을 알아내기가 더더욱 힘들다. 이런 수량과 관련된 품종개량에서는 통계학의 지식을 빌려서 미동유전자들의 작용을 추정해 보기도 한다.

품종개량이 고도로 발달함에 따라 異系統, 異品種이 가지고 있는 유전자들은 모두 이용해 버리고 유용(有用)유전자를 얻기가 힘들게 되자 육종 관계자들은 자연 농작물과 近緣의 야생식물이 가지고 있는 각종 유용유전자 이용에 관심을 갖게 되었다. 근연 야생식물에는 병해충에 대한 저항성유전자뿐 아니라 고저온(高低溫), 건조(乾濕), 고염(高鹽) 등 식물이 받는 각종 stress를 견디어 낼 수 있는 내성(耐性)유전자를 가지고 있어, 야생식물은 유용유전자의 보고라고도 할 수 있다.

그런데 이런 야생식물은 농작물과는 식물분류학상 異種, 異屬관계에 있어, 교잡이 안 되는 경우가 많고 또 설사 교잡이 된다해도 F₁세대, 그 후의 世代에서 불임(不稔)이 심해서 계대(繼代)를 할 수 없을 뿐 아니라, 야생식물이 가지고 있는 필요한 유전자만을 농작물에 집어넣고 기타의 劣惡유전자들을 전부 제거한다는 것이 거의 불가능해서, 20세기 전반 농작물과 근연의 이종, 이속 야생식물과의 교잡을 많이 시도해 봤지만 일부 영양변식이 가능한 화훼·화목류를 제외하고는 실질 품종개량에 기여한 예는 거의 없고 종자변식 주곡작물에서는 근연 야생식물의 이용은 포기한 상태였다.

야생식물이 아니고 재배작물간의 異種間 또는 異屬間 잡종도 이용가치가 없는 것은 마찬가지이다. 小麥 (Triticum 屬) × 호밀 (Secale 屬)의 속간잡종인 Triticale, 두 葉菜類 양배추 (Brassica oleracea) × 배추 (B. pekinensis)의 종간잡종 Hakuran의 作出은 한때 mass communication에서 대대적으로 떠들어 댔지만, 별로 쓸모가 없어, 우리들의 기억에서 살아진 지 오래이다.

그런데 구 소련에서는 1950년대에서 1960년대에 걸쳐 異種, 異屬間 잡종을 만드는데 전력을 기울였고, 그 영향으로 기타 공산권국가들에서는 1970년대까지 그 열기가 계속되었지만, 노력에 비해 얻은 것은 거의 없었다. 이와 같이 해서 주곡 농작물의 개량에 근연 야생식물의 유용유전자를 이용하려는 노력은 별 성과 없이 막을 내렸다.

1960년대 말에서 1970년대까지 몇년동안 배양세포의 cellulose벽을 효소로 용해, 이종, 이속의 세포를 융합(融合), 잡종세포를 만들고, 이 잡종세포에서 잡종식물을 얻은 소위 非有性生殖的 雜種 作出기술이 개발되어 한때 head-line news거리가 되었는데, 유성생식으로는 잡종이 안 되는 것을 세포융합으로 잡종을 만들 수 있다는 것을 제시했을 뿐, 이런 잡종식물이 품종개량에 이용가치가 별로 없는 것은 만찬가지이다.

오늘날의 分子育種은 selectable marker로 사용하는 항생제 저항성 유전자 문제, BT gene 같은 유전자의 안전성, allergy의 발생, transgene의 안정도, random으로 삽입된 유전자가 host genome에 끼치는 영향, dormant transposon의 활성화, 특정유전

자의 silencing, position effect, genetically modified (GM) crop의 화분에 의한 근연식물의 오염, GM crop이 일반 생태계에 끼치는 영향등 논란의 여지가 아직 있기는 하지만 분자유종을 이용하여 생산된 식품이 유해하다는 과학적인 증거는 아직 없다. 분자유종의 장점으로는 genome내의 필요한 유전자를 정확히 pinpoint하고, 도입된 유전자의 발현을 trace하고, 현행의 고전육종이 하는 것과 똑같은 품종개량을 교잡수단이 아닌 DNA조작기술로 할 수 있고, 유용유전자의 이용이 種, 屬의 한계를 넘을 정도가 아니라 모든 동식물, 미생물이 가지고 있는 유용유전자도 이용할 수 있다는 등 무한한 가능성을 가지고 있다.

금후의 농업은 식량의 생산을 위함이 아니라 인간의 건강을 위해, 육종은 곡물의 증수보다는 vitamin, mineral, antioxidant, phytochemical 등 미량영양소 증수 등으로 농업, 육종의 개념이 바뀌는 날이 올지도 모른다. 分子育種분야는 막중한 책임을 질 수 있도록 대비를 해야 한다.

우리의 健康과 營養食品

여기서 화제를 달리해서 인간의 “건강과 영양” 문제를 생각해 보기로 한다. 오랫동안 단백질·탄수화물·지방의 3대 macronutrient를 필수 영양소로 생각, 이들 영양소의 섭취에 주력했다. 이들은 모두 energy 源으로 1日섭취량도 수십-수백 그램이나 되는 대형 calorie식품이다.

20세기로 들어서면서 이런 대형영양소 이외에 微量成分인 13종류의 vitamin류와 17종류의 mineral이 신진대사 기타 몸의 건강에 중요한 역할을 하고 우리들의 건강과 질병의 예방과 치료에 필수인 것이라는 것을 알게 되었다. 이들 micronutrient는 모두 non-calorie의 미량요소로서 1日 필요량도 몇 mg 또는 몇 μg (mcg) 단위이다. 이와 같이해서 일부 부유한 나라에서는 (단백질·탄수화물·지방)+(종합 vitamin·종합 mineral)이면 영양은 만점이라고 알고 풍요를 마음껏 구가했다.

그러나 20세기 후반이 되면서 이들 부유국가들에서는 영양과다로 비만·심장혈관등 순환기계의 질환·각종 암·당뇨병 등 소위 만성 성인병 질환에 시달리게 되었고, 반면 청소년층에는 hamburger, pizza 등 fast food, junk food 등 칼로리만 높고 영양가는 낮은 instant식품과 coke를 비롯한 각종 soda water가 유행병처럼 범람, 영양 불균형을 초래했다. 나라는 부자인데 어른들은 영양과다로 성인병에 시달리고 젊은 층은 영양분은 별로 없고 calorie만 높은 것을 좋아해서 영양 불균형 상태가 되는 ironical한 현상이 나타났다.

Oxygen free radical과 antioxidant

우리 몸의 각 세포 안에서는 대사과정에서 산소 유리기(遊

離基, oxygen free radical)가 생기는데, electron pair가 안되어 不安定하고 연쇄적으로 free radical 이 생기면서 주변 물질에 손상을 입힌다. 쇠붙이가 산화되어 빨간 녹이 쏘고 기름이나 버터가 오래되면 산화되어 악취가 나고 껍질을 벗긴 사과를 하룻밤 놔두면 갈변하는데, 이와 똑같은 일이 세포 안에서 oxygen free radical 때문에 일어난다. oxygen free radical을 化學에서는 유리기라고 하지만 요즘 “유해산소”라는 用語가 널리 쓰이기 때문에 이후 free radical 대신에 유해산소라는 말을 쓰기로 한다.

유해산소 때문에 세포내의 단백질 · 탄수화물 · 지방이 변질되고 DNA가 손상을 입는데 그 결과 세포 · 조직의 노화와 암 · 심장혈관계 질환 · 당뇨병 등 만성질환이 생기게 되고 지방의 변질로 세포막이 망가진다. 이와 같이 세포 안에 계속 생기는 유해산소의 광기(狂氣) 때문에 세포는 금방 죽어 버릴 것 같지만 실은 그렇지 않다. 우리 세포들은 이런 유해산소의 해(害)를 중화, 억제, 무력화시킬 수 있는 대항물질을 자체 생산해서 세포가 정상기능을 할 수 있게 한다. 산화를 방지하는 물질 즉 항산화체(抗酸化体, antioxidant)를 각 세포들이 만들어 내서 유해산소에 의한 손상을 방지하는 것이다.

지금부터 약 36억년 전 생명체가 처음 태어날 때의 지구는 산소가 없는 환원성 대기(reducing atmosphere)였다. 태어난 생명체는 지금의 세균과 유사한 것으로서, 한 분자의 간단한 DNA 즉 n성 genome으로 되어 있는 데다가 강력한 여러 돌연변이 유기원 때문에 계속 변이체가 생겨 세균의 다양한 分化가 급속도로 진행되었다. 대기중에 산소가 없으니 성층권에 ozone층도 없어 여과 없이 내리쬐이는 자외선, 지진에 의한 진동 energy, 화산폭발 energy, 뇌전(雷電, lightning) energy, 방사능 물질의 붕괴 energy 등 풍부하고 강력한 mutagen 때문에 변이는 엄청나게 많이 일어나고, DNA가 한 분자(n)로 되어 있어 변이는 곧 phenotype으로 발현되어 다양한 종류의 세균으로 分化가 일어났다. 그리고 이 세균들은 무산소 지구에서 생겼기 때문에 산소 없는 데서만 살 수 있는 혐기성(嫌氣性) 생물(anaerobe)들이었다.

그런데 계속 생겨나는 돌연변이체 중에 물과 이산화탄소(CO₂), 그리고 태양 energy로 광합성을 할 수 있는 능력을 가진 변이체 cyanobacteria가 생겨났는데, 이것은 오늘날의 남조류(藍藻類, blue-green algae)의 시조격이다. 당시의 풍부한 물과 CO₂로 급속도로 증식하면서 대기중에 산소를 방출했다. 무산소 대기하에서 태어난 혐기성 세균에게는 이 산소가 독(毒) gas로 작용, 대부분은 전멸했고 지하 깊숙한 곳에서 살던 것들은 화를 면했다. 대기의 산소량 증가와 돌연변이 증가가 계속되면서 일부 세균은 산소를 이용하고, 산소의 유독 작용을 중화, 무력화시키는 물질, 즉 항산화체(抗酸化体)를 만들 수 있는 것이 태어났다. 세균의 종류가 다양하기 때문에 각각 고유의 항산화 물질을 만들었다. 오늘날 각 생물들이 고유의 항산화체를 만들게 된 그 기원은 20~30억년 전의 미생물들에서 유래되었다.

生活樣式 · 환경의 급변과 oxygen free radical

우리 몸 각 세포에서 발생하는 유해산소는 그것을 중화시키는 산화방지 물질을 자체 생산함으로써 세포 기능에 별 지장이 없지만, 오늘날 우리의 생활습관, 음식문화의 급변, 환경의 악화등에 의해 엄청나게 많은 유해산소가 생겨나서 문제가 심각해지고 있다. 장시간에 걸친 과격한 운동, 심한 stress, 흡연 등에 의한 유해산소의 증가, 자동차의 배기 gas, 공장 폐기물, 오염된 물과 공기, 농약 · 살충제 등에 의한 유해산소의 증가 등 우리 세포내에서는 엄청난 유해산소가 발생하는데, 세포 자체가 생산하는 항산화체만으로는 역부족이다. 생화학자들의 측정에 의하면 세포 한 개당 하루 동안에 유해산소가 10¹⁰, 즉 약 100억개가 생산된다고 한다. 이런 방대한 양의 유해산소를 중화, 무독화시키기 위한 유일한 방법은 항산화체(體)가 많이 포함되어 있는 각종 채소류와 다양한 종류의 과일을 먹든가 항산화제(劑)라고 해서 요즘 시판하고 있는 것을 구입해서 먹든가 해야 한다.

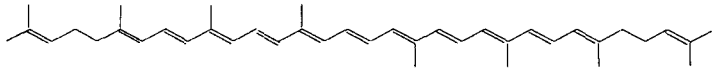
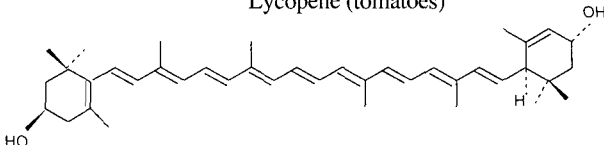
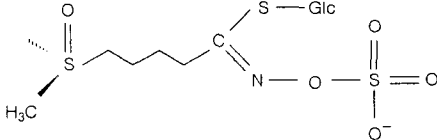
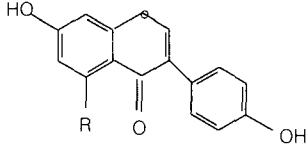
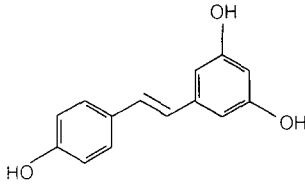
과격한 운동을 하는 직업선수들의 평균 수명이 일반인 보다 짧고 빨리 노화되는 주원인이 과도한 유해산소 때문이고, 세포 · 조직 · 기관의 기능이 일찍 망가져 노쇠 되고 각종 만성질환을 앓게되는 큰 원인도 과도한 유해산소 발생 때문이다. 강력한 항산화력이 있는 보조식품으로는 βcarotene, vitamin C, E 등 비타민류가 있고, 미네랄로서는 selenium이 있다. 시판되고 있는 기타 항산화제(劑)로는 quercetin, lycopene, lutein, glutathione, coenzyme Q₁₀ (CoQ₁₀) 등이 있는데, 그 종류 수는 날로 증가하고 있다.

Phytochemical

동물과는 달리 식물은 이동을 못하고 한곳에 fix되어 관목류는 수십년, 임목 등 교목(喬木)은 수백년, 외국의 일부 침엽수같이 1000여 년을 사는 것도 있다. 이동을 못하기 때문에 해충을 포함한 각종 동물, 병원균의 공격에 대한 자체 방어를 위해, 또 고저온, 한발과 홍수, 건조와 다습, 토양염분 등 각종 stress를 극복하기 위해서 phytochemical을 자체 생산해서 살고 있는데, 식물마다 각각 고유의 것을, 같은 식물도 서식지에 따라 서로 다른 종류의 것을 만드는데, 현재 identify되고 characterize된 phytochemical만 해도 8만여 종류나 된다.

그런데 근래 이 phytochemical들이 인간의 각종 암, 심장 · 혈관계 질환, 당뇨병 등 만성 성인병의 예방에 탁월한 효과가 있다는 것이 알려져 (Table 1), 최근 동서양을 막론하고 선진 각국에서는 phytochemical을 먹자는 campaign이 벌어지고 있다. 여기에 대한 좀더 상세한 것은 후기 하겠다.

Table 1. Some classes of phytochemicals with health-promoting properties, active compounds, and plant sources.

Phytochemical Class (no. of compounds)	Diseases ameliorated or prevented	Example active compound and plant source
Carotenoids (>700)	Prostate, esophageal and other cancers, cardiovascular disease, macular degeneration	 Lycopene (tomatoes)
		 Lutein (kale, spinach)
Glucosinolates (>100)	Cancers	 Glucoraphanin (broccoli and broccoli sprouts)
Phytoestrogens (>200)	Cardiovascular disease, osteoporosis, breast, prostate and colon cancers	 Genistein (R=OH); Daidzein (R=H) (soybeans, tofu, soy products)
Phenolics (>4,000)	Cardiovascular disease, cancers	 Resveratrol (red wine, red grapes)

營養素의 변천

오늘날의 영양소에 대한 개념의 변천을 보면 필수영양소로 단백질·지방·탄수화물 등 macronutrient의 calorie 위주의 시대가 오래 계속되다가 vitamin과 mineral이 신진대사나 각종 질병 예방에 필수라는 것이 알려지면서 종합 vitamin과 종합 mineral 등 micronutrient가 필수 보조식품으로 각광을 받게 되었다. 근래에 와서는 유해산소의 해(害)를 억제하기 위해 antioxidant, 암·순환기계질환·당뇨·콩팥 질환 등 만성 성인병 질환의 예방과 치료에 antioxidant와 phytochemical이 절대적으로 필요하다는 것을 알게 되었다. 이제 영양소 및 관련 사항 몇 가지를 요약해서 적기로 한다.

지방

지방과 탄수화물은 저장했다가 필요할 때 쓸 수 있는 저장성 영양소이다. 여기에 반해 단백질은 저장성의 영양소가 아니며 식사 때마다 필요한 양을 섭취해야 한다. 지구에 처음 태

어난 원시인간은 다른 동물과 마찬가지로 식품이 없어 기아상태가 올 때에 대비해서 먹을 것이 있을 때 충분히 포식해서 영양분을 비축했는데 일부 glycogen을 제외하고는 모두 지방의 형태로 저장을 하고 영양분의 소비를 최소화하기 위해 신체의 활동을 제한했다. 이와 같이 해서 인간이 진화하면서 게걸스럽게 많이 먹는 유전자, 비만 유전자, 움직이지 않고 태만한 유전자를 가진 인간이 생잔(生殘)에 유리하게 진화되었다. 이런 유전자들이 천하고 상스럽다고 해서 요즘 학자들이 mean genes이라고 부르고 있다. 또 여자는 골반 깊숙이 매몰되어 있는 난소를 보호하고 자궁에서 자라고 있는 태아를 보온하고 충격방지(shock proof)를 위해 hip 비만 유전자, 하복부 지방 축적 유전자 소유자가 유리하게 진화되었다. 이와 같이 인간 진화에서는 게걸스럽게 많이 먹는 유전자, 비만유전자, 태만유전자, 여자의 hip, 하복부 비만유전자 등을 가지고 있기 때문에 조금이라고 방심하면 현대인이 가장 두려워하는 비만, 날씬한 몸매를 원하는 여인들의 복부비만이 쉽게 생길 수 있다.

소, 말, 염소 등 초식성(herbivorous)동물들은 모든 amino산을 체내 합성할 수 있어 단백질이 크게 문제가 안되지만 인간

은 진화과정에서 20종류의 amino 산 중 거의 절반을 합성하지 못하게 되었는데, 잡식성(雜食性, omnivorous) 식습관을 택함으로써 인간은 멸종을 면할 수 있었다.

원시인간의 진화과정에서 소중했던 저축성 지방은 오늘날의 문명인간의 풍요 생활에서는 불필요한 만병의 원인이 되고 있고 날씬한 몸매를 원하는 여인들의 복부비만은 저주의 대상이 되고 있다.

세포·조직의 구성물질로서의 단백질, 세포내에서 일어나는 수많은 화학반응에 필요한 효소단백질, 각종 hormone 단백질, 항체(抗體) 단백질 등 단백질은 우리 영양소중에서 가장 중요한 특급 영양소이다. 단백질을 얼마나 많이 먹느냐보다도 얼마나 양질(良質)의 단백질을 먹느냐가 더 중요하다. 체내에서 합성을 못하는 필수(essential)의 amino산을 고루 갖춘 양질의 단백질이어야지 필수 amino산이 적은 것은 제 아무리 고단백 식품이라고 해도 소용이 없다. 그런데 필수 amino산이 풍부한 양질의 단백질 식품으로는 우유 및 유제품·계란·육류 등이 있는데, 이런 식품에는 우리 건강에 좋지 않은 포화지방과 cholesterol이 많이 포함되어 있어 만성 성인병 질환의 예방과 치료에 걸림돌이 되는 수가 있다.

지방, 기름이라는 용어는 식품 이외의 여러 lipid(脂質)에도 흔히 쓰여지고 있다. 식유를 oil이라고 하는 식으로 lipid를 지방 또는 기름이라고 하는 경우가 있어 용어상의 혼란을 피하기 위해 의학이나 생물학에서는 식품의 지방과 기름을 triglyceride 또는 중성지방(中性脂肪, neutral fat)이라고 해서 구별하고 있다. 중성지방은 glycerol(이것은 化學에서 쓰는 용어이고, 일반에는 glycerin이라는 용어로 더 잘 알려져 있다)에 3분자의 지방산이 결합된 것인데, 이 지방산이 어떤 종류의 것인가에 따라 우리 건강에 해로운 지방, 이(利)로운 것 등으로 결정된다. 지방산은 긴 hydrocarbon chain으로 되어 있는데, 이 chain의 한 쪽 끝에는 methyl기(基), 반대쪽 끝에는 탄산기(carboxyl group)가 붙어서 그 formula는 $CH_3-(CH_2)_n-COOH$ 로 되어 있다. glycerol $C_3H_5(OH)_3$ 에 있는 3개의 alcohol group(수산기)각각에 3분자의 지방산 탄산기가 결합, H_2O 들이 떨어져 나가면서 triglyceride, 즉 중성지방이 만들어 진다.

지방산의 hydrocarbon chain의 탄소 결합이 C-C-C와 같이 single bond로 된 것은 수소가 짝차서 포화상태를 이루기 때문에 포화지방산이라고 하고 이런 지방에 속하는 것들은 우리 동맥 혈관에 좋지 않은 영향을 끼쳐 많이 섭취하지 않도록 해야한다. 우유, cheese, 육류등의 지방이 대표적인 포화지방산의 지방이다. Hydrocarbon chain이 $C=C-C-C$ 와 같이 탄소(C)가 double bond로 되어 있는 것은 수소 결합이 그만큼 적어서 포화 상태가 아니기 때문에 불포화지방산(unsaturated fatty acid)이라고 하는데, 그 중에서 double bond가 하나인 것을 단(單) 불포화지방산(monounsaturated fatty acid)이라고 하고 olive oil이 그 대표적 기름이다. double bond가 여러 개 있는 것을 다중(多重) 불포화지방산(polyunsaturated fatty acid)이라고 하는데, 다중불포화지방산도 double bond의 위치

에 따라 omega-3 다중불포화지방산과 omega-6 다중불포화지방산으로 구분한다. 앞에서 말한 단불포화지방산인 olive oil과 등푸른 생선에 많이 포함되어 있는 omega-3지방산은 우리 동맥혈관에 유익한 작용을 해서 우리 건강에 대단히 이로운 것이고 omega-6지방산은 옥수수기름, 콩기름, 해바라기씨 기름의 주성분으로써 심장·혈관계질환 기타 각종 만성질환을 일으키기 때문에 건강에 아주 나쁜 기름이라고 할 수 있다.

Phytochemical

식물이 만들어 내는 13종류의 vitamin과 17종류의 mineral은 우리체내에서 신진대사에 관여하고 또 질병의 예방과 치유에도 중요한 역할을 해서, 필수 미량요소로 되어 있다. 식물은 이런 vitamin과 mineral 이외에도 수많은 이차산물(secondary metabolite)을 만들어 내는데, 이런 화학물질을 요즘 phytochemical이라고 한다. 현재 identify되고 characterize된 phytochemical만도 8만 종류가 넘는데 이들을 몇 group으로 구분해서 취급하고 있다. 이들은 식물을 해충을 비롯한 각종 동물, 세균, 곰팡이 등에서 자기 방어를 위해 만들어 진 것도 있고 또 고온, 저온, 한발, 기타 각종 stress를 이겨내기 위한 것도 있다. 이동을 못하는 식물이 자체 방어를 위해, 살아 남기 위해 만들어진 물질이지만, 근래 이런 phytochemical이 인간의 건강 증진에 중요한 역할을 한다는 것이 알려졌다. 즉, 다양한 식물성 식품을 많이 먹는 성인들은 만성 성인병에 걸리는 일이 적은데, 이것은 식물에 포함된 phytochemical 때문이라는 것이다.

수많은 phytochemical에 대해 아직 정확한 화학적 정체를 알아내지도 못하고 왜 건강에 좋은지도 밝혀지지 않았지만 현재 밝혀진 몇 종류를 보면 중요한 만성질환의 예방이나 치료에 효과가 있는 것은 사실이다. Glucosinolate는 broccoli같은 양배추류에 있는 성분인데, 발암물질과 DNA와의 상호작용을 감소시키고 발암물질을 해독시킨다. Phytoestrogen인 genistein, daizein등은 건강을 증진시키는 isoflavone으로서 콩(大豆)에 많이 함유되어 있다. 콩 및 콩제품을 많이 먹는 사람은 적게 먹는 사람에 비해 암, 골다공증, 심장의 관상동맥질환에 걸리는 일이 적다. Carotenoid는 그것이 vitamin A의 전구물질(provitamin A)이건 아니건(non-provitamin A), 암, 심장·혈관계질환, 노인에게 흔한 눈의 황반변성(黃斑變性, macular degeneration)발생을 억제한다.

오늘날 우리 인간 사회는 인공합성 의약품이 범람하고 있는데 식물이 다양한 종류의 화학물질을 만들어 내고 있고, 이들이 모두 다양한 치료·예방효과가 있다는 것이 과학적으로 밝혀지고 있다는 것은 고무적인 일이다. 인류와 식물은 오랜 지질열대를 살아오면서 서로 협조하며 공동진화(co-evolution)를 해왔는데, 인간은 식물을 치료용으로, 건강증진용으로 써왔다. 이제 이들의 화학성분이 밝혀지면서 만성성인병의 예방과 치료에 전체요법(holistic therapy)이라는 새로운 접근법이 각광을 받게 될 것이다.

Lycopene

식물계에는 carotenoid로 분류되는 것이 700종류 이상이나 된다. 그 중에는 β -carotene처럼 인체내에 흡수되면 vitamin A (retinol)로 되는 것 즉 vitamin A 전구체 (provitamin A)도 있고 lycopene같이 vitamin A로 전환되지 않는 non-provitamin A도 있다. 식물의 β -carotene이 인체내에서 vitamin A로 전환된다는 사실이 알려진 이래 β -carotene의 함량이 많은 식품들이 오랫동안 각광을 받았고 그 그늘에 가리워 별로 주의를 끌지 못했던 lycopene이 많이 포함된 식품이 요즘 인기의 대상으로 부상하고 있다. Lycopene은 완숙한 tomato의 진한 적색, tomato ketchup 이나 sauce 빛깔의 성분이고 lycopene이라는 말도 토마토의 학명 *Lycopersicon esculentum*에서 유래되었다.

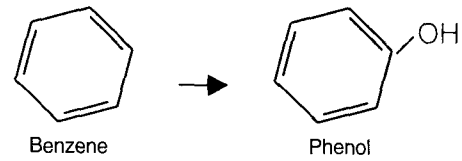
Tomato나 토마토 가공품을 많이 먹으면 암, 심장혈관 관계 질환 등 만성 성인병에 잘 걸리지 않는데, 그 이유는 lycopene의 강한 산화방지력 때문이다. Lycopene은 β -carotene보다 두 배나 더 강력한 항산화력을 가지고 있을 뿐 아니라, 그밖에 여러 가지 건강증진에 유효한 특성을 가지고 있다. Carotenoid에 속하는 여러 물질의 전립선(前立腺)암 발생 억제력을 비교해 보면 lycopene이 β -carotene, α -carotene, lutein, β -cryptoxanthin들 보다 월등히 강력하다. Lycopene이 심장 질환에 좋다는 것은 이 물질이 cholesterol의 합성을 억제하고 LDL cholesterol의 분해를 촉진시키기 때문이다. 지방조직 (adipose tissue)에 lycopene의 농도가 높은 사람은 혈관 내벽의 비후(肥厚)와 심근경색의 위험이 줄어든다.

근래에 lycopene에 대한 요구가 홍수처럼 범람하면서 lycopene함량이 많은 식물 탐색도 열기를 더해가고 있다. 신선한 tomato는 100 g당 lycopene이 3 mg인 데 반해, autumn olive (*Elaeagnus umbellata*)의 과일에는 생과(生果) 100 g당 lycopene이 15~54 mg나 된다고 한다.

Tomato의 lycopene함량을 높이려는 육종분야의 노력도 진행되고 있다. Tomato의 lycopene 형성에 관한 생리적 지식이 아직은 단편적이다. 과일 성숙에 ethylene이 관여한다는 것 이외에 phytochrome의 관여, 적색광 처리가 lycopene 축적을 자극한다는 것 등 정도이다. Tomato에서 spermine, spermidine 등 polyamine을 증가시키게끔 재조합한 transgenic 식물에서 lycopene이 증가되었다는 보고도 있다.

Phenol 화합물

Phenol은 benzene에서 전환되는데 cytochrome p450에 의해 촉매 된다. Phenol group은 benzene aromatic ring (방향환)에 수산기 (OH)가 붙은 것이다. 식물은 이 phenol group이 있는 다양한 이차산물을 수없이 많이 만들어 내는데, 이런 물질을 통틀어서 phenolic compound, 즉 phenolics라고 한다. 식물이 만드는 phenol 화합물은 수없이 잡다하고 그 종류만도 10,000여가지가 있어 식물을 위해 여러 가지 역할을 한다. Phenolics



가 하는 가장 많은 역할은 phenolic 때문에 독성이 생기던가 맛이 없던가 해서 초식동물이나 병원균으로부터 식물 자신을 보호하는 것이고, 그 외에는 기계적인 지주(支柱), 수분(授粉)을 위한 곤충유인, 종자살포, 유해자외선의 흡수, 주변 이종식물의 생육억제 등이다. Phenolics 방어기능의 예 한두 가지를 들어 보면 감귤류 (Citrus)의 일종인 그레이프프루트 (grapefruit) 열매의 flavonone glycoside의 쓴맛이라든가 등대풀속 (Euphorbia)의 유독성분인 resineratoxin 등이 있다.

식물이 phenolics을 합성하는 데는 ① shikimic acid pathway와 ② maronic acid pathway의 두 가지 기본 경로가 있고, phenylalanine이 중간 물질로서 관여한다.

식물은 잎, 뿌리, 기타 썩은 쓰레기 등을 통해서 토양에 일차, 이차 phenol 대사물을 방출하는데, 이로서 주변 다른 식물들이 자라지 못하게 되고 수분 일광 토양성분을 확보, 진화에 유리한 적응을 할 수 있다.

식물에서 cellulose를 제외하고는 lignin이 가장 많은 성분인데, phenol성의 복잡한 대형분자이다. 각종 지주(支柱), 통도조직의 세포벽에 있고, 특히 목질부의 도관, 가도관등에 많다. Lignin은 기계적 지주 역할외에 중요한 보호기능도 가지고 있다. 굳고 딱딱해서 동물의 먹이로서 부적당하고 화학적으로도 튼튼해서 초식동물이 소화를 못 시킨다. 또한 cellulose나 단백질에 결합함으로써 이들 물질의 소화를 방해한다. 감염과 상처에 곧 대응해서 병원균의 침입과 번식을 막는다.

식물의 색소(色素)는 크게 구분해서 carotenoid와 flavonoid의 두 계열로 분류할 수 있다. Carotenoid에 속하는 것은 황색, 오렌지색, 적색의 terpenoid화합물이고, flavonoid계열은 모두 phenol 화합물이다. Flavonoid계의 대표적인 것은 anthocyanin 색소로서 적색, pink색, 자줏빛, 청색 등 다양하다. 꽃이나 성숙 과일의 anthocyanin색소는 곤충, 조류 등 동물을 유인하는 중요한 역할을 한다. Anthocyanin은 position 3에 당분이 결합된 glycoside이고, 빛깔에 영향을 주는 요인들로서는 B ring에 붙은 수산기 (OH)와 methoxyl (OCH₃)기의 수, 주 골격에 ester화된 방향산 (aromatic acid)의 존재, 세포내 액포 (vacuole)의 pH 등을 들 수 있다. Anthocyanin 색소에 영향을 끼치는 요인도 많고 또 carotenoid 계열의 색소가 공존하는 수가 많아 자연계에는 다양한 색깔의 꽃과 과일이 생겨났다.

콩과식물에는 flavonoid계의 한 종류로서 isoflavonoid가 생겨서, 살충기능과 anti-estrogen효과를 나타내는 것이 있다. Tannin은 phenol의 polymer (polyphenol)로서 식물의 방어기능을 가지고 있다. 초식동물이 먹는 식품에 tannin이 포함되어 있으면 생육이 억제되고 생산(生殘)에 영향을 받는다. 소, 사

슴, 원숭이 등은 tannin의 함량이 많은 식물이나, 식물 부위는 피한다. 미숙과일의 표피층 세포에는 tannin 함량이 대단히 높다. 적포도주의 polyphenol은 tannin인데, 적포도주의 tannin은 endotherin-1의 형성을 억제한다. Endotherin-1은 혈관을 수축시키는 기능이 있어 심장병을 일으킬 수 있기 때문에 적포도주를 먹으면 심장병 위험이 경감된다고 한다.

식품에 함유되어 있는 phenol의 이차대사물들은 대부분 우리 건강에 유익한데, 그것은 이들이 모두 강력한 항산화제이기 때문이다. 또한 산화방지물질 이외에 특정 질병에 약효가 있는 물질도 있다. 유해산소는 암, 동맥경화, 류머티즘성 관절염, 창자의 염증, 백내장 등을 유발시키는데, 항산화체는 이런 유해산소의 농도를 낮춤으로써 이런 만성적 질환을 앓지 않게 한다. 각종채소와 과일을 많이 먹으면 암, 심장병, 뇌질환, 뇌졸중, 백내장, 면역기능 장애를 경감시킬 수 있는데, 이것도 이들 식품에 항산화체가 많기 때문이다.

한때에는 식품의 항산화체하면 vitamin C, E, β carotene 등을 꼽았지만 요즘에 와서는 flavonoid의 강력한 산화 방지력에 더 주목을 하고 있다. Phenol화합물이 식물계에 널리 퍼져 있고 또 그 함량도 많기 때문에 금후 사람의 만성성인병의 예방과 치료에 중요한 역할을 할 것이다.

Vitamin C

教科書에 적힌 하루 vitamin 섭취 권장량은 그 vitamin이 부족할 때 생기는 특정 질병을 치유·예방하는 데 필요한 량이다. 가령 脚氣病을 치유하는데 vitamin B1 (thiamine)을 몇 mg, 壞血病 예방에는 vitamin C (ascorbic acid) 몇 mg을 먹으라고 되어 있는데, 이 량은 그런 질환을 예방·치료하는데 필요한 것이다. Vitamin C는 1日 65 mg 먹으라고 했는데 이것은 괴혈병 예방에 필요한 양에 불과하고 인간이 정상적 건강을 유지하는데는 엄청난 양의 vitamin C의 섭취가 필요하다. 몇 년 전 작고한 Pauling박사는 冊에는 vitamin C를 하루에 65 mg 먹으라고 했지만 사람이 건강을 유지하려면 하루 10,000 mg 이상의 vitamin C를 섭취해야 한다고 주장, 당시 학계, 사회에서 그 사람 “미쳤다”고 猛非難을 한바 있는데 그 후 그의 주장이 맞다는 것이 인정되어 北美, Europe 각국에서는 벌써 오래 전부터 vitamin C 2,000~3,000 mg 섭취가 상식화되어 있다. 우리나라에서는 최근야 겨우 대량복용을 권장하고 있는데 그것도 美容에 좋다고 선전하고 있으니 vitamin C만으로도 우리는 수십년 후진국이다.

앞에서 언급한 Pauling박사는 amino酸의 구조를 밝힘으로서 Nobel賞을 받은 저명한 生化學者인데 그는 후일 反核運動으로 Nobel平和賞도 받아, 두 부문 Nobel受賞者이기도 하다. 그는 모든 哺乳動物이 다 필요한 vitamin C를 體內에서 生合成하고 있는데 유독 人間, marmot (실험동물로 쓰는 쥐의 일종인 모르모트), fruit bat (東南亞 密林에 사는 과일만 먹는 박쥐) 3종류의 哺乳類만이 vitamin C 합성을 못하기 때문에 필요

한 vitamin C를 외부에서 섭취해야 한다는 사실에 착안, 크고 작은 동물들이 필요한 양의 vitamin C를 生合成하는 것을 조사, 體重 70 kg의 人間은 1萬餘 mg의 vitamin C를 섭취해야 한다고 계산했다. 오늘날 西歐사회에서는 vitamin C를 감기 예방, 抗癌, 免疫system 강화, 항산화작용 등의 효과를 들어 다량 복용을 권장하고 있다.

일반 교과서에는 vitamin C가 결핍되면 괴혈병에 걸린다고 써있고 의학서적에는 collagen이라는 섬유성 단백질 합성에 vitamin C가 필요하다고 써여 있지만 vitamin C의 중요한 기능은 抗酸化作用이다. 대부분의 식물이 vitamin C를 합성하고 있지만 식물에서는 vitamin C를 collagen합성에 쓰는 것이 아니다. collagen은 동물에만 있는 성분이고 식물에는 없다. 식물에 collagen이 없는데도 식물이 vitamin C를 합성한다는 것은 vitamin C가 collagen에만 필요한 것이 아니라는 것을 말해준다. 식물에서는 vitamin C가 紫外線에 의한 식물의 산화적 손상을 방어하는데 큰 역할을 한다.

Vitamin C는 항산화기능 이외에 여러 특이한 기능을 가지고 있다는 것을 실험한 사례가 있다. 가령 사람처럼 vitamin C를 生合成하지 못하고 식품으로 취하고 있는 前記 marmot는 겨울동안에 신선한 채소를 주지 않으면 2週 이내에 죽지만 이 때 vitamin C를 주면 죽지 않는다. Vitamin A나 E도 같은 항산화체이지만 이들을 가지고는 살려 내지 못한다. 신선한 채소 또는 vitamin C를 먹지 못하면 죽는다는 사실은 vitamin C에는 다른 항산화제들이 갖지 못한 vitamin C 고유의 어떤 비밀기능을 가지고 있다는 것을 뜻한다. 이 신비의 기능이 무엇인지 아직 감을 잡지 못하고 있다. 최근 세계과학계에서는 금후 生命科學 분야의 Nobel受賞감의 몇 연구 중에 vitamin C의 신비의 기능을 밝혀내는 연구가 포함되어 있다는 것을 보아도 vitamin C의 중요성을 알 수 있다.

우리가 vitamin C를 섭취하면 이것이 소화기관에서 체내로 흡수되어 세포내에서 항산화작용을 한다. 그런데 섭취한 vitamin C가 모두 체내로 흡수되는 것은 아니고 일부는 그냥 소화기관을 통과, 배설되는데 이 통과하는 vitamin C도 훌륭한 역할을 한다. *Helicobacter pylori*라는 菌은 胃안에 살면서 위궤양의 주원인이 되고 위암을 발생시키기도 하는데 vitamin C는 *H. pylori*의 발암작용을 억제한다. 또 음식물에 의해 생길 수 있는 발암물질의 발생도 막아버린다. 소장 (공장 上部)에서 흡수되지 않는 vitamin C는 소화관을 통과해 내려가면서 사람에게 有用한 장내 미생물의 증식을 돕는다. 이런 관계로 vitamin C 錠劑를 다량 오래 복용한 사람의 대변에서는 악취가 사라지고 gas의 냄새도 없어지는데, 이런 현상은 건강과 미용에도 유익하다. Vitamin A나 E도 vitamin C와 같이 항산화기능을 가지고 있지만 vitamin C처럼 소화기관을 깨끗이 해 주는 능력은 vitamin A나 E에는 없다.

“Stress”는 우리 몸을 “변형시키는 힘”이다. stress에 대해 적절한 대응을 하지 못하면 우리 몸은 질병에 걸리기 쉬운 상태에 놓이게 된다. “속이 탄다”는 말은 stress에 의해 우리 몸에

변화가 생기는 상태를 실감나게 표현한 말인데, stress를 받으면 우리 몸은 교감신경의 지배하에 들어가고 유해산소의 발생이 많아진다. Stress에 의해 건강이 나빠지는 것은 집중적으로 발생하는 이 유해산소 때문이다.

Stress에는 정신적인 것도 있지만 육체적인 것도 있다. 감기에 걸린다거나 담배를 피우면 우리 몸은 육체적 stress를 받는다. 정신적 stress시에는 血中 vitamin C의 농도가 低下되는데 몸살이 오고 담배를 피울 때에도 vitamin C가 급격히 감소된다. Stress를 받았을 때 발생하는 유해산소의 해를 막기 위해 vitamin C가 소모되기 때문이다. Vitamin C는 우리의 免疫기능을 강화한다고 볼 수 있다. 정신적, 육체적 stress를 많이 받는 현대인에게는 많은 量의 vitamin C 섭취가 필요하다.

우리는 당뇨병을 관리하기 위해 흔히 炭水化合物, 蛋白質 섭취를 어떻게 조절해야 한다는 등 주로 macronutrient에만 관심을 기울여 왔다. 그런데 근래에는 당뇨병과 그 합병증 예방에 vitamin과 mineral 등 micronutrient가 중요하다는 사실이 알려지면서 당뇨병 관리에 새로운 전기를 맞이하게 되었다. 당뇨병은 병 그 자체보다도 눈, 신경, 콩팥, 심장 등 몸 구석구석에서 발생하는 합병증이 문제이다. 특히 관상동맥 질환 같은 血管系의 합병증은 당뇨병환자 사망의 주원인이 되고 있다. 당뇨병과 그 합병증 발생에 유해산소가 관여하는데 유해산소에 의해 mitochondria DNA가 손상되고 細胞內壞血病 (intracellular scurvy)이 유발되면서 합병증이 생기는데, 이 유해산소의 작용을 억제하는데 항산화작용이 있는 vitamin이 필요하다.

Vitamin C나 E 같은 것은 세포內 산화방어에 중요한 역할을 하는데, 건강한 사람들에 대해서는 충분한 vitamin C일지라도 전체적 항산화력이 低下되어 있는 당뇨병환자에게는 부족하다. 당뇨병으로 진단 받으면 가능한 한 빨리 그리고 평생 vitamin C를 많이 복용하도록 해야 한다. Vitamin C는 水溶性이고 과다복용해도 별로 해가 없지만 필요량을 결정할 때에는 주치의와 상의를 해야 한다. 당뇨병 합병증예방에 vitamin C이 외에 vitamin E (tocopherol)도 특효가 있는 것으로 알려져 있다. Vitamin E 단독 또는 C, E를 併用하면 동맥경화증 기타 血管系질환, 백내장, 망막증 등 당뇨병 합병증을 예방할 수 있다.

Hormesis의 概念

채소와 과일을 많이 먹으면 암에 걸릴 위험이 반으로 줄어드는데 그 외에도 심장·혈관계 질환, 백내장, 뇌질환을 예방하는 효과가 있다. 과일 채소류에 함유되어 있는 건강유효성분을 증강시키기 위해 또는 건강에 해로운 성분의 양을 줄이려고 형질전환 육종기술을 시도할 때에는 이런 미량성분이 사람건강에 끼치는 영향에 대한 연구가 선행되어야 한다. 그 이유는 이들 성분의 대부분이 섭취하는 dose 여하에 따라 이로울 수도, 해로울 수도 있기 때문이다. 즉, paradoxical (hormetic) effect가 있다는 것이다.

채소와 과일은 곤충을 비롯한 여러 동물에 먹히지 않기 위

해, 각종 병균에 대항하기 위해 각각 고유의 이차산물을 만드는데, 이런 이차대사산물 중에는 발암물질도 많다. 그런데 발암물질이라고 판명된 것도 그 섭취량을 줄이면 오히려 인간 건강에 유리하게 작용하는 수가 있다. 가령 비소 (arsenic)나 cadmium은 모두 강력 발암물질이고 토양, 먹는물, 강물, 식물체 등 어디에나 있다. 그런데 이 유독물질이라도 소량을 사용하면 우리 인간에 오히려 유용한 물질이 된다. 비소를 소량 쓰면 백혈병 치료약으로 둔갑되고, cadmium도 소량을 쓰면 오히려 암발생을 억제한다.

Hormesis 라는 것은 예기치 않았던 역설적 (逆說的)인 효과라는 뜻인데, 가령 유독성 화학물질이나 방사능 등은 우리 몸에 심한 해를 끼치지만 이것의 소량 (low dose)은 우리건강에 오히려 유익하게 작용한다는 현상에 대한 말이다. 우리말에도 “많이 먹으면 독이 되고 조금 먹으면 약이 된다”라는 것이 있는데 이것이 hormesis이다. 식물은 수 없이 많은 이차대사산물을 만들어 내는데 이들의 대부분이 고농도에서는 우리 몸에 유해작용을 하지만 저농도에서는 성장·생식·수명 등에 유익하고 면역력을 강화시켜 준다. Hormesis는 항상성 (恒常性, homeostasis)이 교란되었을 때 이를 과잉 보상하기 위해 생긴다고 보고 있다.

유기농산물

이 기회에 유기 농업에 대해서 생각해 보기로 한다. 모든 식물은 외적(外敵)에서 자기를 방어하기 위해 체내에서 살충제·살균제 등 다양한 자기 보호 화학물질을 만들어 내고 있는데, 이런 물질들은 해충을 비롯한 각종 동물, 세균·공팡이에 대해 유독 작용을 할 뿐 아니라 인간에게도 독이 되고 각종 allergy 유기원으로 작용한다. 즉, 지구상의 모든 식물은 사람에게 해롭고 allergy를 유발시키는 물질을 가지고 있는데, 인간은 유전자 돌연변이가 생기면서 이런 유해물질이나 allergen을 중화, 무력화시키면서 진화해 왔다. 그러나 사람에 따라, 인종 (人種)에 따라 자기 이런 유독 물질에 대한 반응이 다른 것은 물론이다.

오늘날의 일반농업에서는 유기질 비료대신에 막대한 양의 화학비료를 사용하고 살충제·살균제 등 다량의 농약을 쓰기 때문에 유기농법 유기농산물이 각광을 받고 있다. 그런데 유기농산물은 유독 성분이 없는 깨끗한 농산물로 생각하고 있지만 이런 농산물은 그것이 채소이건 과일이건 모두 천연의 살충·살균물질은 가지고 있다. 또한 유기농법이 아닌 일반농법 (conventional farming)에서 사용한 각종 농약의 잔류 성분은 그 양이 근소해서 우리 건강에 악영향을 끼치지 않는다. 일반재배농업으로 생산된 농산물은 천연합성과 인공합성의 2중의 살충·살균성분을 가지고 있는 셈인데, hormetic effect 때문에 일반재배의 채소·과일이 유기농산물보다 암의 위험이 더 적고 유기농산물보다 더 건강에 유익하다는 실험결과도 있다. 생산이 까다롭고 여러 가지 어려움과 모순을 수반한

유기농법을 고집하는 것보다는 일반 재배한 채소·과일을 많이 먹고 균형 있는 식사를 하는 것이 건강을 위해서는 더 유리하다고 주장하는 사람들이 점점 늘고 있다.

營養素 변천에 대한 結論

3대 macronutrient가 인간의 영양소의 전부라고 알던 초창기 시대, 그 후 vitamin과 mineral 등 미량영양소가 질병의 예방과 치료에, 인간의 건강유지에, 필수라는 것을 인식하게 된 시대가 왔다. 즉 calorie 식품시대에서 non-caloric 식품시대로 변했다. 비만이 문제되면서 calorie 식품에서 지방과 탄수화물의 감량이 건강에 절실히 필요하다는 시대를 거쳤다. 근래에 와서는 생활습관, 식습관의 변화에다가 환경의 악화, 심한 stress 등으로 우리체내에 생기는 엄청나게 많은 유해산소의 억제, 무력화가 문제되면서 antioxidant 전성시대가 도래되었다. 암·심장혈관계 질환 등 만성질환의 예방·치료에 식물들이 가지고 있는 phytochemical이 중요한 역할을 한다는 것이 알려지면서 인간의 영양, 건강, 질병의 예방·치료에 항산화체와 더불어 phytochemical이 각광을 받게 되었다.

13종류의 vitamin, 17종류의 mineral과 antioxidant, phytochemical은 모두 식물성 식품에서 섭취가 가능하다. 우유·계란·육류 위주의 식습관에서 다양한 채소와 각종과일을 많이 먹어야 된다는 변혁이 일어나고 있다. 오늘날 이상적인 식품은 탄수화물·지방등 calorie식품의 감량, 양질의 단백질 그리고 다양한 종류, 다양한 빛깔의 채소와 과일이라고 할 수 있다. 양질의 단백질이란 필수 아미노산이 풍부한 우유 및 유제품, 계란, 육류 등인데, 이런 좋은 단백질원 식품에는 포화지방과 LDL cholesterol이 대량 혼재해 있어 만성질환에 시달리고 있는 성인들은 주치의와 상의해서 섭취해야 할 것이다.

고등식물의 종자에는 triple fusion에 의해 생긴 배유핵이 분열해서 거대한 저장기관인 배유를 만들고 대신 배(胚)는 빈약하고 왜소한 것이 있는데, 우리의 화분과 주곡작물인 벼, 밀, 보리, 옥수수 종자가 여기에 속한다. 여기에 반해서 수정관이 배발생을 하면서 배유의 유리핵, 배유조직을 소화 흡수해서 배만 있고 배유가 없는 무배유종자(exalbuminous seed)가 있는데, 여기에 속하는 것으로는 대두를 비롯한 콩과식물, 박과, 가지과, 십자화과의 종자들, 매실·살구·자두등 핵과(drupe, stone fruit)의 종자, 사과·배등 이과(梨果, pome) 과일의 씨, 밤·호두·개암·아몬드(almond) 등 견과류(nut)의 종자 등이 있다.

배유는 거의 전분질이고 단백질, 지방, 각종 vitamin, mineral 등 영양분은 모두 배에 존재한다. 우리의 주곡인 벼, 밀, 보리는 배가 극히 작아서 영양소의 함량도 보잘 것이 없거니와 그것도 정백(精白)과정에서 과피(果皮), 종피와 같이 떨어져나가 겨(bran)로 되기 때문에 쌀, 밀가루를 먹는다는 것은 전분질만 먹는다는 것을 뜻한다. 옛날에는 인간이 살아가는 데 막대한 energy가 필요해서 calorie 식품인 배유를 먹었지만 현대

인에게는 배유가 무서운 비만을 가져오기 때문에 우리 주곡 식물은 실은 별로 좋은 식품이 못 된다. 여기에 반해서 콩 및 콩과식물, 밤, 호두, almond, 참깨, 호박씨 등 배로된 종자는 단백질, 지방, 각종 vitamin과 mineral이 풍부해서 영양소의 보고라고 할 수 있다. 우리 주식인 배유종자에서 배종자로 점차 전환되는 것이 바람직하다.

植物育種의 推移

20세기 초부터 시작한 유전학에 기초한 현행 육종의 주목표는 종자수량의 증수와 생산성의 개량이었다. 생명을 유지하는 데나, 생활습관상으로는 막대한 energy가 필요한 시대여서 육종 target가 macronutrient가 풍부한 calorie식품이었다. Vitamin, mineral등의 함량의 증가나 secondary metabolite가 어떠한 문제는 관심도 없었고 설사 관심이 있다 해도 그 당시의 빈약한 기본지식과 기술로는 그런 성분의 개량이란 상상도 할 수 없었다.

오늘날은 영양소에 대한 관심이 calorie식품인 단백질·지방·탄수화물 등 macronutrient에서 vitamin, mineral, antioxidant, phytochemical 등 micronutrient 쪽으로 기울고, 농작물을 재배한다는 것이 식량이나 섬유를 얻기 위한 것이 아니라 건강을 얻기 위한 것으로 바뀌고 있어, 품종개량이나 transgene 관계 생명공학 개념도 calorie가 아닌 micronutrient의 증수와 개량 쪽으로 바뀌고 있다.

지난 10년간 genomics 시대의 도래, 유용유전자를 식물의 종, 과(科)의 장벽을 넘어서 구득할 수 있을 뿐 아니라 동식물, 미생물의 것도 이용할 수 있게 한 생명공학기술의 발전, 식물 secondary metabolite에 관한 기본지식의 축적 등으로 인해 농작물의 미량영양소의 개량이 꿈이 아닌 실현가능한 시대가 되고 있다. 식물의 secondary metabolism에 대한 연구와 pathway를 조작하는 기술이 개발되고, target compound를 합성하고 축적하는 데 관여하는 유전자를 identify하고 분리해 내면 농작물의 micronutrient의 개량이 이루어질 수 있다. 단백질·지방·탄수화물 등과 달라서 미량영양소는 식물조직 건물중(乾物重)의 0.1%도 안 되기 때문에 이론상으로는 개량이 쉽다고 생각된다.

미량영양소 관련 육종의 최대과제는 암, 심장·혈관질환, 당뇨병등 만성질환의 억제일 것이다. 그런데 식품의 어떤 성분을 향상시켰다 해서 육종목표가 달성되었다고 생각하는 것은 위험하다. 식물의 이차대사산물은 대부분 hormetic(paradoxical) effect가 있기 때문에 생명공학자들이 식품조성분을 개량하기 위해 유전자 재조합을 하기 전에 식품학자들에 의한 그 성분의 hormetic dose-response가 충분히 검토되어야 한다.

근래 metabolic engineering, biochemical genomics, molecular characterization 등의 발전이 dramatic 한데, 금후 계속 식물생화학, 인체생리학, 식품화학 등 기초지식의 축적이 필요할 것

이다. 미량영양소의 개량에는 식물생명공학분야, 인체영양학, 식품화학, 고전 현행육종학분야 등 다방면의 전문가들의 협동이 요구된다.

유전자 再組합에 있어서의 문제점

세포분열이 생장점 분열조직에서 이루어질 때는 meristem 조직이 생체내의 organized tissue이기 때문에 세포 이상분열이 드물고 설사 분열이상으로 변이세포가 생긴다 해도 옆의 정상세포와의 경합에서 저서 도태되기 때문에 분열조직은 항상 정상세포로 구성되어 있다. 예외는 배수성세포인데 정수 배수 체세포는 옆의 정상 2배체세포와 기능에서 별 차이가 없어 공존하던가 정상세포를 밀어내고 replace되는 수도 있다.

Callus 조직의 세포나 배양세포의 경우는 ① 생체가 아니고 배지라는 환경, ② 세포가 unorganized tissue인 callus 덩어리에서 분열한다는 조건, ③ 세포의 축이 불분명하고 분열축에 disorder가 생긴다는 이유, ④ in vivo 상태에서는 이상세포의 증식이 정상세포보다 느려서 경합에서 지기 때문에 이상세포가 생긴다해도 증식에서 도태되는 수가 많지만 callus 세포가 배지내에서 증식할 때에는 unorganized tissue이기 때문에 옆의 세포와 경합하는 일이 없어 이상세포는 계속분열, population에서 도태되는 일이 없다는 이유, ⑤ callus 덩어리나 배양세포는 생체가 아닌데다 배지내라는 비 정상환경이기 때문에 핵분열이상, 세포질분열이상이 자주 생긴다는 이유 등 때문에 배양 세포나 callus cell에서 생긴 regenerant는 염색체의 수, 구조이상체가 엄청나게 많다. 염색체 구조이상을 확인하려면 시간이 걸리고 쉽지도 않아 연구보고가 그리 많지 않지만 염색체 수의 이상은 조사가 대단히 쉬워서 보고가 많았는데, 이런 염색체 변이를 clonal variation이라고 했다.

이상은 염색체이상이라는 macrovariation에 관한 것이지만, 조직배양에서 얻은 callus cell이나 배양세포는 in vitro culture라는 특이 환경 때문에 反復 DNA의 無定向의 증가, transposable element의 activation 등에 의한 microvariation이 심해서 배양세포들은 상호간에도 genome에 차이가 생기고 母本의 genome 과도 달라진다. 또 반복 DNA, transposable element가 어디에 삽입되는지에 따라서, 특정유전자의 methylation에 의한 silencing, reactivation 등이 생길 수도 있다. 즉, callus cell이나 배양 세포는 genome을 한바탕 휘저어 놓은 것과 같아서 genome에 큰 변혁이 일어나고 모본과도 다르고 세포상호간에도 다른 변질된 genome을 갖게 되고 이것이 再分化된 식물체의 phenotype에도 영향을 미칠 것이다.

Transgene 역시 host genome에 random하게 insert 됨으로써 기존유전자를 손상할 확률이 있다. 또한 여러 copy가 들어감으로써 gene silencing effect를 증가할 수도 있기에 transgene effect를 반드시 확인하여야 한다. 따라서 co-culture의 재료로 사용한 host의 callus집단이 복잡한 변이를 내포하고 있는 데다 trans-

gene의 host genome insertion 과정에서 생기는 유전적 변화까지 겹쳐, co-culture는 엄청난 변이를 내포하고 있다고 할 수 있다. Inbred line의 안정된 genome에 유전자 하나를 삽입하고, selfing 해서 homo transgene의 inbred cell을 쉽게 얻을 수 있다는 식의 간단한 것은 아니다.

Nutrient의 성분을 인위적으로 재구성하여 고부가가치 GM 작물을 육성할 경우 다음 과정을 고찰하여야 한다. ① 우선 형질전환 T0 작물을 많이 만들어야 한다. 위의 여러 변이 범위를 피할 수 있기 위해서는 배양 origin이 다른 T0 형질전환체가 많을수록 형태적인 selection이 용이해진다. 극소수의 형질전환체를 가지고 작물을 개발하는 발상은 버려야 한다. ② 원하는 형질의 특성을 T1 세대에서부터 분석하여 일반 inbred line과 동일하면서 원하는 형질만 부가적으로 나타나는 것을 선발한다. ③ Hormetic (paradoxical) effect를 비교 분석하여 우수한 transformant를 selection한다. ④ Southern blot을 이용하여 가능하면 삽입유전자가 one copy가 들어 있는 T0를 선택하는 것이 gene silencing을 피할 수 있다. ⑤ GM 작물의 육종도 일반 작물 육종과 같이 많은 선발과정이 필요한 만큼 적절한 결과를 얻기 위해서는 장기간의 육종 계획을 세워야 한다. ⑥ 형질전환이 변이체 발생을 유도하는 또 하나의 유전자 source가 될 수 있기 때문에 형질전환체를 다루는 육종학자들의 면밀한 관찰력이 요구된다.

육종은 변이를 바탕으로 하고 있다. 현행의 전통육종은 감수분열과 수정에 의한 천연의 변이를 재료로 했다. 분자육종은 배양세포기술과 DNA 재조합 기술에 부수되는 人爲變異 집단에서 원하는 transgene cell line을 선발하는 셈이다. 향후 육종은 이 두 가지의 육종방법을 합쳐서 synergy 효과를 창출해야 한다.

인용문헌

- Ames BN, Gold LS (2000) Palacelsus to parascience: the environmental cancer distraction. *Mutat Res* 447: 3-13
- Ames BN (2001) DNA damage from micronutrient deficiencies is likely to be a major cause of cancer. *Mutat Res* 475: 7-20
- Baker BP, Benbrook CM, Groth E, Benbrook KL (2002) Pesticide residues in conventional, integrated pest management(IPM)-grown and organic foods: insight from three US data sets. *Food Addit Contam* 19: 427-446
- Calabrese EJ, Baldwin LA (2001) Hormesis: a generalizable and unifying hypothesis. *Crit Rev Toxicol* 31: 353-424
- Calabrese EJ, Baldwin LA (2001) U-shaped dose-response in biology, toxicology and public health. *Annu Rev Publ Health* 22: 15-33
- Calabrese EJ, Baldwin LA (2002) Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. *Trends Pharmacol Sci* 23: 331-337

- Dale PJ, Clarke B, Fontes EMG (2002) Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nat Biotechnol* 20: 567-574
- DellaPenna D (1999) Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. *Science* 285: 375-379
- Ellis DR, Salt DE (2003) Plant, selenium and human health. *Curr Opin Plant Biol* 6: 273-279
- Hollick CN, Michaud DS, Stolzenberg-Slomon R, Mayne ST, Pietinen P, Taylor PR, Virtamo J, Albanes D (2002) Dietary carotenoids, selenium, β -carotene, and retinol and risk of lung cancer in the α -tocopherol, β -carotene cohort study. *Am J Epidemiol* 156: 536-547
- Minorsky PV, Ferry D (2002) The hot and the classic. *Plant Physiol* 130: 1077-1078
- Mithen RF, Dekker M, Verkerk R, Rabot S, Johnson CT (2000) The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. *J Sci Food Agric* 80: 967-984
- Mittler R (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Toler* 7: 405-410
- Parr AJ, Bolwell GP (2000) Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *J Sci Agric* 80: 985-1012
- Podmore ID, Griffiths HR, Herbert KE, Mistry N, Mistry P, Lunec J (1998) Vitamin exhibits pro-oxidant properties. *Nature* 392: 559
- Raskin I, Ribnicky DM, Komamytsky S, Ilic N, Poulev A, Borisjuk N, Brinker A, Moreno DA, Ripoll C, Yakoby N, O'Neal JM, Comwell T, Pastor I, Frlender B (2002) Plants and human health in the twenty-first century. *Trends Biotechnol* 20: 522-531
- Trewavas A (2001) Urban myths of organic farming. *Nature* 410: 409-410
- Trewavas A, Stewart D (2003) Paradoxical effects of chemicals in the diet on health. *Curr Opin Plant Biol* 6: 185-190
- Wilkinson MJ, Sweet J, Poppy GM (2003) Risk assessment of GM plants: avoiding gridlock. *Trends Plant Sci* 8: 208-211

(접수일자 2003년 11월 1일, 수리일자 2003년 11월 24일)