

## 식품내 총 항산화능의 직접 측정 방법: 'QUENCHER' 접근법

조 장 원

지역특화산업연구단

### Direct Measurement of the Total Antioxidant Capacity of Foods: the 'QUENCHER' Approach

Chang-Won Cho

*Regional Food Industry Research Group*

## 서 론

건강은 근래에 들어 식품 산업에서 핵심적인 부분으로 간주되고 있으며, 건강기능성이 어느 정도 부여된 식품에 대한 수요 또한 증가하는 추세에 있다. 항산화 성분은 건강식품이 가진 잠재력을 향상시킬 뿐만 아니라, 식품의 영양학적 측면에서 질적 수준을 결정하는 데에 중요한 역할을 하며, 항산화물질(antioxidants)은 활성산소류(reactive oxygen species)로부터 신체를 방어하는 역할을 한다. 또한, 항산화물질이 풍부한 식이를 섭취할 경우 심혈관계 질환, 암, 노화에 따른 퇴행성 질환 등의 발생을 낮출 수 있다는 과학적 근거 역시 증가하고 있다.

이런 맥락에서, 총 항산화능(antioxidant capacity)을 측정하는 것은 항산화물질이 풍부한 식품의 건강기능도를 한눈에 알아볼 수 있도록 하는 데에 유용한 방법이 될 수 있을 것으로 간주되고 있다. 이런 목적으로, 지난 몇 년간 여러 개의 항산화 활성 관련 데이터베이스가 구축되어 식이의 총 항산화활성도를 예측할 수 있도록 활용되어왔다. 몇몇 연구들을 통해 식이의 항산화능이 일부 질환의 발병율, 또는 일부 질환의 생체지표(biomarkers)에 변화를 가져올 수 있는지에 대한 상호 관련성을 입증하는 데에 기존의 데이터베이스들이 매우 유용하게 이용될 수 있는 것으로 확인되었다.

식품의 항산화능을 측정하기 위해 지금까지

쓰이고 있는 몇 가지 방법들이 있기는 하지만, 이 방법들에 대한 논란 또한 상당수 존재하고 있다. 이와 관련된 논란들은 주로 다음과 같은 사항들과 관련되어 있다.

- 어떤 화학적 기전[수소 원자 전이(hydrogen atom transfer), 전자 전이(electron transfer), 라디칼 종(radical species)을 직접 측정]을 이용하는 것이 항산화 활성 측정에 가장 적절한가?
- 기능적인 측면에서 볼 때 어떤 항목[저밀도 지질단백(LDL)의 산화, 착색 라디칼(colored radicals)의 제거(quenching), 제이철 환원력(ferric reducing capacity)]이 생리 활성적 의미가 있는가?
- 각 측정법은 민감도, 재현성, 수고, 비용 등의 측면에서 어떤 특성을 가지는가?

놀랍게도, 식품으로부터 추출된 항산화물질들과 관련된 문제점들은 지금까지도 크게 문제시 되지 않고 있다. 추출물이 원상태의 식품이 가진 항산화력을 반영할 수 있다는 단순한 가정 하에, 여러 가지 다른 추출과정들이 항산화력 측정에 이용되고 있다. 그러나 식품 내에는 각 항산화 성분들이 서로 다른 형태로 존재하고 있으며, 수용액에 완전히 녹을 수 있는 성분도 있지만, 어떤 경우에는 전혀 녹지 않는 경우도 있어 전체적으로 볼 때 매우 복잡한 성분적 구조를 가지고 있다. 대부분의 식품들에는 친수성(hydrophilic) 성분과 소수성(lipophilic) 성분이 혼합된 형태로 존재하며, 독립적으로 존재할 수도 있지만 다른 고분자들(macromolecules)과 함

께 결합한 형태를 취하고 있을 수도 있다. 따라서 특정 용매나 용매의 혼합체가 특정 식품의 미세구조 내에 존재하는 모든 종류의 항산화성분을 녹여낸다는 것은 불가능하다.

이런 문제를 해결하기 위하여, 강력한 화학적 가수분해와 같은 공정들이 항산화 성분 추출을 위하여 적용되기도 하였지만, 이런 공정들은 식품의 matrix를 변성시키는 결과를 가져왔다. 따라서 이 과정으로 생성된 추출물은, 식품의 보관 상태 또는 생체 내 소화과정 중 식품이 보유하고 있을 가능성이 있는 실제의 항산화력을 대변하지 못하게 되는 것이다. 요약하자면, 항산화 성분들은 극성이 다양하고, 대부분이 불용성인 식품 구조(food matrix)에 공유결합으로 부착되어 있는 형태로 존재하기 때문에, 진정한 “총 항산화능(total antioxidant capacity)”을 측정한다는 것은 여전히 문제점이 존재하고 있는 상태이다.

본 총설에서는, 고형 시료들을 자유라디칼과 혼합한 후 분광광도를 측정함으로써 고형시료로부터 직접 항산화 활성을 측정하는 방법을 소개함으로써, 식품으로부터 항산화 활성을 측정하는 것에 관한 새로운 접근법을 제시하고자 한다. 여기에 기술된 방법은 항산화력 측정의 새로운 접근법으로서 신속하고(Quick), 쉬우면서도(Easy), 새롭고(New), 비용이 저렴하며(CHEap), 재현성이 높은(Reproducible) 방법이라는 의미에서 “QUENCHER”라고 명명하였다. 그 중에서도 ABTS[2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate)] 라디칼 양이온과 DPPH[2,2'-

diphenyl-1-picrylhydrazyl] 라디칼을 이용하는 분석법들은 가장 널리 알려져 있으면서 분석방법이 쉬워, QUENCHER 분석법이라고 하였을 때에는 널리 확립되어 있는 이 두 가지 라디칼을 이용하는 분석법들이 특히 대표적인 방법들로 꼽히고 있다. 그러나 이 두 가지 라디칼을 이용하여 항산화력을 측정한다는 개념 자체는 제이철 환원 항산화력(ferric reducing antioxidant power, FRAP), N,N-dimethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride(DMPD), 산소 라디칼 흡수력(oxygen radical absorbance capacity, ORAC) 등 현재 이용되고 있는 다른 항산화능 측정법들에도 적용될 수 있다.

이런 관점에서 볼 때, 항산화 활성을 측정하기 위한 방법으로서 Prior, Wu, and Schaich에 의해 정의된 지침을 따르고 있는 QUENCHER 분석법은, 문헌상에서 발견되는 다양한 분석법들을 표준화하는 데에 기여하고 있다.

## QUENCHER 분석법 (직접 분석법)

### 1. 항산화 활성 측정과정에서 추출과정이 가지고 있는 한계점들

현재까지, 항산화력 측정은 용해가 가능한 성분들을 주로 대상으로 해 온 까닭에, 추출 과정이 중요한 단계로 간주되고 있다. 식품 내에 존재하는 항산화 성분들의 용해도를 높이기 위해 용매 혼합체를 쓰거나 물리적인 처치를 하

는 등 다양한 시도가 이루어져왔다. 일례로, 시료 내의 소수성 성분 및 친수성 성분 모두로부터 항산화능을 측정하기 위해, b-cyclodextrin과 같은 성분이 시료내 항산화 성분들의 용해도를 증가시킬 목적으로 사용되어 왔다.

그러나, 일부 식품들에 포함된 불용성 성분들은 화학적 처리나 효소적 처리를 통한 물성변화 없이는 용해시킬 수 없다는 문제가 있으며, 이와 같은 경우에 식품에 가해진 물리화학적 구조 변성이 항산화력 측정에 미치는 생물학적 영향력에 대해서는 수많은 의문들이 제기되어 오고 있다.

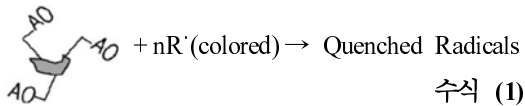
항산화성분을 추출해 내기 위한 추출 및 가수분해 과정을 거치더라도 해당 성분들을 완전히 추출할 수 있다고 보기 어려우므로, 이 과정들을 거친 후 측정된 식품의 총 항산화능(total antioxidant capacity)은 실제보다 더 낮게 산출되었을 가능성이 있다. 현재 식품내의 항산화능 측정을 위해 물과 알코올(에탄올이나 메탄올) 혼합액과 비율을 달리한 여러 종류의 혼합액들이 추출을 위한 용매로 널리 사용되고 있으며, 추출에 사용되는 혼합액을 종종 산성화시킴으로써 추출효율을 개선할 수 있는 것으로 밝혀지기도 하였다. 물과 아세톤을 이용한 일련의 용매 추출법도 식품의 총 항산화능 측정에 이용되어 왔으며, 카로테노이드(carotenoid) 계 성분이 풍부하게 함유된 식품의 분석에는 소수성 용매가 이용되어 왔다.

식품내의 불용성 성분들이 전체 항산화능에 기여하는 정도는 분석대상이 되는 식품에 따라

크게 달라질 수 있다. 전곡 씨리얼(whole cereals), 빵의 외피(bread crusts) 또는 코코아처럼 식이 섬유가 풍부한 식품들은 불용성 성분들이 전체 항산화 활성에 기여하는 바가 수용성 성분들에 맞먹을 정도로 상당하다.

## 2. QUENCHER 분석법의 원리 (직접 분석법)

QUENCHER 분석법은 식품의 총 항산화능 측정을 위해 새로운 접근법을 채택하고 있다. 이 방법을 이용할 경우, 항산화능을 측정하는 이전단계에서 추출이나 가수분해 과정을 거칠 필요가 없다. 원칙적으로, 반응물(reactants)이 충돌로 반응을 일으킬 수 있는 한, 반응 온도에 관계없이 항산화능을 측정하기 위한 화학적 반응이 발생할 수 있다. 이 측정법은, 어떤 화학적 기전을 이용하는 지에 관계없이, 항산화 활성을 측정하는 모든 분석법에 응용이 가능하다.



수식 (1)에서 보여지는 바와 같이, 이 방법은 고형 식품과 라디칼 시약액이 직접 접촉하도록 함으로써, 기존의 모든 추출과정을 생략하도록 한다는 데에 기반을 두고 있다. 일반적인 liquid-liquid 상태에서 발생하는 반응처럼, 시료내의 수용성 성분은 용매 중에 존재하는 활성산소 제거 라디칼을 상대로 항산화 반응을 일으킨다. 직접 분석법을 이용하게 되면, 수용성 성분의

항산화 반응이 발생하는 동시에, 불용성 다당류 분획(polysaccharide fraction)에 부착된 항산화 성분들은 고체상(solid phase)으로, 용매 중에 있는 자유 라디칼들은 액체상(liquid phase)으로 작용하여, 고체-액체 계면(solid-liquid interface)에서 발생하는 표면 반응(surface reaction)을 통해 불용성 부분도 항산화능을 발휘할 수 있게 된다.

Solid-liquid 반응계에서는, 반응에 참여하는 반응성 고체의 전체 표면적이 반응 속도, 즉 측정되는 항산화능에 영향을 미친다. 표면적이 넓어질수록 반응물질간의 접촉이 많아지게 되고, 충돌횟수가 증가함에 따라 반응 속도도 증가하게 되는 것이다. 액체는 균형 잡힌 반응식(balanced reaction equation)에서 요구되는 대로 수소나 전자와 같은 물질을 받거나 제공하는 역할을 한다. 액체상에서는 확산이나 반응상대인 고체 내부로 침투하는 과정을 통해 반응이 진행된다. 따라서 어떤 용매계(solvent system)를 선택할 것인가 하는 것이 반응 과정상 가장 중요한 요인들 중의 하나로 간주되며, 각 분석법마다 직접 반응 과정에 따라 최적화되어야 한다.

전통적인 ABTS 분석법에서는 라디칼 양이온을 함유하는 100% 에탄올을, 항산화물질이 포함된 추출액에 첨가하는 방식을 이용한다. 에탄올을 직접 과정(direct procedure)에서 액상 반응 매체로 이용한 경우 반응 속도가 만족스럽지 못하였고, 따라서 결과를 향상시키기 위해 50% 물과 50% 에탄올 용액으로 바꾸게 되었다. 물을 용매 성분으로 사용하게 되면, 전분이 많이 함유된 식품의 경우 matrix의 변형을 유

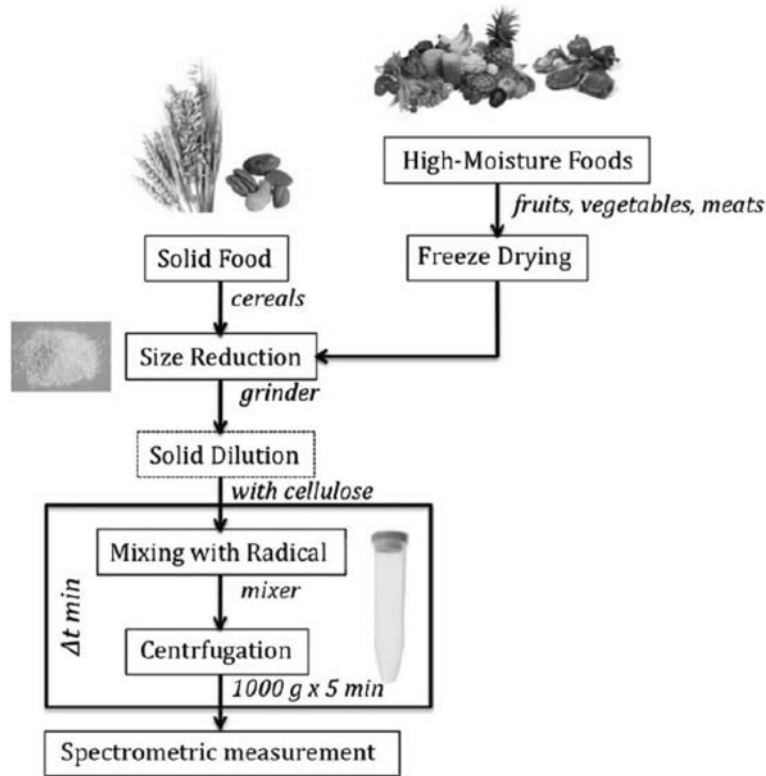


그림 1. 직접 QUENCHER 방법의 기본 과정들에 대한 도식

도하여 라디칼과 항산화성분간의 상호작용을 증가시키는 데에 도움이 된다. 식품의 matrix내에 물이 함유되어 있는 것이, 전분 matrix내에 깊이 박혀있는 항산화물질에까지 접근성을 확보하는 데에 매우 중요한 요인이 되는 것으로 간주되고 있다. 반면, 혼합체 내에 tetrahydrofuran과 같은 비극성 용매를 쓸 경우에는, carotenoid가 풍부한 식품의 경우에서 조차도 측정에 도움이 되지 못한다. 이와 같은 사실들을 통해, 직접 QUENCHER 분석법의 측정과정 중 발생하는 라디칼과 항산화물질간의 반응은, 대상물

질들의 소수성에 관계없이, 서로 접촉이 가능한 계면에서 발생한다는 특성이 확인되었다.

그림 1은 식품의 항산화능을 측정하는 기본 과정들을 도식화하여 보여주고 있다. 씨리얼, 콩류, 씨앗류, 견과류, 가공 식품들(식빵, 비스킷, 감자칩)과 같은 고형 식품들(저수분)은 항산화능 측정을 위한 전 전처리를 필요로 하지 않는다. 과일, 채소류, 육류와 같이 수분을 많이 함유한 식품들은 수분을 제거하기 위해 동결 건조하는 과정을 거쳐야 한다. 동결건조를 거친 시료는 분쇄과정을 거쳐 고운 고형 분말로 만

들어진다. 항산화능 측정 과정에서 적절한 속도로 반응을 진행시키기 위해서는, 고품분말의 크기를 140~60 mesh (0.1~0.3 mm) 범위로 유지하는 것이 적합하다.

항산화능이 매우 높은 식품의 경우에는 측정법의 선형성이 유지되는 범위 내에서 측정치를 얻기 위해, 고품 분말들을 분말화 셀룰로스에 희석해야 한다. 분말화 셀룰로스는 라디칼에 대해 활성을 가지지 않으며, 1~20배까지의 희석을 통해 좋은 선형성을 얻을 수 있다.

고형 분말들은 반응을 위해 라디칼 용액과 혼합하게 된다. 라디칼 용액은 물과 에탄올의 혼합액을 이용함으로써, 친수성 및 소수성 항산화물질 모두가 라디칼과 반응하는 것을 증가시킬 수 있도록 할 수 있다. 라디칼 용액 중 물은 라디칼이 시료 분말내로 더 잘 침투할 수 있도록 식품의 matrix를 변형시키는 역할을 하므로, 라디칼 용액에 필수적인 부분이다. 일반적으로 30분

동안 접촉을 하도록 하면 반응을 완전히 끝내기에 충분하다. 마지막으로, 분광광도계에서의 측정을 위해 원심분리를 실시하여 광학적으로 맑은 상등액을 얻게 된다.

## 다양한 식품 matrix에 직접 QUENCHER 분석법의 적용

### 1. 씨리얼 (Cereals)

씨리얼은 대부분의 페놀계 화합물(phenolic compounds)이 불용성 다당질(polysaccharide component)에 부착되어 있어, 실제로 QUENCHER 분석법의 유용성을 확인할 수 있는 좋은 예가 된다. 그림 2는 직접 분석법으로 일부 씨리얼의 항산화능을 측정된 값을, 다른 추출 및 가수분해 분석법으로 측정된 값과 비교한 결과를

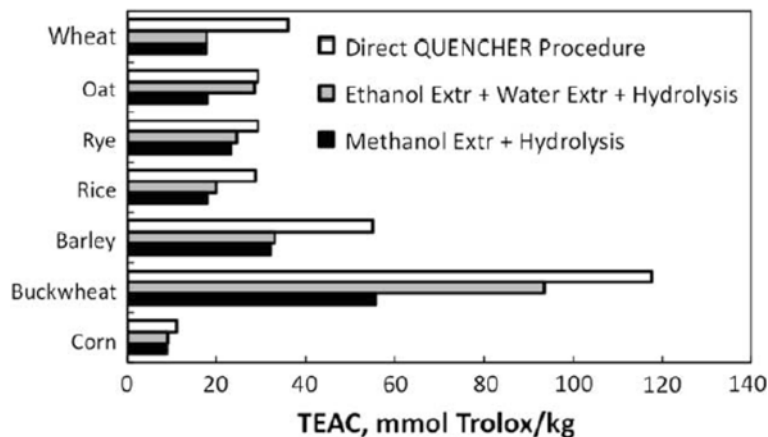


그림 2. 전통적인 추출/가수분해 방법 및 직접 QUENCHER 방법을 이용하여 다양한 씨리얼에서 총 항산화능을 측정된 결과

보여주고 있다.

QUENCHER 분석법을 이용하여 얻은 총 항산화능 값을, 일련의 추출 과정을 통해 얻어진 값들과 비교했을 때, 유사한 경우도 있지만 일부의 경우에는 더 높은 것으로 나타나고 있다. 직접 분석법과 일련의 추출 분석법간에 차이가 발생하는 이유들로는 다음과 같은 것들이 있는 것으로 여겨진다:

- 가수분해 과정의 낮은 효율 또는 낮은 회수율
- 가수분해 반응 동안 항산화물질의 소실
- 항산화물질간의 상호작용이 저해됨으로써 항산화물질간에 발생할 수 있는 상승효과(synergistic effect)도 함께 저해됨

씨리얼의 경우 QUENCHER 분석법을 이용하게 되면 더욱 신뢰할 수 있는 TEAC값이 얻어진다는 장점 외에도, 수고를 덜 수 있을 뿐 아니라 측정도 훨씬 신속하게 끝낼 수 있다. 다만 한 가지 주의해야 하는 부분은 씨리얼을 분쇄하는 과정이다. 직접 분석법은 분말의 크기가 크게 영향을 미치지 않는다는 것이 입증되기는 하였지만, 분말의 직경이 0.3 내지 0.1 mm 정도되는 분말 시료를 만들기 위해서는 정확한 분쇄가 요구된다. 분말크기를 0.1 mm 미만으로 낮춘다고 해서 항산화 활성이 더 이상 증가되지는 않는 것으로 알려져 있다.

## 2. 열가공(빵이나 과자 등(baked), 튀김(fried), 볶음(roasted)) 식품

가공 식품들의 항산화 활성을 측정하기 위해

전통적인 추출법을 이용하게 되면, 가열과정 동안 용해도가 다양하게 변하기 때문에 문제가 다소 복잡해진다. 다른 한편으로는, 열처리 과정으로 인해 Maillard 반응, 카라멜화, 지방의 열산화(thermooxidation) 등이 발생하여 현저한 성분 변화가 야기된다.

자연적으로 발생하는 항산화성분 외에도, 가공된 씨리얼은 굽는 과정(baking)을 거치는 동안 새로운 항산화물질이 형성될 수도 있다. 빵에서는, 가장자리(crust)와 부스러기(crumb) 부분의 경우 항산화능에 있어서 큰 차이가 있다. 일반적으로 가장자리가 부스러기 부분에 비해 항산화능이 더 높다. 그림 3(Panel a)은 식빵 조각을 토스트하는 시간이 총 항산화능에 미치는 변화를 보여주고 있다. 비스킷 및 감자튀김(fried potatoes)에서도 유사한 양상이 관찰되었다. 용매 추출을 이용한 분석법과 달리 QUENCHER 분석법을 이용할 경우 항산화 활성의 증가분을 정확하게 측정할 수 있게 된다. 이는 Maillard 반응을 통해 새로 형성된 항산화 성분들은 주로 용해도가 낮기 때문인 것으로 보고 있다.

볶는 과정(roasting)이 견과류 및 콩류의 총 항산화능에 미치는 전반적 영향력은, 천연 항산화성분의 분해와 새로운 항산화성분의 형성간의 균형에 따라 달라진다. 그림 3(Panel b)은 볶는 과정 중 헤이즐넛, 피스타치오, 병아리콩(chickpea)의 총 항산화능의 변화를 보여주고 있다.

이 세 가지 식품들에서 나타난 변화양상은 서로 다르게 나타나고 있다. 헤이즐넛과 피스타치오의 경우에는 볶는 초기 과정에서 주로 유상

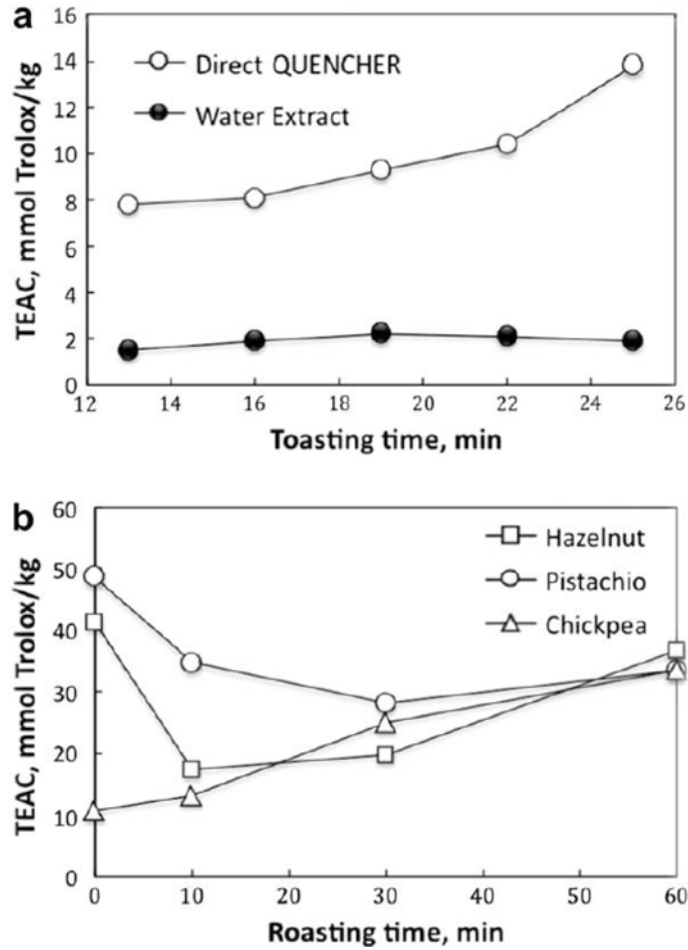


그림 3. 식빵 조각을 토스트하는 시간에 따른 총 항산화능의 변화(Panel a); 볶는 시간에 따른 헤이즐넛, 피스타치오, 병아리콩 총 항산화능의 변화(Panel b)

부분(oily fraction)과 관련된, 열에 불안정한 항산화물질들이 소실됨으로써 총 항산화능이 감소하는 양상을 보인다. 볶는 과정 후반부에서는 Maillard 반응의 결과로 형성된 새로운 항산화물질로 인해 총 항산화능이 증가됨으로써 원래의 TEAC 값이 다소 보존되는 형태가 된다. 병

아리콩의 경우에는 지방이 적고 전분이 풍부하여, 나타나는 양상이 전자의 경우와는 완전히 다르며, 총 항산화능은 볶는 과정 중 선형성으로 증가하는 것으로 나타난다.

이와 같은 결과들은 QUENCHER 분석법이 다양한 견과류 및 콩류에 있어서 열처리에 따



른 효과를 확인하는 데에 적절하다는 사실을 보여주고 있다. 실질적인 측면에서 본다면, 견과류의 항산화능을 측정하기 전에 지방을 제거하는 것은 항산화능 측정결과를 얻는 데에 있어 큰 이점이 없다고 할 수 있다. 이는 분석과정에서 항산화물을 적절히 가용화시키는 것보다는, 항산화물질과 라디칼 간의 표면 접촉이 더욱 중요하게 요구된다는 것을 다시 한 번 확인시켜 주는 결과이다.

### 3. Maillard 반응 산물들(멜라노이딘(melanoidins)과 멜라닌단백질(melanoproteins))

멜라노이딘(melanoidins)과 멜라닌단백질(melanoproteins)은 주로 불용성이며 인체 내에서는 대부분 소화되지 않는 특성으로 인해 식이섬유와 비슷한 거동을 보이는 것으로 주장되어 오고 있다. Maillard 반응 속도는 시스템에 따라서 여러 가지 요인들에 의해 결정되며, 결과적으로 서로 다른 항산화 활성을 가진 각기 다른 멜라노이드와 멜라닌단백질을 형성하게 된다. 이를 바탕으로 볼 때, 수용성 및 불용성 멜라노이딘 성분 모두 항산화 활성을 가지기 때문에, 직접 측정법에서는 Maillard 반응에 의해 수용성 멜라노이딘이 생성되는지 불용성 멜라노이딘이 생성되는지를 따지는 것이 전혀 의미가 없다. 불용성 및 수용성 Maillard 반응물 간의 비율은 가공 조건에 따라 달라진다. 일반적으로, 격렬한 처리과정을 거칠수록 불용성 물질의 비율이 더 높아진다. 열처리 이후 수용성 및 불용성 멜

라닌단백질간의 비율은 단백질 분자 구조에 의해 결정된다. 글루텐은 대부분 불용성 멜라닌단백질을 형성하는 반면, 카제인(casein)은 주로 수용성 멜라닌단백질을 형성한다.

모든 경우에 있어서, 추출 및 가수분해에 기반을 두고 있는 고전적 분석법들은 불용성 멜라노이딘의 항산화능을 적절히 정량하지 못하며, 이로 인해 고전적 분석법들로부터 얻어진 견과류의 총 항산화능이 종종 실제 값 보다 낮은 측정치를 보이게 되는데 직접 분석법은 이런 문제를 말끔히 해소해 왔다.

### 4. 직접 분석법의 단점 및 제약

QUENCHER 분석법은 항산화물질이 존재하는 고체와 라디칼이 존재하는 액체간의 표면 반응에 기초하고 있다. 액상 시료의 경우에는 고체 시료로 만들기 위해 반드시 동결건조 과정을 거쳐야 하는데, 이 동결건조과정이 시간이 상당히 소모되는 과정으로 여겨지기도 한다. 또한, 일부 식품은 동결건조과정을 거친 후 끈적끈적해져서, 이후 분쇄 및 희석 단계에 문제를 유발하기도 한다. 이 경우에는 동결건조를 거친 후 시료를 셀룰로스 분말과 혼합함으로써 분쇄 과정을 도울 수 있다.

직접 분석법 이용에서 발생할 수 있는 또 다른 문제점은, 항산화능이 매우 높은 일부 식품의 경우 측정 전 단계에서 셀룰로스를 이용한 희석이 요구된다는 점이다. 분쇄된 시료는 분말의 형태에 따라 다르긴 하지만 10배 내지 20배

까지도 셀룰로스와 희석하여 측정이 가능하다. 희석도가 높을수록 재현성은 떨어진다.

여러 가지 다른 형태의 식품에 대해 수천가지 측정법으로 분석을 실시해 본 결과들에 따르면, 라디칼의 용매로서 에탄올/물을 50/50으로 섞은 알콜 수용액이 적절한 시간 내에 반응을 종료하기에 가장 적합한 것으로 보인다. 용매중 물이 존재함으로써, 고형 식품 matrix의 변형이 유도되어 용액 중 착색 라디칼(colored radical)과 접촉이 가능하게 된다. 그러나 식품의 종류에 따라서 다른 조성의 용액 중에서 반응이 더 잘 일어날 가능성도 배제할 수는 없다. 또한 일부 식품의 경우, 항산화물질이 물리적으로 어디에 위치하는 지에 따라, 용액 중 라디칼과의 반응이 완전하게 발생하지 못할 가능성도 존재한다.

### 다른 화학적 검출 기전(chemical detection mechanisms)에 맞춘 직접 분석법의 변형

지금까지 식품의 총 항산화능(total antioxidant capacity)을 측정하기 위한 방법으로 여러 종류의 화학적 기전에 기초하여 다양한 방법들이 개발되어 왔다. 이 중에서도 ABTS 또는 DPPH 라디칼 제거능 분석법에 기초한 Trolox 등가 항산화능(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC), FRAP, ORAC 분석법 등이 대표적인 분석법들이다.

직접 QUENCHER 분석법은 반응성 고체인 식품과, 용액 중에 자연적으로 존재하거나 인위적으로 첨가한 라디칼 간에 유발되는 반응에 기초를 두고 있다. 이러한 범위 내에서, QUENCHER 분석법은 위에서 언급된 검증되고 최적화된 분석법들에도 적용이 가능하다. 원칙적으로 식품의 항산화능을 측정하기 위해 고안된 어떤 화학적 기전도, 무제한으로 직접 QUENCHER 분석법에 변형하여 적용될 수 있다. 이미 발표된 바 있는 ABTS 및 DPPH로 얻어진 결과 외에도 FRAP 분석법을 이용한 결과도 성공적이었다. 더욱 최근에는 QUENCHER 분석법이 ORAC 분석법에 성공적으로 적용되기도 함으로써, 고형 시료를 이용한 직접 분석법의 개념은 항산화능을 평가하는 데에 이용되는 탐침자(probe)에 관계없이 적용할 수 있다는 것이 확인되었다.

### 결론

현재까지 항산화능을 측정하기 위한 방법으로는 의심의 여지없이 추출에 기초한 분석법들이 이용되어 왔다. 항산화능을 측정하기 전에 적용되는 추출과정에서 다양한 조건들이 이용됨으로 인해, 서로 다른 여러 가지 수치들이 보고되는 결과를 가져오게 되었다. 이로 인해 문헌상에서 확인되는 많은 값들은 서로 일치하지 않고, 다양한 데이터베이스들로부터 확인된 결과들을 적절히 상호 비교하는 것은 불가능한

상황이 발생하였다. 직접 분석법의 유용성은, 대부분의 항산화성분들이 불용성 다당류 matrix에 부착되어 있는 씨리얼 및 씨리얼을 기본재료로 하여 가공된 식품들의 경우에 극명하게 드러난다. 그러나, 이 방법은 지금까지 알 수 없는 이유로 무시되어왔지만, 상당한 항산화능을 가지는 불용성 성분을 함유하는 과일 및 채소 등과 같은 많은 다른 식품들의 경우에도 큰 잠재력을 가지고 있다. 더군다나, 식품의 가공 중 발생하는 항산화 활성의 변성을 세심하게 관찰해야 하는 경우에도, 직접 분석법은 용해도의 변성에 따른 영향을 받지 않는다는 점에서 유용하게 이용될 수 있다.

QUENCHER 항산화능 분석법은 장시간이 요구되는 용매 추출과정이나 가수분해 과정을 필요로 하지 않는다. 따라서, 식품의 수용성 및 불용성 부분 모두 동시에 라디칼과 접촉하게 되므로, 단일 조작으로 총 항산화능을 더욱 정확하고 정밀하게 측정하는 것이 가능하다. 이 분석법은 고유한 항산화능 데이터베이스 구축을 통해 모든 식품계 연구자들, 영양학자들, 식품의 질을 다루는 분야에 있는 사람들 간의 정보 공유를 가능하게 할 수 있다.

또한, 절대로 무시할 수 없는 부분은, 직접 분석법으로 얻어진 데이터는 식품자체가 가진 항산화능 또는 인체 위장관계 내에서 발휘하는 항산화 활동과 직접적으로 관련이 되어있다는 점이다. 실제로, 다단계 추출 분석법에서 총 항산화능이라는 것은 각기 다른 시점에서 측정된 수용성 및 불용성 분획의 항산화능을 단순히

합한 것에 불과한 반면, 직접 분석법에서는 시료에 존재하는 모든 항산화물질의 활성이 동시에 측정, 고려된 것이기 때문이다.

## 참고문헌

1. Adom KK, Sorrells ME, Liu RH, Phytochemical profiles and antioxidant activities of wheat varieties, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 7825-7834, 2003
2. Benzie IFF, Strain JJ, Ferric reducing antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration, *Methods in Enzymology*, **299**, 15-27, 1999
3. Cao GH, Prior RL, Measurement of oxygen radical absorbance capacity in biological samples, *Methods in Enzymology*, **299**, 50-62, 1999
4. Frankel EN, Finley JW, How to standardize the multiplicity of methods to evaluate natural antioxidants, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **56**, 4901-4908, 2008
5. Gutteridge JMC, Halliwell B, Free radicals and antioxidants in the year 2000: a historical look to the future, *Annals of the New York Academy of Sciences*, **899**, 136-147, 2000
6. Kaliora AC, Dedoussis GV, Natural antioxidant compounds in risk factors for CVD,

- Pharmacological Research, **56**, 99-109, 2007
7. Morales FJ, Martin S, Arribas-Lorenzo G, Açar Ö.Ç, Gökmen V, Antioxidant activity of cookies and its relationship with heat-processing contaminants: a risk/benefit approach, *European Food Research and Technology*, **228**, 345-354, 2009
  8. Pellegrini N, Colombi B, Salvatore S, Brenna OV, Galaverna G, Del Rio D, et al., Evaluation of antioxidant capacity of some fruit and vegetable foods: efficiency of extraction of a sequence of solvents, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **87**, 103-111, 2007
  9. Pellegrini N, Serafini M, Colombi B, Del Rio D, Salvatore S, Bianchi M, et al., Total antioxidant capacity of plant foods, beverages, and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays, *Journal of Nutrition*, **133**, 2812-2819, 2003
  10. Pérez-Jiménez J, Saura-Calixto F, Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 5036-5040, 2005
  11. Prior RL, Wu X, Schaich K, Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 4290-4302, 2005
  12. Rice-Evans C, Measurement of total antioxidant activity as a marker of antioxidant status in vivo, procedures and limitations, *Free Radical Research*, **33**, 59-66, 2000
  13. Serpen A, Capuano E, Fogliano V, Gökmen VA, New procedure to measure the antioxidant activity of insoluble food components, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **55**, 7676-7681, 2007
  14. Serpen A, Gökmen V, Pellegrini N, Fogliano V, Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products, *Journal of Cereal Science*, **48**, 816-820, 2008
  15. Shahidi F, Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods, *Trends in Food Science and Technology*, **20**, 376-387, 2009
  16. Summa C, McCourt J, Cammerer B, Fiala A, Probst M, Kun S, et al., Radical scavenging activity, anti-bacterial and mutagenic effects of cocoa bean Maillard reaction products with degree of roasting, *Molecular Nutrition & Food Research*, **52**, 342-351, 2008
  17. Valtuena S, Pellegrini N, Franzini L, Bianchi MA, Ardigo D, Del Rio D, et al., Food selection based on total antioxidant capacity can modify antioxidant intake, systemic inflammation, and liver function without altering markers of oxidative stress, *American Journal of Clinical Nutrition*, **87**(5), 1290-1297, 2008
  18. Van den Berg R, Haenen GRMM, Van den Berg H, Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation

- of antioxidant capacity measurements of mixtures,  
Food Chemistry, **66**, 511-517, 1999
19. Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB,  
Gebhardt SE, Prior R L, Lipophilic and  
hydrophilic antioxidant capacities of common  
foods in the United States, Journal of Agricultural  
and Food Chemistry, **52**, 4026-4037, 2004
- 자료출처  
Trends in Food Science & Technology, **20**,  
278-288, 2009

---

조장원 이학박사

- 소속 한국식품연구원 지역특화산업연구단
- 전문분야 유산균을 이용한 인삼 및 한약재 발효,  
인삼 및 천연물 성분분석, 세포모델을  
이용한 천연물 생리활성 평가
- E-mail cwcho@kfri.re.kr
- TEL 031-780-9312