

Kemal Çetin, Adil Denizli

Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü

ÖRÜMCEK İPEĞİNİN GİZEMİ

İpek çok çeşitli eklembacaklılar tarafından üretilen yumuşak ve parlak bir lifdir. İnsanlar bu liften iplik yapıp kumaş dokuyarak tekstilden askeriye çeşitli uygulamalarda binlerce yıldır kullanmaktadır. Kullanılan doğal ipeğin ana kaynağı "dud ipek böceği" olarak bilinen *Bombyx mori*'dir. İpek elde etmede *Bombyx mori*'nin kullanılmasının en temel sebebi yetiştirilmesinin kolay olmasıdır. İpek böceği yetiştirilmesine Çin'de yaklaşık 4600 yıl önce başlanmış olup yıllar boyu Çin, Hindistan, Taşkent, Bağdat, Şam ve İstanbul'dan geçen ipek yolunu takiben Avrupa'ya taşınmıştır.

İpeklerin Şahı: Örümcek İpeği

İpeğin temel kaynağı ipek böceği olmasına rağmen daha ince ve daha dayanıklı ipek, örümcekler tarafından üretilir. Örümcekler ipek liflerini avlanmak,

yumurtalarının zarar görmesini engellemek, seyahat gibi hayatlarını sürdürmek için gerekli yaşamsal faaliyetler için üretir. Örümcek ipekleri sentetik fiberlerden daha yüksek sağlamlığı ve esnekliği beraber bulundurmazından



dolayı olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir. Örümcek ipeklerinin tarihte balıkçılık ve yara kapama gibi uygulamalarda kullanıldıkları bilinmektedir.

Örümceğin ipeği spinleme süreci

Bütün örümcek ipekleri spidron olarak adlandırılan protein yapı içerirler. Örümcek ipeği türüne göre farklı çeşitlerde spidronlar olsa da birincil yapılarının dizilimleri benzerdir. Merkezde tekrar eden birimler bulunurken, bu tekrar eden birimler tekrar etmeyen kısımlar tarafından çevrelenmiştir. Tekrar eden birim, proteinin yaklaşık %90'ını oluştururken, tekrar etmeyen kısımlar 100 ila 140 aminoasitten oluşmuş globüler yapıdadır. Örümceklerin spinleme bölgesi dört ana bölümden oluşur. Kuyruk olarak isimlendirilen ilk bölümde spidron ismi verilen

"Örümcek ipekleri sentetik fiberlerden daha yüksek sağlamlığı ve esnekliği beraber bulundurmazından dolayı olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir."

örümcek ipeği proteinleri sentezlenir. Spinleme bölgesinin ikinci kısmı sak veya ampula olarak adlandırılır. Bu bölümde spidronlar depolanır ve diğer bileşenler eklenerek misel şeklindeki yapılar oluşturulur. Kanal olarak adlandırılan bölümde ise sıvı kristal yapı sabit bir uzama akışına (elongational flow) maruz kalır. Burada ayrıca iyon değişimi, asitleştirme, su uzaklaştırılması gibi etmenler sayesinde faz ayrımı gerçekleşir. Son kısım ise örümcek ipek fiberinin dışarıya atıldığı bölümdür.

Örümcek ipeği türleri

Her bir örümcek, içerisinde binlerce lif bezi barındırabilir. Bu lif bezleri farklı amaçlara yönelik genel olarak yedi sınıfta incelenir. Bu yedi farklı örümcek ipeği

türünün mekanik özellikleri birbirinden çok farklıdır. Lifin kopması için gereken gerilim 0.02 GPa'dan den 1.7 GPa'a (çeliğin kopması için gereken gerilim 1.5 GPa) kadar farklılık gösterirken, uzama farkları ise %10 ila %500 arasında değişkenlik gösterir.

Büyük ampulat ipeği: Büyük ampulat bezinden üretilen proteinden yapıli bu örümcek ipeği 300 kDa ağırlığından büyük, 1 ila 20 µm çapları arasında olup çekirdek kabuk (core-shell) yapısına sahiptir. Büyük ampulat ipeği yüksek dayanıma ve orta düzeyde bir esnekliğe sahiptir. Bu ipek türü büyük ampulat spidroin 1 ve 2 olmak üzere iki önemli protein yapısından oluşur. Bu protein yapıları özellikle glisin, alanin ve prolin içerir. Büyük ampulat ipeği ağ yapımı sırasında diğer ipeklerin bağlanmasında iskele olarak görev yapar. Ayrıca örümcek için tehlike oluşturabilecek herhangi bir avcı türden kaçmak için de adeta bir can simididir.

Küçük ampulat ipeği: Bu ipek türü küçük ampulat bezinden üretilen proteinlerden yapılır. 250 kDa'dan fazla ağırlığa sahip olan bu ipek türü büyük ampulat ipeği ile benzer mekanik özelliklere sahiptir. Yapısını oluşturan küçük ampulat spidroin 1 ve 2 proteinlerinde büyük ampulat proteinlerinin aksine prolin neredeyse hiç bulunmaz. Ağ yapımı sırasında sarmal şeklinde üretilir ve ağ iskelesinin geçici olarak sabitlenmesini, dengede olmasını sağlar.

Flageliform ipeği: Yaklaşık 500 kDa ağırlığına sahip bu ipek fiberi tek tür proteinden oluşur. Büyük ampulat ipeği ile kıyaslandığında prolin ve valin içeriği daha yüksek iken alanin miktarı daha düşüktür. Yakalama sarmallarının üretiminde kullanılır.

Tubuliform ipeği: Tubuliform (silindirik) bezlerinde üretilen proteinlerin oluşturduğu ipek türüdür.

Örümceklerin yumurtalarını korumada kullanılan sert dış yapıyı oluşturur.

Asiniform ipeği: Asiniform ipek bezlerinde üretilen bu ipeğin iki ana görevi mevcuttur. Bunlardan ilki yakaladıkları avı sarmalamak iken diğeri yumurtaların kılıfının iç kısmını oluşturmaktır.

Agrega ipeği: Bu ipek türü yapışkan glikoproteinlerden ve yüksek miktarda nem tutma yeteneği olan peptitlerden oluşur.

Piriform ipeği: Örümcek ağının ihtiyaç duyduğu protein yapıstırıcıdır. Piriform bezinden üretilen bu ipek türü bağlantı yerleri ve eklerin birbirine bağlanmasında adeta çimento görevi görür. Büyük ampulat iskelesinin duvar, ağaç gibi yerlere yapışmasını sağlar.

Örümcek ipeğinin biyoteknolojik yöntemlerle üretimi

Örümcek ipeğinin bildiğimiz ipek böceği ipeğinden sağlamlık, esneklik, incelik gibi birçok mekanik özellik yönünden üstünlüğe sahip olmasına rağmen halen neden örümcek ipeği ipek böceğinden üretilen ipeğin yerini alamamıştır? Cevabı aslında çok basit. Yapılan araştırmalara göre günümüz şartları göz önüne alındığında örümcek ipeğinin ticari olarak kullanılması halen neredeyse imkansız. Örneğin örümcekler ipek böcekleri gibi toplu halde yetiştirilemezler. Çünkü bir arada bulunan örümcekler birbirlerini yerler. Ancak örümcek ipeğini elde edebilmek için çeşitli çalışmalar halen sürmektedir.

Oxford Üniversitesi'ndeki ipeklerle ilgili çalışmalar yapan Vollrath ve arkadaşları *Nephila edulis* isimli örümceğin ipeğini küçük bir elektromotor yardımıyla doğrudan makaraya sarmayı başardılar. Toplanan örümcek ipeği genel olarak örümcek ağının ana yapısını oluşturan büyük ampulat ipeği ve ağ yapının ana iskelesinin oluşmasına yardım eden küçük

ampulat ipeğinden oluşmaktadır. Her bir etapta 20 ila 80 metre civarında ipek elde edilebilmektedir.

Örümcek ipeğini büyük ölçekte elde edebilmek için üzerinde çalışılan bir diğer yöntem de rekombinant DNA teknolojisidir. Rekombinant protein üretiminin gerçekleştirilmesi için, örümceğin DNA dizisi ile ev sahibi canlının DNA dizisi birleştirilebilecek şekilde uyumlu olmalıdır. Araştırmacılar ev sahibi canlı olarak *Escherichia coli* bakterisini kullandılar ve üretime başladıktan 3-4 gün içinde örümcek ipeğini elde ettiler. Ancak elde edilen ipeğin verimi hem düşüktü hem de rekombinant DNA teknolojisiyle üretilen spidroinler (30-110 kDa) doğal olanlardan (300 -350 kDa) daha küçüktüler. Wyoming Üniversitesi'ndeki araştırmacılar da örümcek genini keçilere aktararak keçi sütünden örümcek ipeği lifi elde etmeyi amaçladılar. Sütten örümcek ipeğini elde etmeyi başardılar ancak yine verim istenilen miktardan çok düşüktü. İpek yıllardır tekstil sanayinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda gerek güçlü mekanik özellikleri gerekse biyobozunur ve biyoyoumlu olması sebebiyle biyoteknoloji alanındaki araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Örümcek ipeğinin yüksek miktarda üretilmesi başarılabirirse ilaç taşıma sistemlerinden kozmetiğe, sensör teknolojilerinden doku iskelesine, yaralanmalarda kullanılabilecek yapay deriye kadar geniş yelpazede kullanım potansiyeline sahiptir.

Kaynaklar

1. Liu, X., Zhang, K. Q. (2014). Silk Fiber—Molecular Formation Mechanism, Structure-Property Relationship and Advanced Applications.
2. Kluge, J. A., Rabotyagova, O., Leisk, G. G., Kaplan, D. L. (2008). Spider silks and their applications. Trends in biotechnology, 26(5), 244-251.
3. bit.ly/21HdhW
4. http://1.usa.gov/1hOMI8P