

유지식품의 조리 중 기능성 변화

최 은 옥

(인하대학교)

식품기술이 발전하고 국민 소득 수준이 향상됨에 따라 영양 과잉과 서구화된 식생활에 의해 고혈압, 심장질환, 당뇨, 비만 등의 생활 습관병이 증가하고 있으며 이에 따라 개인과 사회의 건강에 대한 관심 및 비용이 크게 증가하고 있다. 따라서 건강과 체중 감소를 지향하는 기능성 식품산업은 전세계적으로 가장 빠르게 성장하고 있으며, 이에 맞추어 유지 분야에도 변화가 감지되고 있다. 유지관련 식품시장에는 fat-free foods, low-fat foods, full-fat foods 등 다양한 유지관련 식품들이 있으며, 89개의 식품군에 대한 2004년도 판매에 대한 ACNielsen 분석에 의하면 소비자들은 비싸더라도 건강지향적인 기름(healthier and more-expensive cooking oil)을 선호하고 있다 (Sloan 2005). 건강 기능성 성분을 함유한 건강 식이(healthy diet)에는 다른 영양소와 함께 지방이 포함되는 것이 당연하지만 그렇다고 해서 식사 목표가 high-fat diet이 될 수는 없으며 지방의 섭취 또한 다른 영양소와 마찬가지로 제한되어야 한다. 지방의 식품과 신체에서의 기능성과 역할에 대한 연구들이 많이 발표되고 있으며, 유지 식품과 관련된 기능성 성분에는 n-3 및 n-6 지방산(Jacobsen and others 2004, Gebauer and others 2005, Sinclair and

Table 1. Functional components found in lipid foods

	Suggested Functions
n-3 fatty acids	<ul style="list-style-type: none"> - reduce the risk of coronary heart disease(CHD) and CVD(cardiovascular disease) via antiarrhythmic effects, decreased platelet aggregation, and decreased triacylglycerol levels - reduce hypertension - reduce the symptoms of rheumatoid arthritis - important role in the brain, retina, and nervous tissue - protective effect on ulcerative colitis
n-6 fatty acid	<ul style="list-style-type: none"> - Total and low density lipoprotein(LDL) cholesterol-lowering effect
gamma linolenic acid (GLA)	<ul style="list-style-type: none"> - correct the symptoms of essential fatty acid deficiency - reduce the risk of heart attack - anti-inflammatory and immunomodulatory actions (reduce the risk of rheumatoid arthritis/ acute respiratory distress syndrome(ARDS) - anticancer - help prevent/ treat atopic dermatitis - reduce the risk of diabetes
conjugated linoleic acid (CLA)	<ul style="list-style-type: none"> - weight loss(decrease in body fat, body weight, and body mass index) - anticarcinogenic, antiatherogenic, antidiabetic, antithrombic effects
diacylglycerols(DAG)	<ul style="list-style-type: none"> - reduce body weight and body fat - antiobesity effects
phospholipids	<ul style="list-style-type: none"> - reduce the risk of cognitive dysfunction in the elderly
phytosterols	<ul style="list-style-type: none"> - antioxidants and antipolymerization activity - inhibit absorption of cholesterol(reduce the risk of CHD) - anticancer activity(breast, colon, and prostate cancer)
tocopherols and tocotrienols	<ul style="list-style-type: none"> - antioxidants - vitamin E activity
phenolic compounds	<ul style="list-style-type: none"> - antioxidants - phytoestrogen - reduce the risk of cardiovascular disease - anticancer - prevent hypertension and dementia - enhancing cognition - reduce wrinkle formation
carotenoids	<ul style="list-style-type: none"> - antioxidants - anticarcinogenic

others 2005), gamma linolenic acid(GLA; Kapoor 2005), conjugated linoleic acid(CLA; O'Shea and others 2005), diacylglycerols(DAG; Matsuo 2005), 인지질, phytosterol(Moreau 2005, Salo and others 2005), tocopherol, phenol 화합물, carotenoids 등이 있다(Table 1). 이들 기능성 성분은 식품의 조리 가공 중 환경 요인에 의하여 물리, 화학적 변화를 받아 그 기능성을 상실하거나 때로는 함량이 증가하는 등 지질 성분의 기능성에 영향을 주게 된다. 본고는 조리에 따른 지질 성분의 기능성 변화를 기능성분의 화학적 변화를 중심으로 다루고자 한다.

1. n-3와 n-6 지방산

대표적인 기능성 지방산으로는 n-3 지방산인 linolenic acid(Ln), eicosapentaenoic acid(EPA), docosahexaenoic acid(DHA)와 n-6 지방산인 linoleic acid(Lo)와 arachidonic acid(An)가 있다. 이들은 구조 중에 이중결합을 2개 이상 가진 고도불포화 지방산(polyunsaturated fatty acids; PUFA)으로 단일 system에서 산소에 의해 쉽게 산화되어 기능성을 상실한다. 그러나 실제 식품 system에서는 단일 system에 비해 가공이나 조리 중 이들 지방산 변화가 크지 않고 산화형태 또한 지방산의 종류에 따라 다른 것으로 보고되었다.

식용유지는 필수지방산인 Lo와 Ln을 공급하는 중요한 식품으로, 제조공정이나 단순한 가열 혹은 다른 식품의 조리에서 사용될 때 이들 기능성 지방산을 포함하여 지방산의 변화를 보인다. 참깨를 microwave oven(2,450 MHz)에서 roasting 한 후 추출한 참기름과 unroasted 참깨에서 추출한 참기름은 모두 43.8-48.6% 정도의 Lo를 함유하고, 지방산 조성에 유의한 차이를 보이지 않았으나($p>0.05$; Yoshida and others 1995), 볶은 참기름을 acid clay로 탈색한 경우에는 Lo가 증가하는 경향을 보였다(Kim and Choe 2005). 볶은 참기름을 180°C에서 40시간동안 가열할 때 Lo가 42%에서 37%로 감소하는 등 지방산 조성이 변화하였다(Kim and Choe 2004). 또한 대두유, 우지, 팥유를 사용하여 중숙면을 150°C에서 30분 간격으로 24시간동안 튀길때에도 Ln과 Lo가 유의적으로 감소하였는데, 대두유에서는 8.1%에서 5.0%로, 우지에서는 4.9%에서 3.5%로 Ln이 감소하였고, 팥유에서는 16.0%에서 8.3%로 Lo가 감소하였다(Choe and Lee 1998). 이것은 기름을 가열하는 중 지방산의 산화로 야기된 결과로 유지의 가열은 기능성 지방산의 손실 뿐 아니라 지방 산화 생성물의 분해 및 중합에 의한 유지 품질의 저하를 초래한다. 올리브유를 2,450 MHz의 microwave로 10분간 가열한 경우 Lo와 Ln은 별다른 변화를 보이지 않았다(Cossignani and others 1998).

한편, 주된 성분은 아니지만 식품에 첨가되거나 혹은 자연적으로 함유되어 있는 지질을 구성하고 있는 지방산도 식품의 조리 과정 중 변화를 일으키기도 한다. 올리브유, 해바라기유, 땅콩유를 첨가한 dough를 2,450 MHz의 microwave로 15분간 조리한 경우가 230°C conventional oven에서 45분간 조리하였을 때보다 조리된 dough의 PUFA 함량이 유의적으로 낮아 밀가루 반죽을 microwave oven을 이용하여 조리할 때 기능성 지방산 손실이 많은 것으로 나타났다(Caponio and others 2003).

육류는 부위에 따라 다르지만 지방을 함유한 식품으로 육류 지질을 구성하고 있는 지방산 역시 조리 중 약간의 변화를 받는 것으로 보고되었다. 소고기와 닭고기로 만든 patty를 microwave로 3분간 조리하거나 또는 올리브유를 사용하여 180°C에서 3분간 pan-frying하였을 때, 지방산 조성이 약간 변하였다(Echarte and others 2003). Pan-frying한 닭고기 patty의 oleic acid와 EPA 함량은 증가하고 DHA와 Lo는 감소하였다. 그러나 microwave oven으로 조리한 닭고기 patty는 Lo, Ln, DHA 함량의 감소를 보였으며, oleic acid와 EPA함량에는 변화가 없었다. 소고기 patty는 microwave oven으로 조리하였을 때 n-6/n-3 지방산 비율을 변화시키지 못하였으나, pan-frying하였을 때는 이 비율이 유의적으로 감소하였다.

양고기는 2,450 MHz의 microwave로 21분간 또는 200°C의 전기 grill에서 14분간 조리되는 동안 소고기에서와 마찬가지로 An과 Ln, DHA 함량의 감소를 나타냈다(Maranesi and others 2005).

생선 역시 비교적 많은 양의 지질을 함유한 식품이지만 육류와는 달리 Lo, Ln 외에도 EPA, DHA 등의 기능성 지방산을 공급할 수 있는 좋은 식품으로 이들 지방산의 높은 불포화도로 인하여 조리 중 변화를 받을 가능성이 큰 것으로 기대되지만 실제 여러 연구에 의하면 그 영향은 기대에 미치지 못한다. 연어를 찌거나(steaming), 기름을 두르지 않고 pan-frying하거나, 올리브유, 옥수수유, 부분 경화유(partially hydrogenated vegetable oil)를 두르고 pan-frying하여 지질 quality를 살펴본 Al-Saghir 등의 연구(2004)에 의하면 EPA, DHA, Lo와 Ln은 조리에 의해서 별다른 변화를 보이지 않았다. 특히 찌거나 기름을 두르지 않고 pan-frying한 연어는 raw salmon과 차이를 거의 보이지 않았다. 기름을 두르고 pan-frying 한 연어는 기름의 종류에 따라 이들 지방산 함량 변화가 달라서, olive 유를 사용한 경우 oleic acid가, 옥수수유를 사용한 경우 Lo 함량이 다소 증가하였다. 그러나 이러한 지방산 조성의 변화는 조리과정에 따른 생선지질의 산화에 의한 결과가 아닌, 사용한 기름이 연어에 전이된 결과로 해석되었다.

연어를 180°C 올리브유 또는 대두유에서 4분간 pan-frying했을 때 조리된 연어의 EPA 함량은 감소한 반면 An과 Lo는 증가하였다. 그러나 DHA의 함량은 연어의 pan-frying 전후에 유의한 차이를 보이지 않았다. 연어를 olive유를 두르고 200°C oven에서 30분간 roasting한 경우에도 pan-frying과 비슷한 경향이 관찰되었으나 변화폭이 더 크게 나타났으며 DHA는 pan-fried salmon과 다르게 유의적으로 증가하였다(Echarte and others 2001).

정어리를 올리브유에서 4분간 pan-frying하거나, pan-frying후 -20°C에서 4개월간 냉동한 후 다시 70°C conventional oven에서 19분간 재가열하거나, 또는 pan-frying후 -20°C에서 4개월간 냉동한 후 다시 2,450 MHz의 microwave oven에서 6분간 재가열하여 지방산 조성을 비교한 연구는 조리후 냉동시킨 정어리의 재가열방법에 따라 지방산이 선택적으로 소비되고 있음을 보여주었다(Castrillon and others 1997). Pan-frying한 정어리는 frying 후 냉동하여 재가열한 정어리에 비하여 Lo를 제외하고는 PUFA, 특히 EPA와 DHA 함량이 감소하였으며 conventional oven보다 microwave oven을 사용하여 재가열한 경우 감소폭이 컸다.

정어리에서 껍질, 내장, 비늘 등을 제거한 후 뜯은 fillet의 경우에도 비슷한 경향이 관찰되었는데, 정어리 fillet을 180°C olive 유에서 4분간 pan-frying하거나 oven에서 굽거나 혹은 grilling하였을 때 정어리 fillet의 Lo, Ln, EPA, DHA 함량이 감소하였다(Garcia-Arias and others 2003). 특히 olive 유에서 pan-frying한 정어리 fillet에서 oleic acid 함량이 크게 증가하는 등 지방산 조성변화가 컸는데 이것은 가열 방법에 의한 정어리 지질 변화가 아니라 지방 함량이 높은 생선에서 흔히 나타나는 frying유와 생선사이의 지질 교환(fat exchange) 때문인 것으로 설명하였다. 조리된 정어리 fillet을 냉동한 후 conventional oven과 microwave oven으로 재가열했을 때 냉동 전과는 달리 조리시 oven에서 구운 정어리 fillet과 grilling을 한 정어리 fillet에서 위의 기능성 지방산 함량이 유의하게 달라서 microwave oven으로 재가열한 fillet의 조리 방법이 oven-baking인 경우가 grilling인 경우에 비해 기능성 지방산 함량이 높았다. 그러나 conventional oven으로 재가열한 경우에는 반대 현상이 관찰되었다. 이것은 조리방법과 재가열 방법이 정어리 fillet에 존재하는 기능성 지방산의 안정성에 영향을 주고 있음을 암시하는 것이며, 또한 조리방법과 재가열 방법은 상호적으로 작용하고 있었다. 또한 조리하지 않고 열린 정어리를 microwave oven으로 해동시키는 경우 conventional oven을 사용하는 것에 비해 지방산 조성 변화가 컸다(Garcia-Arias and others 2002).

채소는 지질을 많이 함유하고 있지는 않지만 Lo, Ln과 같은 필수지방산 함량이 비교적 높아 영양적으로는 우수한 식품이다 시금치는 건물 증량으로 5% 정도의 지질을 함유하고 있으며 이 중 65% 정도가 Lo와 Ln이다. 시금치의 지방산 조성은 2분 또는 20분동안 blanching하거나 5분간 steaming하는 경우에도 별다른 변화를 보이지 않아 (Choe and others 2001) 일상적인 가열 조리는 시금치의 지방산 조성에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 이상과 같이 Lo, Ln, EPA, DHA 등 식품에 존재하는 n-3, n-6 등의 기능성 지방산은 조리 과정 중 산화에 의해 함량이 줄어들지만 계속적으로 사용하는 튀김유 등을 제외한 일상적인 조리 과정에서는 조리시간이 짧아 큰 손실은 없는 것으로 보인다.

2. Conjugated linoleic acid (CLA)

CLA는 Lo의 위치, 기하이성체들로 식품에는 대부분 cis-9, trans-11(9c, 11t) 이성체가 많고(10t, 12c) 이성체도 생물학적 활성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Martin and Valcille 2002). Lo로부터 CLA가 생성되는 기전은 free radical 연쇄반응 기전과 intramolecular [1,3]-sigmatropic rearrangement로 설명된다(Destaillates and Angers 2005). 이때 1차 생성물은 trans, trans 형태이며 이들이 200°C의 고온에서 분자내 재배열을 통해 (9c, 11t), (9t, 11c), (10t, 12c)의 이성체들을 생성하고 이들은 다시 [1,5]-sigmatropic rearrangement에 의해 (8t, 10c), (10c, 12t), (11c, 13t) 등의 다양한 CLA를 생성한다.

Ha 등(1989)은 원유 (raw milk)에 함유된 CLA 함량을 조사하였는데 pasteurization에 의해 CLA양은 34.0 ppm에서 28.3 ppm으로 감소하였다(Ha and others 1989). 우유뿐 아니라 우유 가공품에서 CLA가 발견되는데 서로 다른 종류의 cheddar cheese들은 근소하긴 하지만 CLA 함량이 달랐으나(Lin and others 1999), Jiang 등(1997)은 여러 종류의 경질 치즈에서 CLA 함량이 유의하게 다르지 않음을 보고하였다. Gnadig 등(2004)은 원유와 가열유로 제조한 숙성 치즈의 CLA 함량이 각각 8.6 ± 1.6 , 8.4 ± 1.5 mg/g fat으로 유의한 차이를 찾지 못하였고, 치즈 제조시 curd의 cooking 온도와 molding 온도는 치즈의 CLA 함량에 유의한 영향을 주지 않음을 보고하였다($p > 0.05$). 이와 같이 발효, 숙성온도, 가열처리 등 제조공정이 다른 유제품에 함유된 CLA에 대해서는 아직도 상반된 결과가 보고되고 있다. 한편, 제조에 사용한 starter의 종류는 치즈의 CLA 조성에 유의적인 차이를 줄 가능성도 제기되었다(Gnadig and others 2004).

Shantha 등은(1994) 소고기를 다양한 방법으로 조리한 후 CLA 함량의 변화를 살펴보았는데, broil한 beef steak는 raw meat($5.8 \sim 6.8$ mg/g fat)에 비해 약간 많은 양의 CLA($5.9 \sim 7.6$ mg/g fat)를 함유하였다. 또한 ground beef patty를 pan-frying, broiling, baking, microwaving의 방법으로 조리한 경우 raw meat에 비해 CLA 양은 증가하였으나 조리법과 ground beef의 익힌 정도(doneness)에 따른 CLA 함량의 유의한 차이는 발견되지 않았다. 그러나 CLA양을 g meat단위로 표시하는 경우에는 조리방법과 doneness에 따라 가식부위와 지방함량에 차이가 나타나 실제 섭취하는 고기양으로 CLA양을 환산할 때 조리방법과 doneness는 CLA 섭취량에 유의한 영향을 줄 수 있다고 할 수 있다.

한편 양고기를 2,450 MHz의 microwave로 21분간, 200°C의 전기 grill에서 14분간 조리하였을 때 CLA양은 raw meat에 비해 각각 109, 123%로 증가하였으나 조리법 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Maranesi and others 2005). 특히 t9, t11과 c9, t11의 증가가 유의적이었다.

Ahn과 Woo(1998)는 조리법을 달리한 생선에 함유된 CLA 함량을 보고하였는데, 구이를 한 청어와 고등어는 날 생선에 비해 CLA 함량이 높았지만 조림의 경우에는 감소하였다.

CLA는 식품의 조리 및 가공과정에서 생성되기도 하며 조리방법에 따라 최종 제품에 함유되어 있는 CLA양은 다른 것으로 보고되었다. 따라서 식품에서의 CLA에 의한 기능성 변화는 조리법에 따라 고려되어야 할 것이다.

3. Diacylglycerols

DAG는 면실유 9.5%, 올리브유 5.5% 등 식용유지에 최대 10%까지 함유된 천연 성분으로(D'Alonzo and others 1982), 1,2-diacyl-*sn*-glycerol(1,2-DAG)와 1,3-diacyl-*sn*-glycerol(1,3-DAG)의 2형태가 있으며 식용유지에는 1,3-DAG가 주를 이루고 있다. 올리브유를 2,450 MHz의 microwave 또는 230°C로 가열하였을 때 DAG 함량은 유의적으로 약간 증가하였으나($p < 0.01$), 가열 방법에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다(Cossignani and others 1998, Caponio and others 2002).

대두는 DAG를 약 200 mg/100 g 함유하고 있는데 그대로 microwave oven으로 가열하거나 혹은 수침한 후 물을 제거하고 microwave oven으로 가열하였을 때 DAG 함량은 증가하였다(Yoshida and Kajimoto 1988). 또한 수침대두의 microwave oven에서의 가열 중 DAG 함량은 가열시간과 수침시간이 증가함에 따라 증가하였다.

DAG는 TAG의 분해에 의해 생성될 수 있는 기능성 성분으로 많은 연구가 이루어지지는 않았지만, 가열에 의해 증가하는 경향을 보였다.

4. Phospholipids

인지질은 C-C bond, ester bond, phosphoester bond 등으로 구성된 비대칭 인산 diester 화합물로 식용유지에서는 정제과정에서 대부분 제거되므로 정제 공정을 거치지 않는 참기름과 올리브유를 제외하고는 별로 발견되지 않는다. 그러나 육류나 생선에서는 인지질을 쉽게 발견할 수 있다. 인지질을 구성하고 있는 지방산은 비교적 불포화도가 높으며 또한 인지질 구조내에 amino기, hydroxy기, 인산기 등을 갖고 있으므로 식품의 가공 또는 조리 중 산화 등의 화학 변화를 받기 쉽다(Pryde 1985).

참기름에 존재하는 인지질의 양은 제조방법에 따라 차이를 보여 2,450 MHz의 microwave oven에서 roasting 한 참깨로부터 추출한 참기름은 가열처리하지 않은 참깨로부터 추출한 참기름에 비해 인지질 함량이 적었다(Yoshida and others 1995). 즉 microwave heating은 참깨에서의 인지질을 분해시킴을 알 수 있다. 또한 가열시간이 증가함에 따라 인지질의 분해속도는 가열시간과 인지질의 종류에 따라 차이를 보여 가열시간이 증가할수록 인지질의 함량은 적었으며 분해속도는 PE> PC> PI 순이었으나 참깨 종자의 색은 인지질 분해 속도에 별다른 영향을 미치지 않았다. 이들의 분해는 인지질에 존재하는 amino group이 참기름에 존재하는 tocopherol이나 sesamol에 수소나 전자를 공여하는 때문으로 제안되었다.

육류에 존재하는 인지질은 육류의 가열조리에 의해 증가하였는데, 가열 조리 중의 육류에서의 수분 손실도 인지질의 증가에 부분적으로 기여를 한 것으로 생각된다. 즉, 양고기를 160°C oven에서 broiling하거나 1 kg/cm² 압력으로 pressure cooking한 경우 인지질은 5.67 mg/g에서 각각 9.85, 8.85 mg/g으로 증가하였는데 이때 조리된 양고기의 수분 함량은 조리전(수분함량 73.5%)에 비해 broiled mutton 과 pressure cooked mutton에서 각각 55.9%, 63.4%으로 감소하였다(Kowale and others 1996).

한편, Tomioka와 Morioka(1992)는 콩치에 존재하는 인지질이 가열에 의해 분해되며, microwave heating이 conventional heating에 비해 인지질 분해 효과가 크다는 것을 보고한 바 있다.

5. Phytosterols

식물성유지는 최대 1% 정도의 sterol을 함유하며 이들 sterol을 phytosterol이라 부른다. Phytosterol은 triterpene 계열로 식물체에서 free form, fatty-acyl ester, hydroxycinnamate steryl ester, steryl glycoside, acylated steryl glycoside의 형태로 존재한다(Moreau 2005). 식물체에서 흔히 발견되는 phytosterol에는 campesterol, sitosterol, brassicasterol, stigmasterol, avenasterol 등이 있다.

Phytosterol은 구조 중에 이중결합을 갖고 있으므로 다른 불포화지질과 마찬가지로 가열, ionizing radiation, 광선, 화학적 촉매 등에 의해 산화되기 쉽다. 스테롤의 산화는 과산화물에 의해 개시되는 free radical chain reaction으로, hydroxy, keto, epoxy 화합물 등을 생성한다. Stigmasterol은 180°C에서의 가열중 산화와 열분해에 의하여 hydroxy, keto, epoxy화합물을 생성하였으며, 가열 1시간만에 최대량에 도달하였다(Lampi and others 2002). 이때의 총 sterol 산화물의 양은 non-oxidized stigmasterol의 21%정도이었으며, 가열시간이 길어짐에 따라 keto 화합물이

주된 산화생성물을 이루었다. 이에 반해 180°C에서 rapeseed oil을 가열할 때 생성되는 sitosterol과 campesterol의 산화물은 epoxy 화합물이 주를 이루었다.

Sterol의 가열산화 속도는 sterol의 lipid matrix에 따라 다른데, bulk sterol의 상태에서보다 유지내에 존재할 때 산화속도가 낮았으며 이것은 유지의 자동산화에서와 마찬가지로 부피에 대한 접촉면의 비율(area to volume ratio)이 커서 산소와의 접촉이 빈번한데서 일부 기인하는 것으로 제안되었다(Lampi and others 2002). 그러나 함께 존재하는 lipid matrix의 불포화도가 sterol의 산화속도에 미치는 영향에 대해서는 아직 확실하지 않다.

Sterol의 이중결합에 수소가 첨가되어 유도된 포화화합물인 stanol의 hydroxy group에 지방산이 에스테르 결합으로 연결된 stanol ester는 식품의 가공 중 큰 변화를 받지 않으며, sterol에 비해 일반적인 식품의 pH 범위에서 가수분해 또는 산화에 대한 저항성이 큰 편이다.

6. Tocopherols과 tocotrienols

tocopherol과 tocotrienol은 페놀 구조에 hydroxy group과 methyl group이 치환된 chroman 유도체로 긴 terpene side chain을 갖고 있다. 일반적으로 tocopherol과 tocotrienol은 대두유, 카놀라유, 옥수수유, 팥유 등 주로 식물성유에 함유되어 있으며 동물성 유지에는 적게 함유되어 있다(Choe and others 2005). 유지에 함유된 tocopherol과 tocotrienol은 조리 특히 가열조리 중 산화되어 tocopheroxy tocopherol(TED) 또는 tocopherol-5-yl tocopherol(TBD) 등의 dimer 또는 trimer를 생성한다(Kikugawa and others 1990). 이들 dimer, trimer들은 tocopherol이 산화되어 phenoxy radical을 생성한 후, 벤젠 ring의 산소 또는 ortho 위치에서 서로 coupling되거나 혹은 phenoxy radical이 benzyl radical로 재배열된 후 coupling에 의해 생성되는 것으로 제안되었다(Kikugawa and others 1990). Tocopherol로부터 TED가 생성되는 정도는 tocopherol이 존재하는 반응 시스템인 TAG의 종류에 따라 유의하게 달라서, trilaurin에서 TED가 가장 많이 생성되었고 triolein, trilinolein의 순서로 나타났다(Kikugawa and others 1990). 그러나 tocopherol로부터의 TBD의 생성은 TAG의 종류와 무관하였다. 가열 중 토코페롤의 산화에 의해 생성된 tocopherol dimer는 tocopherol에 비해 가열에 대해 안정한 편이므로 가열중인 유지에서 토코페롤을 대신하여 어느 정도 산화방지 역할을 수행할 수 있으나, 비타민 E 활성은 소실된다. 한편, 유지의 산화 생성물인 과산화물이 분해되어 생성된 alkoxy radical은 tocopherol의 분해물인 phenoxy radical과 반응하여 addition products를 생성하기도 하는데 이 생성물은 비타민 E 활성은 물론 산화방지 기능도 갖고 있지 않다(Gardener and others 1972).

참깨를 추출 원료인 참깨를 2,450 MHz의 microwave로 roasting하면 roasting 하지 않은 참깨에 비하여 10% 정도의 토코페롤이 감소하였으며 α -tocopherol이 다른 토코페롤에 비해 분해속도가 높았으나 참깨 종자의 색은 토코페롤의 분해 속도에 별다른 영향을 미치지 않았다(Yoshida and others 1995).

유지에 존재하는 토코페롤은 가열 중 분해되며, 분해속도는 초기 농도와는 무관하지만 유지의 불포화도가 적을수록 높았다(Barrera-Arellano and others 2002).

유지에 함유된 tocopherol은 microwave heating에 의해서도 분해되며 위와 같이 유지를 단순 가열한 경우와 마찬가지로 불포화도가 높은 유지에서 분해속도가 낮았다(Yoshida and others 1990, Yoshida and others 1991). 그러나 정제된 유지에 첨가된 토코페롤의 경우 다소 상이한 결과를 나타내기도 하였는데, lard(불포화지방산 59.5%)에 첨가된 토코페롤이 microwave heating(2,450 MHz)에 의하여 불포화지방산 함량이 더 높은 유지(55.0%)에 첨가된 토코페롤에 비해 쉽게 분해되었다. 그러나 토코페롤 종류에 따른 분해속도는 단순가열의 경우와 차이가 없이 δ - β - γ - α -tocopherol 순이었다(Yoshida and others 1992).

단순가열뿐 아니라 실제 식품을 튀기는 과정에서도 유지에 함유되어 있는 토코페롤은 분해되며 그 분해속도는 유지의 종류에 따라 달라서 불포화도가 높은 대두유(85%), 옥수수유(87%)보다는 불포화도가 낮은 coconut유(6.1%) 또는 올리브유(83%, 단 oleic acid 72%)에서 분해된 토코페롤의 양이 많았다(Kajimoto and others 1989). 감

자를 175°C의 virgin olive유, 해바라기유, vegetable shortening에서 domestic deep-frying과 pan-frying하였을 때, pan-fried 감자가 deep-fried 감자에 비해 분해된 토코페롤이 많았다(Andrikopoulos and others 2002). 그러나 튀김유는 조리법에 따라 다른 영향을 보였는데 deep-frying 경우 해바라기유에서 튀긴 감자가 virgin olive유 또는 vegetable shortening에서 튀긴 감자보다, pan-frying에서는 virgin olive유에서 pan-frying한 감자가 해바라기유에서 pan-frying한 감자에 비해 tocopherol retention이 더 높았다.

Rapeseed oil로 potato chip을 튀겨낼 때 tocopherol(215, 106, 401, <13 ppm for α -, β -, γ -, δ -tocopherol, respectively)은 빠르게 분해되었으며 분해속도는 역시 α -tocopherol이 β -, γ -tocopherol에 비해 높았다(Gordon and Kourimska 1995). 그러나 rosemary extract(0.1%) 또는 ascorbyl palmitate(0.02%)가 튀김유에 함께 존재하는 경우 토코페롤 분해 속도는 감소하였으며, ascorbyl palmitate에 비해 rosemary extract에 의한 토코페롤 분해 억제 효과가 조금 높았다(Gordon and Kourimska 1995).

튀김유에 함유되어 있는 tocopherol은 튀길 식품에 대한 전처리에 따라 다른 정도로 분해된다. Chicken strip에 MC(methylcellulose) A15 또는 HPMC(hydroxypropyl methylcellulose) E15를 barley flour와 섞어서 coating하거나, MC A4M 또는 HPMC E4M의 1% 용액에 chicken strip을 담근 후 barley flour로 breading하거나, 또는 단순히 barley flour로만 breading 한 후 160°C의 peanut유에서 튀겨냈을 때, coating한 chicken strip을 튀긴 땅콩유는 coating하지 않고 breading한 chicken strip을 튀겨낸 기름에 비해 tocopherol loss가 적은 경향을 보였다. 또한 coating 물질의 종류와 coating 시점도 tocopherol 분해에 영향을 주어 MC로 chicken strip을 coating 한 후 barley flour로 breading한 시료를 튀긴 기름에서 tocopherol 분해가 가장 적었다(Holownia and others 2001). 이때 tocopherol의 분해속도는 함량으로 비교할 때 γ -tocopherol이 가장 빠르고 α -, δ -, β -순이었다.

연어에 함유되어 있는 tocopherol은 steaming(12 min), 기름을 두르지 않고 180°C에서 pan-frying, 올리브유, 옥수수유, 또는 partially hydrogenated plant oil을 두른 후 pan-frying으로 조리하였을 때 조리 전에 비해 다소 감소하였으나 조리방법에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다(Al-Saghir and others 2004).

이와 같이 토코페롤이 가열에 의해 산화되어 분해됨으로써 비타민 E 활성을 잃거나 산화방지 활성을 잃기는 하지만 실제 조리 특히 소규모의 조리과정에서는 한 식품에 대한 조리시간이 그리 길지 않기 때문에 큰 변화는 없을 것으로 보인다.

7. Phenolic compounds

페놀화합물은 benzene ring에 hydroxy group을 한 개 이상 가진 화합물로 유지 radical에 수소를 공여함으로써 유지의 산화를 억제하며, 식물성 기름의 산화안정성은 tocopherol 이외에도 이들 페놀화합물에 기인한다. 천연에 존재하는 phenol 화합물에는 vanillic acid, syringic acid, gallic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapic acid, caffeic acid 등의 phenolic acid, flavonoids 및 이들의 glycosides, lignans 등이 있다. 이들 중 대부분의 화합물은 극성을 띠고 있어 단일 물질로 비극성 화합물인 지질을 산화로부터 보호할 수 있는 경우는 극히 드물다. 또한 대부분 페놀화합물은 지질보다는 defatted flake에 함유되어 있어 추출 및 정제 공정을 거친 유지에서는 찾아보기 힘들다. 그러나 압착에 의해서 유지를 추출하고 별다른 정제공정을 거치지 않은 올리브유나 참기름에는 페놀화합물이 발견되며 이들은 각 유지의 산화안정성에 크게 기여한다.

Lignans은 2,3-dibenzylbutane을 기본 골격으로 하는 diphenol 화합물로, 참기름과 flax seed oil에 다량 함유되어 있다(Pokorny and Parkanyiova 2005). 식품 가공 중 lignan 화합물의 안정성에 대해서는 참기름에 다량 함유되어 있는 sesamol, sesamin, sesamolin의 경우를 제외하고는 많이 알려져 있지 않다. 볶은 참기름에 존재하는 리그난 화합물의 함량은 참기름을 180°C에서 가열할 때 가열시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며 lignan 화합물 중 특히 sesamolin의 감소가 뚜렷하였다(Kim 2003). 볶은 참기름을 acid clay를 사용하여 탈색한 경우 탈색

온도와 acid clay 함량에 따라 약간의 차이는 있었으나 대체로 sesamol의 함량은 감소하고 sesamol 함량은 증가하였다(Kim and Choe 2005). 볶은 참기름을 대두유에 혼합한 튀김유에서 밀가루 반죽을 튀겨낼 때 튀김유의 리그난 화합물 함량은 감소하였는데 리그난 화합물의 분해속도는 튀김유에 함께 존재하는 토코페롤 함량과 밀접한 관계를 보여 주었다. 즉, 튀김 중 튀김유에서의 토코페롤의 분해속도가 빠를수록 리그난 화합물의 함량 변화는 적어, 토코페롤이 리그난의 분해를 억제할 가능성이 제시되었다(Chung and others 2004).

참기름과 같이 세사몰, 세사몰린, 세사민 등 여러 리그난 화합물이 한 system에 존재하는 경우와는 달리, 각각의 리그난 화합물을 해바라기유에 첨가하여 180°C에서 가열하였을 때는 위와 약간 다른 양상을 보였는데, 세사몰이 세사민과 세사몰린에 비해 빠른 분해속도를 나타내었다(Lee 2005).

올리브유에 존재하는 리그난 화합물에는 pinosresinol과 1-acetoxypinosresinol이 있는데 튀김 초기에 급격히 분해되다가 점차 그 분해속도가 감소하여 12회의 frying 후에도 10% 이상 잔존하였다(Gomez-Alonso and others 2003).

올리브유에는 pinosresinol 이외에도 hydroxytyrosol(3,4-DHPEA), tyrosol(HPEA) 및 그들의 secoiridoid 유도체(3,4-DHPEA-EDA, 3,4-DHPEA-EA, HPEA-EDA, HPEA-EA) 등의 페놀화합물이 존재한다. 올리브유를 튀김유로 하여 180°C에서 감자를 튀김하는 동안 올리브유의 페놀화합물들은 분해되었으며 DHPEA와 그 유도체들이 HPEA와 그 유도체들에 비해 분해속도가 빨랐다(Gomez-Alonso and others 2003). 특히 DHPEA는 튀김초기에 급격히 분해되어 12회의 튀김과정 이후에 대부분이 소실된 반면, HPEA는 튀김의 전과정에 걸쳐 분해되었으나 12회 튀김과정 이후에도 50% 이상 잔존하였다. 이들의 분해는 유지의 가열산화와 관련이 있어 튀김 중 튀김유의 산화속도가 높을수록 페놀화합물의 분해속도도 높았으며, 따라서 산화속도가 높은 Lo 함량이 높은 유지가 oleic acid 함량이 높은 유지에서보다 그 분해속도가 높았다.

튀김 중 페놀화합물의 분해속도는 frying 방법에 따라 약간의 차이를 보여, 감자를 175°C의 virgin olive oil에서 domestic deep-frying과 pan-frying하였을 때, pan-frying을 수행한 올리브유가 deep-frying을 수행한 올리브유에 비해 분해된 페놀화합물의 함량이 높았으며, tannic acid와 DHPEA-EA는 다른 페놀화합물에 비해 비교적 많은 양이 보존되었다(Andrikopoulos and others 2002).

이와 같이 유지식품에 함유된 페놀화합물은 일반적으로 조리 과정에 의해 분해되지만 그 종류에 따라 가열 조리후에도 잔존량이 높고, 또한 조리 조건을 조절함으로써 페놀화합물이 가진 기능성을 이용할 수 있을 것으로 보인다.

8. Carotenoids

carotenoid는 가열 조리에 의해 분해되는데 식품내 carotenoid의 농도(Anguelova and Warthesen 2000), 가열시간 및 온도(Sulaeman and others 2001), 산화지방의 존재(Lopez-Hernandez and others 2001) 등에 의해 분해 정도가 다르다. 식품내 carotenoid 농도가 높을수록(Warner and Frankel 1987, Goulson and Warthesen 1999, Lee and others 2003), 가열온도가 높을수록, 산화지방이 많을수록 carotenoid는 쉽게 분해된다. carotenoid의 분해에 의해 식품의 색, provitamin A 활성, 산화방지 등의 기능성을 상실할 뿐 만 아니라 산화된 carotenoid는 오히려 지질의 산화를 촉진하는 등 해를 끼치는 것으로 알려져 있다(Min and Lee 1996).

식용유지에 함유되어 있는 carotenoid들은 대개 정제공정을 통하여 대부분 제거되기 때문에 정제유에 carotene은 거의 함유되어 있지 않고 red palm oil 등 몇몇 특수 기름에만 함유되어 있다. β -carotene을 다량 (> 500 ppm) 함유한 red palm oil을 170°C에서 20분 정도 가열하면 carotene은 완전히 분해되었다. 그러나 curry 또는 chaya leaves(10%)를 첨가한 경우 30분 이상의 가열 후에도 이들의 보호 작용에 의해 carotene이 소량이긴 하지만 잔존하는 것이 보고된 바 있다(Fillion and Henry 1998).

참고문헌

- Ahn MS, Woo N. 1998. A study on the formation, contents of foods, and antioxidative effect of conjugated linoleic acid. Korean J Soc Food Sci 14: 84-90
- Al-Saghir S, Thurner K, Wagner K-H, Frisch G, Lu W, Razzazi-Fazeli E, Elmadfa I. 2004. Effects of different cooking procedures on lipid quality and cholesterol oxidation of farmed salmon fish (*Salmo salar*). J Agric Food Chem 52: 5290-6
- Andrikopoulos NK, Dedoussis GVZ, Falirea A, Kalogeropoulos N, Hatzinikola HS. 2002. Deterioration of natural antioxidant species of vegetable edible oils during the domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. International J Food Sci Nutr 53: 351-63
- Anguelova T, Warthesen J. 2000. Degradation of lycopene, α -carotene, and β -carotene during lipid peroxidation. J Food Sci 65 : 71-5
- Barrera-Arellano D, Ruiz-Mendez VR, Velasco J, Marquez-Ruiz G, Dobarganes C. 2002. Loss of tocopherols and formation of degradation compounds at frying temperatures in oils differing in degree of unsaturation and natural antioxidant content. J Sci Food Agric 82: 1696-702
- Caponio F, Pasqualone A, Gomes T. 2002. Effects of conventional and microwave heating on the degradation of olive oil. Eur Food Res Technol 215: 114-7
- Caponio F, Pasqualone A, Gomes T. 2003. Changes in the fatty acid composition of vegetable oils in model doughs submitted to conventional or microwave heating. International J Food Sci Technol 38: 481-6
- Castrillon AM, Navarro P, Alvarez-Pontes E. 1997. Changes in chemical composition and nutritional quality of fried sardine (*Clupea pilchardus*) produced by frozen storage and microwave reheating. J Sci Food Agric 75: 125-32
- Choe E, Lee J, Min DB. 2005. Chemistry for oxidative stability of edible oils. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp558-90
- Choe E, Lee J, Park K, Lee S. 2001. Effects of heat pretreatment on lipid and pigments of freeze-dried spinach. J Food Sci 66. 1074-9
- Choe E, Lee J. 1998. Thermooxidative stability of soybean oil, beef tallow and palm oil during frying of steamed noodles. Korean J Food Sci Technol 30. 288-292
- Chung J, Lee J, Choe E. 2004. Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough. J Food Sci 69: C574-8
- Cossignani L, Simonetti MS, Neri A, Damiani P. 1998. Changes in olive oil composition due to microwave heating. J Amer Oil Chem Soc 75: 931-7
- D'Alonzo RP, Kozarek WJ, Wade RL. 1982. Glyceride composition of processed fats and oils as determined by glass capillary gas chromatography. J Amer Oil Chem Soc 59: 292-295
- Destailletes F, Angers P. 2005. Thermally induced formation of conjugated isomers of linoleic acid. Eur J Lipid Sci Technol 107. 167-72
- Echarte M, Ansorena D, Astiasaran I. 2003. Consequences of microwave heating and frying on the lipid fraction of chicken and beef patties. J Agric Food Chem 51: 5941-5
- Echarte M, Zulet MA, Astiasaran I. 2001. Oxidation process affecting fatty acids and cholesterol in fried and roasted salmon. J Agric Food Chem 49: 5662-7
- Fillion L, Henry CJK. 1998. Nutrient losses and gains during frying: a review. Int J Food Sci Nutr 49: 157-68
- Garcia-Arias MT, Pontes EA, Garcia-Linares MC, Garcia-Fernandez MC, Sanchez-Muniz FJ. 2003. Cooking-freezing-reheating (CFR) of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets. effect of different cooking and reheating procedures on the proximate and fatty acid compositions. Food Chem 83. 349-56
- Gardener HW, Eskins K, Grams GW, Inglett GE. 1972. Lipids 7: 324
- Gebauer S, Harris WS, Kris-Etherton PM, Etherton TD. 2005. Dietary n-6:n-3 fatty acid ratio and health. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp221-48

- Gnadig S, Chamba J-F, Perreard E, Chappaz S, Chardigny J-M, Rickert R, Steinhart H, Sebedio J-L. 2004. Influence of manufacturing conditions on the conjugated linoleic acid content and the isomer composition in ripened French Emmental cheese. *J Dairy Res* 71: 367-71.
- Gomez-Alonso S, Fregapane G, Salvador MD, Gordon MH. 2003. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *J Agric Food Chem* 51: 667-72
- Gordon MH, Kourimska L. 1995. Effect of antioxidants on losses of tocopherols during deep-fat frying. *Food Chem* 52: 175-7
- Goulson MJ, Warthesen JJ. 1999. Stability and antioxidant activity of beta carotene in conventional and high oleic canola oil. *J Food Sci* 64: 996-9
- Ha YL, Grimm NK, Pariza MW. 1989. Newly recognized anticarcinogenic fatty acids: Identification and quantification in natural and processed cheeses. *J Agric Food Chem* 37: 75-81
- Holownia KI, Erickson MC, Chinnan MS, Eitenmiller RR. 2001. Tocopherol losses in peanut oil during pressure frying of marinated chicken strips coated with edible films. *Food Res International* 34: 77-80
- Jacobsen C. 2004. Developing polyunsaturated fatty acids as functional ingredients. In "Functional foods, cardiovascular disease and diabetes". Arnoldi A (Ed). CRC Press, New York pp 307-32
- Jiang J, Bjorck L, Fonden R. 1997. Conjugated linoleic acid in Swedish dairy products with special reference to the manufacture of hard cheeses. *Int Dairy J* 7: 863-7
- Kajimoto G, Yoshida H, Shibahara A. 1989. Decomposition of tocopherol in oils by oxidative products (oxidized fatty acids) of vegetable oils and the accelerating effect of fatty acid on the decomposition of tocopherol. *J Jpn Soc Nutr food Sci* 42: 313
- Kapoor R. 2005. γ -Linolenic acid: The health effects. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp301-34
- Kikugawa K, Kunugi A, Kurechi T. 1990. Degradation of phenolic antioxidants. In "Food Antioxidants" Hudson BJB (Ed). Elsevier Applied Science. New York, NY. pp65-98
- Kim I, Choe E. 2004. Oxidative stability and antioxidant content changes in roasted and bleached sesame oil during heating. *Food Sci Biotechnol* 13: 762-7
- Kim I, Choe E. 2005. Effects of bleaching on the properties of roasted sesame oil. *J Food Sci* 70. C48-52
- Kim IH. 2003. Optimization of bleaching condition of roasted sesame oil and thermooxidative stability of bleached sesame oil. MS thesis. Inha University
- Kowale BN, Rao VK, Babu NP, Sharma N, Bisht GS. 1996. Lipid oxidation and cholesterol oxidation in mutton during cooking and storage. *Meat Sci* 43: 195-202
- Lampi A-M, Juntunen L, Toivo J, Piironen V. 2002. Determination of thermo-oxidation products of plant sterols. *J Chromatography B* 777: 83-92
- Lee J, Kim M, Park K, Choe E. 2003. Lipid oxidation and carotenoids content in frying oil and fried dough containing carrot powder. *J Food Sci* 68:1248-53
- Lee J. 2005. Antioxidant activity of lignan compounds in roasted sesame oil on the oil oxidation and contents changes during manufacturing and storage of roasted sesame oil. Ph.D. dissertation. Inha University
- Lin H, Boylston TD, Chang MJ, Luedecke LO, Schultz TD. 1999. Conjugated linoleic acid content of cheddar-type cheeses as affected by processing. *J Food Sci* 64: 874-8
- Lopez-Hernandez E, Ponce-Alquicira E, Cruz-Sosa F, Guerrero-Legarreta. 2001. Characterization and stability of pigments extracted from *Terminalia catappa* Leaves. *J Food Sci* 66: 832-6
- Maranesi M, Bochicchio D, Montellato L, Zaghini A, Pagliuca G, Badiani A. 2005. Effect of microwave cooking or broiling on selected nutrient contents, fatty acid pattern and true retention values in separable lean from lamb rib-lobes, with emphasis on conjugated linoleic acid. *Food Chem* 90. 207-18
- Martin J-C, Valeille K. 2002. Conjugated linoleic acids: All the same or to everyone of its own function? *Reproduction Nutr Development* 42: 525-36

- Matsuo N. 2005. Nutritional characteristics of diacylglycerol oil and its health benefits. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp685-98
- Milder IE, Arts ICW, Venema DP, Lasaroms JJP, Wahala K, Hollman PCH. 2004. Optimization of a liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for quantification of the plant lignans secoisolariciresinol, lariciresinol, and pinoresinol in foods. *J Agric Food Chem* 52: 4643-51
- Min DB, Lee H-O. 1996. Chemistry of lipid oxidation. In "Food Lipids and Health" McDonald RE and Min DB (Eds). Marcel Dekker, Inc. New York, NY. pp241-68
- Moreau RA. 2005. Phytosterols and phytosterol esters. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp 335-60
- O'Shea M, Van Der Zee M, Mohede I. 2005. CLA sources and human studies. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp249-72
- Pokorny J, Parkanyiova J. 2005. Lipids with antioxidant properties. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp273-300
- Pryde EH. 1985. Chemical reactions of phosphatides. In "Lecithins" Szuhaj BF and List GR (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp213-46
- Salo P, Hopia A, Ekblom J, Lahtinen R, Laakso P. 2005. Plant stanol ester as a cholesterol-lowering ingredient of Benecol Foods. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp699-730
- Shantha NC, Crum AD, Decker EA. 1994. Evaluation of conjugated linoleic acid concentrations in cooked beef. *J Agric Food Chem* 42: 1757-60
- Sinclair A, Wallace J, Martin M, Attar-Bashi N, Weisinger R, Li D. 2005. The effects of eicosapentaenoic acid in various clinical conditions. In "Healthful Lipids" Akoh CC and Lai O-M (Eds). AOCS Press, Champaign Il. pp 361-94
- Sloan AE. 2005. Time to change the oil? *Food Technol* 59: 17
- Sulaeman A, Keeler L, Giraud DW, Tatlor SL, Wehling RL, Driskell JA. 2001. Carotenoid content and physicochemical and sensory characteristics of carrot chips deep-fried in different oils at several temperatures. *J Food Sci* 66. 1257-126
- Sulaeman A, Keeler L, Giraud DW, Tatlor SL, Wehling RL, Driskell JA. 2001. Carotenoid content and physicochemical and sensory characteristics of carrot chips deep-fried in different oils at several temperatures. *J Food Sci* 66:1257-64
- Tomoika F, Morioka M. 1992. Oxidative deterioration of neutral lipids and phospholipids in pacific saury by microwave heating. *Nippon Kaseigaku Kaishi* 43: 1103-10
- Warner K, Frankel EN. 1987. Effects of α -carotene on light stability of soybean oil. *J Amer Oil Chem Soc* 64: 213-8
- Yoshida H, Hirooka N, Kajimoto G. 1990. Microwave energy effects on quality of some seed oils. *J Food sci* 55: 1412-6
- Yoshida H, Kajimoto G. 1988. Effects of microwave heating on the trypsin inhibitor and molecular species of triglycerides in soybeans. *J Food Sci* 53: 1756-60
- Yoshida H, Kondo I, Kajimoto G. 1992. Effects of microwave energy on the relative stability of vitamin E in animal fats. *J Sci Food Agric* 58: 531-4
- Yoshida H, Shigezaki J, Tagaki S, Kajimoto G. 1995. Variations in the composition of various acyl lipids, tocopherols and lignans in sesame seed oils roasted in a microwave oven. *J Sci Food Agric* 68: 407-15
- Yoshida H, Tatsumi M, Kajimoto G. 1991. Relationship between oxidative stability of vitamin E and production of fatty acids in oils during microwave heating. *J Amer. Oil Chem soc* 68: 566-70