

광합성에 가장 효율적임을 알 수 있다. 이런 사실은 광합성을 일으키는 데 있어서 다른 파장의 상대적인 효율성을 나타내는 광합성 작용스펙트럼(action spectrum)(그림 10.9b)으로 확인할 수 있다. 작용스펙트럼은 엽록체에 여러 색의 빛을 비추주고, 파장에 따른 CO₂의 소모나 혹은 O₂의 배출과 같은 광합성률을 그린 것이다. 광합성 작용스펙트럼은 1883년 독일 식물학자에 의해 최초로 제시되었다. 엥겔만(Theodor W. Engelmann)은 세균을 이용해 사상조류의 광합성률을 측정한 재치있는 실험을 수행하였다(그림 10.9c). 그의 실험 결과는 그림 10.9b의 현대의 작용스펙트럼과 놀랍게 일치한다.

그림 10.9a와 광합성 작용스펙트럼인 그림 10.9b를 비교하면, 엽록소 a의 흡수스펙트럼과 정확히 일치하지 않음을 알 수 있다. 엽록소 a의 흡수스펙트럼만으로는 광합성을 일으키는 특정 파장의 효율성이 과소평가된다. 이것은 다른 흡수스펙트럼을 갖고 있는 보조색소도 엽록체에서의 광합성에 중요하고, 광합성에 이용할 수 있는 색스펙트럼을 확장하기 때문이다. 그림 10.10은 이런 보조색소 중 하나인, 엽록소 b(chlorophyll b)와 비교된 엽록소 a를 보여주고 있다. 이들 간의 미세한 구조적 차이는 두 색소가 스펙트럼의 붉은색과 파란색 영역의 약간 다른 파장들을 흡수할 수 있도록 하기에 충분하다(그림 10.9a). 결과적으로 엽록소 a는 파란-초록색

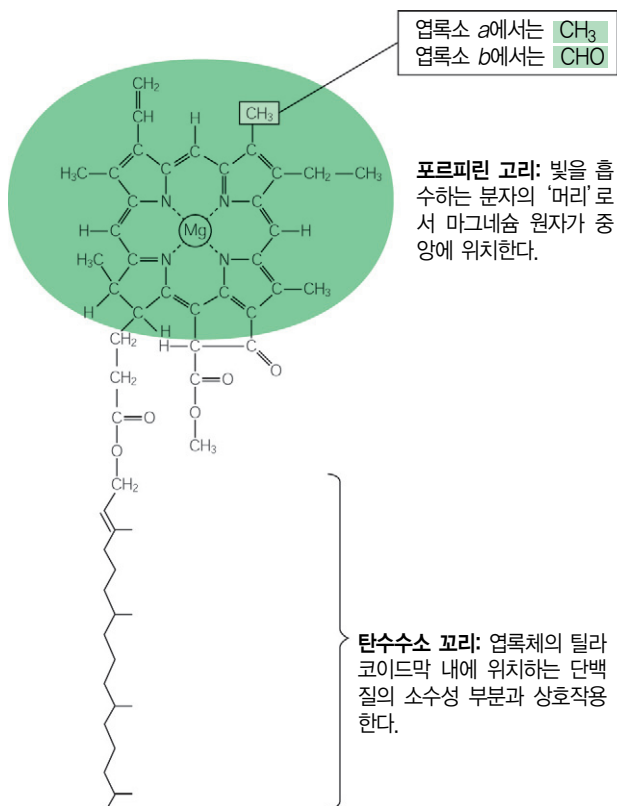
이며, 엽록소 b는 연두-초록색이다.

또 다른 색소로는 보라색과 파란색-초록색 빛을 흡수하기 때문에 노란색과 황색의 다양한 색조를 갖는 탄수화물인 카로티노이드(carotenoid)가 있다(그림 10.9a). 카로티노이드는 광합성을 일으키는 색의 스펙트럼을 확장시킨다. 하지만 적어도 어떤 카로티노이드의 경우에는 광보호(photoprotection)가 보다 더 중요한 기능인 것 같다. 이런 물질은 엽록체에 손상을 주거나 혹은 세포에 해가 되는 활성 산소분자를 형성케 하는, 산소와 작용하는 과도한 빛 에너지를 흡수하고 분산시킨다. 흥미롭게도, 엽록체에서 광보호를 수행하는 카로티노이드와 유사한 카로티노이드가 인간의 눈에서도 광보호 기능을 수행하고 있다는 것이다. 건강식품 제품에서 자주 볼 수 있는, 카로티노이드와 이와 관련된 분자들은 항산화 능력을 갖는 식물화학물질(phytochemical)로서 평가되고 있다. 그리스어로 *phyton*는 '식물'을 뜻한다. 인간이나 다른 동물의 경우, 항산화제를 음식물로부터 섭취해야 하지만, 식물은 자신이 필요로 하는 모든 항산화제를 합성한다.

빛에 의한 엽록소의 흥분

엽록소나 다른 색소가 빛을 흡수할 경우, 구체적으로 어떤 일이 일어나게 되는가? 흡수되는 파장에 해당하는 색은 통과되거나 반사되는 빛의 스펙트럼으로부터 사라지게 되지만, 에너지는 사라지지 않는다. 분자가 빛의 광자를 흡수하게 되면, 분자의 한 전자는 보다 더 많은 위치에너지를 갖고 있는 전자오비탈로 뛰게 된다. 전자가 자신의 전자오비탈에 있을 경우, 색소분자는 바닥 상태에 있다고 표현한다. 광자의 흡수로 보다 높은 에너지 상태의 전자오비탈로 전자가 뛰어 오르게 되면 이 경우 색소분자가 들뜬 상태에 있다고 한다. 흡수된 광자는 바닥 상태와 들뜬 상태 간의 에너지 차이와 일치하는 에너지를 갖고 있고, 이러한 에너지 차이는 원자나 분자에 따라 다양하다.

광자의 흡수로 인해 전자가 바닥 상태에서부터 들뜬 상태로 올라가게 되면, 전자는 계속해서 들뜬 상태에 머물러 있을 수 없다. 들뜬 상태는 모든 높은 에너지 상태와 마찬가지로 불안하다. 일반적으로, 분리된 색소분자가 빛을 흡수할 경우 분자의 들뜬 전자는 10억분의 1초 만에 바닥 상태로 되돌아가면서 자신의 과잉에너지를 열로 방출한다. 빛에너지가 열로 전환되는 과정은 화창한 날에 자동차 지붕이 아주 뜨거워지는 원인이기도 하다. 백색 자동차가 가장 시원한데, 이는 백색 페인트가 자외선과 눈으로 볼 수 없는 다른 빛을 흡수할지 모르지만, 가시광선의 전 파장을 반사하기 때문이다. 분리 상태에서, 엽록소를 포함한 어떤 색소는 광자를 흡수한 후 열뿐만 아니라 빛도 내보낸다. 들뜬 전자가 바닥 상태로 되돌아가면서 광자가 방출되는데 이와 같은 잔광을 형광이라고 부르기도 한다. 엽록체에서 분리된 엽록소 용액에 빛을 비추를 경우, 스펙트럼의 붉은색-황색의 형광을 발하거나 열을 방출한다(그림 10.11).



▲ 그림 10.10 식물의 엽록체에 있는 엽록소의 구조. 엽록소 a와 엽록소 b는 단지 포르피린 고리에 결합되어 있는 작용기 하나에서 차이가 난다.