

MİKOTOKSİNLERİN DETOKSİFİKASYONUNDA ADSORBAN MADDELERİN KULLANIMI

Bülent KABAK*

Işıl VAR **

ÖZET

Mikotoksinlerin sağlık ve ekonomik yönden yarattığı problemler, araştırmacıları mikotoksinlerin ortamdaki uzaklaştırılmasına yönelik kontrol stratejilerine yöneltmiştir. Gıda ve yem maddelerinden mikotoksinlerin inaktivasyonu ve/veya uzaklaştırılmasına yönelik çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler üzerinde durulmakla birlikte son yıllarda, bu amaçla çeşitli adsorban maddelerin kullanılabilmesi de öne sürülmektedir. Mikotoksinlerin detoksifikasyonu veya toksik etkisinin azaltılması amacıyla aktif karbon, bentonit, zeolit ve HSCAS gibi adsorban maddelerin hayvan yemlerine ilave edilerek, mikotoksinlerin gastrointestinal bölgede absorpsiyonlarının engellenmesi amaçlanmaktadır. Bu adsorban maddelerin ayrıca meyve suyu gibi gıda ürünlerinde de mikotoksinleri etkili bir şekilde bağladığı belirtilmektedir.

SUMMARY**The Using of Adsorbents in The Detoxification of Mycotoxins**

Because of mycotoxins inducing health problems and economic impact, there has been increasing interest in the control strategies in order to remove mycotoxins. A variety of physical, chemical and biological approaches to reduce and/or to remove mycotoxins have been reported in the literature. Alternatively, it is suggested that several adsorbents can be used for this purpose. The addition of adsorbents such as activated carbon, bentonite, zeolite and HSCAS to the feed which are supposed to inhibit mycotoxin absorption in the gastrointestinal tract. In addition, these adsorbents are suggested to bind mycotoxins in the food materials such as fruit juice.

1. GİRİŞ

Mikotoksinler, bitki patojeni olarak bilinen *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* ve *Alternaria* spp. başta olmak üzere patojenik ve bozulma etmeni olan küfler tarafından üretilen ikincil metabolizma ürünleridir (EC, 1999). *Aspergillus* ve *Penicillium* cinsi küfler genelde kurutma ve depolama aşamalarında sorun yaratırken, *Fusarium* ve *Alternaria* cinsi küfler ürün tarlada iken, hasat sırasında veya hasat sonrasında kontamine olabilmektedir (Sweeney ve Dobson, 1999).

Doğada 100'ün üzerinde küf türü tarafından üretilen 400'ün üzerinde ikincil metabolitin toksik aktiviteye sahip olduğu ve dünyada yetiştirilen tarım ürünlerinin yaklaşık dörtte birinin mikotoksinlerle kontamine olduğu öne sürülmektedir (McLean ve Dutton, 1995; Wang ve Gropman, 1999; Weidenböner ve ark., 2000). Mikotoksinlerin insan ve hayvanlara karşı toksik etkisi; alınan doza, toksine maruz kalma süresine, toksin türüne, etki mekanizmasına, metabolizmaya ve savunma mekanizmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Hussein ve Brasel, 2001; Galvano ve ark., 2001).

Mikotoksinlerle kontamine olmuş gıda ve yem maddelerinin insan ve hayvanlar tarafından tüketilmesi sonucunda teratojenik, kanserojenik (karaciğer, böbrek), östrojenik, nörotoksik ve bağışıklık sistemini baskılayıcı etki görülebilmektedir (Topal ve ark., 1999; Atroshi ve ark., 2002). Halk sağlığı ve ekonomik açıdan yarattığı sorunlar nedeniyle, aflatoksinler (AF), okratoksin A (OTA), trikotesenler, fumonisin (F), zeralenon (ZEN), tremorgenik toksinler, ergot alkaloidleri ve patulin üzerinde en fazla çalışılan mikotoksin türlerini oluşturmaktadır (McKenize ve ark., 1997; Galvano ve ark., 2001; Hussein

ve Brasel, 2001; Atroshi ve ark., 2002; Papp ve ark., 2002). Dünya Sağlık Örgütü-Uluslararası Kansere Araştırma Enstitüsü (WHO-IARC) 1993 yılında mikotoksinleri insanlara karşı kanserojenik potansiyellerine göre sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırmaya göre; aflatoksinler 1. sınıf kanserojenik mikotoksin olarak gösterilirken, OTA ve F muhtemel kanserojenik mikotoksin (2B grup) olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, trikotesen ve ZEN mikotoksinlerinin insanlara karşı kanserojenik aktivitesinin bulunmadığı (3. Grup) belirtilmiştir (Hussein ve Brasel, 2001).

Mikotoksinlerle kontamine olmuş gıda ve yem maddelerinden toksini uzaklaştırmaya veya etkisiz hale getirmeye yönelik geliştirilen fiziksel (ısı uygulaması, ışınlama) ve kimyasal yöntemlerin (H_2O_2 , amonyum hidroksit, bisulfit uygulaması) insan sağlığına ve gıda kalitesine olumsuz etkide bulunabilmeleri nedeniyle etkin bir yöntem olarak kullanımları sınırlı düzeyde kalmaktadır (Samarajeewa ve ark., 1990; Piva ve ark., 1995; Bata ve Lasztity, 1999; Peltonen ve ark., 2000). Son yıllarda alternatif olarak, sindirim bölgesinde mikotoksinlerin absorpsiyonunun engellenmesi amacıyla çeşitli adsorban maddelerin ve mikroorganizmaların kullanımı üzerinde durulmaktadır (Galvano ve ark., 1996; Huwig ve ark., 2001; Galvano ve ark., 2001; Diaz ve ark., 2002).

2. MİKOTOKSİN DETOKSİFİKASYONUNDA KULLANILAN ADSROBAN MADDELER

Mikotoksinlerin detoksifikasyonu ve/veya toksik etkisinin azaltılması amacıyla çeşitli inert sorbent maddelerin diyetlere ilave edilmesi ve bu şekilde mikotoksinlerin gastrointestinal bölgede absorpsiyonlarının engellenerek vücut dışına atılmasının sağlanması amaçlanmaktadır (Ramos ve Hernandez, 1997; Diaz ve ark., 2002). Bu amaçla aktif karbon, bentonit, zeolit ve susuz sodyum kalsiyum alüminyum silikat (HSCAS) gibi adsorban maddelerin kullanılabilmesi bildirilmektedir.

Mikotoksinlerin adsorban maddelere etkili bir şekilde tutunmasında, kullanılan adsorban maddenin toplam yükü, yük dağılımı, yüzeyinde bulunan gözeneklerin büyüklüğü, yüzey alanı gibi fiziksel özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Diğer yandan, adsorbe edilecek mikotoksinin polaritesi, çözünürlüğü, şekli, büyüklüğü ve ortamda iyonize bileşiklerin varlığı da bağlanmada etkili olan diğer faktörler arasındadır (Huwig ve ark., 2001). Adsorban olarak kullanılan maddenin yüzey alanı, iyot sayısı ve metilen mavisi indeksi gibi fizikokimyasal özellikleri ile adsorpsiyon yeteneği arasında önemli bir ilişki bulunduğu belirtilmektedir (Lemke ve ark., 2001).

Aflatoksin gibi yapısında polar fonksiyon grup taşıyan mikotoksinler, montmorillonit ve zeolit-klinoptolit gibi adsorbanlara etkili bir şekilde tutunurken, ZEN ve OTA gibi nispeten apolar özellik taşıyan mikotoksinler, hidrofilik yüzeye sahip, (-) yüklü adsorbanlar tarafından kuvvetli bir şekilde bağlanamamaktadırlar (Dakovic ve ark., 2003; Tomasevic-Canovic ve ark., 2003). Diğer yandan, adsorban maddelerin yüzey özellikleri, bazı basit organik katyonlarla değiştirilebilmektedir (Dakovic ve ark., 2003). Adsorban maddenin (-) yüzeyleri Na^+ , K^+ , Ca^{+2} veya Mg^{+2} katyonları ve kuarterner amonyum iyonları ile değiştirilerek hidrofobik özellik kazanmaları sağlanmaktadır. Örneğin, adsorban madde olarak kullanılan zeolit molekülünün yüzeyinde uzun zincirli organik katyonların bulunması, söz konusu adsorban maddenin yüzeyinin hidrofobik özelliğinin artmasına neden olduğu ve bu nedenle OTA ve ZEN'a karşı daha etkili bağlanma yeteneği gösterdiği belirlenmiştir (Tomasevic-Canovic ve ark., 2003). Bununla birlikte, gıda maddesinin kompozisyonu da sorbentin aktivitesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda, diyetteki yüksek lif içeriğinin, mikotoksinin adsorban madde tarafından tutunmasını olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir (Lemke ve ark., 2001).

2.1. Aktif Karbon

Çeşitli organik moleküllerin oksijen yokluğunda yüksek sıcaklıklarda ısı ile ayrıştırılması işlemi (piroliz) ile oluşan aktif kömür, çözünmez toz halde olup, yüzey alanı 500 – 3500 m²/g arasında

değişmektedir. Aktif kömür, 19. yüzyıldan itibaren çeşitli ilaçlara ve toksik ajanlara karşı kuvvetli bir adsorban madde olarak kullanılmaktadır (Ramos ve ark., 1996; Huwig ve ark., 2001). Ayrıca, ucuz olması ve spesifik bir adsorban olmaması nedeniyle de yaygın olarak kullanılmaktadır (Lemke ve ark., 2001). Aktif karbon molekülünün şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.

Aktif kömürün bazı mikotoksin türlerine karşı etkili bir şekilde bağlanma yeteneği gösterdiği bildirilmekle (Huwig ve ark., 2001) birlikte, araştırmada kullanılan aktif kömürün ve mikotoksinin özelliklerine de bağlı olarak, literatürde bazı olumsuz sonuçlar da bulunmaktadır. Aktif karbonun sindirim bölgesinde toksik materyali absorpsiyonunda, aktif karbonun yüzeyinde bulunan gözeneklerin büyüklüğü, aktif

Çizelge 1. Adsorbent Maddelerin In Vitro Koşullarda Mikotoksinleri Bağlama Yeteneği

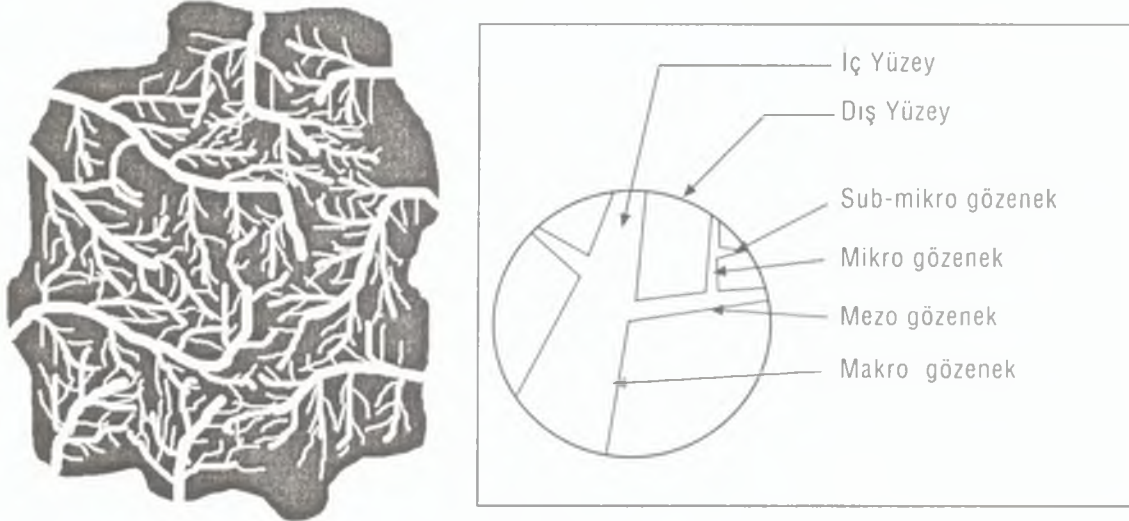
Absorbant Madde	Mikotoksin	Adsorpsiyon Oranı (%)	Kaynak
Aktif karbon	FB1	>99	Diaz ve ark., 2002
Aktif karbon	AFB ₁	>90	Lemke ve ark., 2001
Aktif karbon	OTA	99	Galvano ve ark., 1998
Aktif karbon	DON	98	Galvano ve ark., 1998
HSCAS	AFB ₁	>90	Lemke ve ark., 2001
HSCAS	OTA	13.2	Galvano ve ark., 1998
HSCAS	DON	3.9	Galvano ve ark., 1998
Zeolit	AFB ₁	99	Tomasevic-Canovic ve ark., 2003
Zeolit	ZEN	5	Tomasevic-Canovic ve ark., 2003
Zeolit	ZEN	40	Tomasevic-Canovic ve ark., 2003
Organozeolit	OTA	41-52	Dakovic ve ark., 2003
Sepiolit	OTA	10.5	Galvano ve ark., 1998
Sepiolit	DON	4.5	Galvano ve ark., 1998
Klinoptilolit	AFB ₁	6	Lemke ve ark., 2001
Na-bentonit	AFB ₁	95-98	Diaz ve ark., 2002
Na-bentonit	AFB ₁	98.5	Diaz ve ark., 2002
Ca-bentonit	AFB ₁	96.9	Diaz ve ark., 2002

karbonun yüzey alanı, ortamın pH'sı ve gastrointestinal sistemin içeriği önemli bir rol oynamaktadır (Ramos ve ark., 1996; Galvano ve ark., 2001). Bu konuda yapılan araştırmalarda, aktif karbonun mikotoksinleri hidrojen bağıyla bağlama yeteneği gösterdiği belirtilmektedir (Lemke ve ark., 2001). Mikotoksinlerin tutunmasında önemli bir rol oynayan yüzey alanı ise, aktif karbonun çok düşük molekül ağırlığına sahip olan nitrojeni adsorbe etme yeteneği ile belirlenmektedir. Mercury porosimetri ile aktif karbonun içerdiği mezopor (orta gözenek) ve makroporlar (büyük gözenek) hakkında bilgi elde edilebilmekte ve böylece iç kısımdaki 75 Å'dan büyük gözeneklerin dağılımı belirlenmektedir (Galvano ve ark., 2001).

Galvano ve ark. (1998) 19 farklı aktif karbon molekülünün mikotoksinleri bağlama yeteneğini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada 2 mg aktif karbonun sıvı solüsyonda 4 mg m⁻¹ OTA'yı absorbe etme yeteneğini % 0.80-99.86 arasında bulmuşlardır. Araştırmacılar, 10 mg aktif karbonun, aynı konsantrasyondaki deoksinivalenol (DON-Vomitoksin)'u bağlama yeteneğinin ise, % 1.83-98.93 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Lemke ve ark. (2001) *in vitro* koşullarda yaptıkları çalışmada 1 mg aktif karbonun sıvı solüsyondaki aflatoksin B₁ (AFB₁)'in % 90'dan fazlasını (0.117 mol kg⁻¹) bağlama yeteneği gösterdiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Diaz ve ark. (2002) *in vitro* koşullarda

4 farklı aktif karbon molekülünün 5 mg m^{-1} konsantrasyonundaki AFB₁'i bağlama yeteneğini % 99.5-99.9 arasında bulmuşlardır. Araştırmacılar ayrıca, aktif karbonun fizikokimyasal özelliklerinin yanı sıra, hangi materyalden oluştuğunun ve işlem prosesinin de mikotoksinleri bağlama da etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Elma suyunun aktif kömür ile muamele edilmesi sonucu, üründe bulunan patulinin ortamdaki uzaklaştırıldığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada 30 ppb patulin içeren elma suyunu, 20 mg ml^{-1} aktif kömürle çalkalama veya 40-60 nesh'lik aktif kömür kolonundan



Şekil 1. Aktif karbon Molekülü ve Aktif karbonun Gözenek Yapısının Şematik Gösterimi (Anonim, 2004a; Anonim, 2004b)

geçirilmesi işlemi sonucu, patulinin tamamen ortamdaki uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (Doyle ve ark., 1982). Benzer şekilde, Huebner ve ark (2000), elma suyunda bulunan patulin konsantrasyonunun (20 mg l^{-1}) 1 g aktif karbon uygulaması sonucu önemli miktarda azaldığını göstermişlerdir. Bu konuda Kadakal ve Nas (2002) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, elma sularının % 3 oranında aktif kömür ile 5 dakika muamele edilmesi sonucu, patulin konsantrasyonunun 62.2 ppb'den 30.8 ppb'ye düştüğü belirlenmiştir. Elma suyuna ilave edilen aktif kömür proses sonunda filtrasyon işlemi ile uzaklaştırılmaktadır.

Aktif karbonun *in vivo* ortamda da mikotoksinleri etkili bir şekilde bağladığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, AFB₁ ile kontamine olmuş (11.28 mg kg^{-1}) yem tüketen hayvanların diyetlerine, haftada 3 defa adsorban madde olarak aktif kömür ilave edilmesi durumunda hayvanların sütüne geçen aflatoksin M₁ (AFM₁) miktarının kontrole göre % 50 oranında azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Nageswaro Rao ve Chopra (2001), 100 ppb AFB₁ ile kontamine olmuş yemle beslenen hayvanların diyetlerine 14 gün süresince % 1 oranında aktif kömür ilave edilmesi durumunda, hayvanların sütüne geçen AFM₁ miktarında % 75-99 arasında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

2.2. Bentonit

Bentonit, oktahedral alüminyum ve tetrahedral silikon tabakalarının O₂ atomları ile bir araya gelmesi sonucu, silikat tabakasından oluşmaktadır (Dakovic ve ark., 2003). Bentonitin organik

molekülleri, ya dış yüzeyinde adsorplama veya iç kısımlarındaki interlaminer boşluklarda katyonlarla ilişkiye girmek yoluyla bağladığı öne sürülmektedir (Abdel-Wahhab ve ark., 2002). Bentonitin mikotoksinleri bağlama yeteneği, içerdiği katyon iyonlarına (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2}) bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bentonitin yüzeyinde bulunan inorganik katyonlar, uzun zincirli kuarterner amonyum bileşikleriyle kolaylıkla değiştirilebilmektedir. İnorganik katyonların organik katyonlarla yer değiştirmesi, adsorban maddenin hidrofilik özelliğinin azalmasına, buna karşın hidrofobik özelliğinin ise artmasına neden olmaktadır. Ayrıca bentonitin, cetylpridinium ve/veya hegzadecyltrimethyl amonyum (HDTMA) iyonları ile muamele edilmesi sonucu, hidrofobik yapıda bir mikotoksin olan ZEN'u bağlama yeteneğini önemli miktarda arttırdığı belirlenmiştir (Dakovic ve ark., 2003).

Diaz ve ark (2002) *in vitro* koşullarda yaptıkları çalışmada, 3 farklı sodyum bentonitin 5 mg ml⁻¹ AFB₁'i bağlama yeteneklerinin % 95.1-98.4 arasında olduğunu, kalsiyum bentonitin AFB₁'i bağlama yeteneğinin ise % 98.5 olduğunu göstermişlerdir. Bu konuda yapılan başka bir çalışmada, bentonitin süt içerisinde bulunan AFM₁'i % 65-79 oranında ortamdaki uzaklaştırdığı görülmüştür (Rustom, 1997).

In vivo ortamda yapılan bir çalışmada, sodyum bentonitin 800 ppb AFB₁ ile kontamine olmuş yemle beslenen domuzların diyetlerine ilave edilmesi durumunda, hayvanların yem tüketiminde ve veriminde önemli artış olduğu belirlenmiştir (Abdel-Wahhab ve ark., 2002). Benzer şekilde, Ellis ve ark. (2000) 20 mg kg⁻¹ AFB₁ ile kontamine edilmiş yemle beslenen balıkların diyetlerine % 2 oranında bentonit ilavesinin kontrole göre karaciğer ve böbrekte AFB₁ birikmesini önemli ölçüde azalttığını ve dışkıya salgılanan AFB₁ miktarında artışa neden olduğunu gözlemişlerdir. Nageswara Rao ve Chopra (2001) 100 ppb AFB₁ içeren yemle beslenen hayvanların diyetlerine 14 gün süresince % 1 oranında bentonit ilave edilmesi durumunda, hayvanların sütüne geçen AFM₁ miktarında kontrole göre % 66.57 oranında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Abdel-Wahhab ve ark. (2002) bentonitin gastrointestinal bölgede aflatoksine (2.5 mg kg⁻¹) karşı etkili bir şekilde bağlandığını ve gastrointestinal bölgede aflatoksinin kanserojenik aktivitesini önemli ölçüde düşürdüğünü göstermişlerdir.

2.3. Zeolit

Zeolit, SiO_4 ve AlO_4 'ün tetrahedronlarından oluşmaktadır (Huwig ve ark., 2001). Zeolit molekülünün kuarterner amonyum iyonları ile muamele edilmesi sonucu, apolar organik bileşikleri bağlama yeteneğinin önemli ölçüde arttığı belirtilmektedir (Dakovic ve ark., 2003). *In vitro* koşullarda yapılan bir çalışmada, zeolit (% 10) AFB₁, ZEN, DON ve OTA'yı sırasıyla % 99, % 5, % 1 ve % 40 oranında bağlama yeteneği gösterdiğini, ergopeptin alkaloidlerini ise % 82-94 oranında bağladığını göstermişlerdir (Tomasevic-Canovic ve ark., 2003). Diğer yandan, Dakovic ve ark. (2003), hayvan yemlerine zeolit ilavesinin, gastrointestinal sistemde OTA'nın toksik aktivitesini engellediğini bildirmişlerdir.

2.4. Susuz Sodyum Kalsiyum Alüminyum Silikat (HSCAS)

Alüminyum silikatlar içerisinde doğal zeolit (NovasilTM, Engelhard Corp., Cleveland, OH)'den elde edilen HSCAS'ın, aflatoksinleri bağlama yeteneği bakımından en etkili adsorban madde olduğu ileri sürülmektedir (Ramos ve ark., 1996; Ramos ve Hernandez, 1997). HSCAS'ın hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda AFB₁'i yüksek oranda bağlama yeteneği gösterdiği bildirilmektedir (Galvano ve ark., 2001). Diğer yandan HSCAS'ın, ZEN ve OTA'ya karşı sınırlı düzeyde etki gösterdiği, trikotesenlere karşı ise etkili olmadığı öne sürülmektedir (Ramos ve ark., 1996). Bu konuda yapılan bir çalışmada HSCAS'ın *in vivo* ortamda OTA'ya karşı önemli bir etki göstermemesine karşın, *in vitro* ortamlarda yüksek oranda bağlama yeteneği gösterdiği belirtilmektedir (Lemke ve ark., 2001).

Galvano ve ark. (1998) 2-10 mg HSCAS'ın 4 mg ml⁻¹ OTA ve 4 mg ml⁻¹ DON'ü önemli oranda

bağladığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Lemke ve ark. (2001), 1 mg HSCAS'ın ortamda bulunan AFB₁'in % 90'dan fazlasını (0.115 mol kg⁻¹) bağladığını göstermişlerdir.

HSCAS'ın *in vivo* koşullarda da aflatoksinlerin toksisitesini azalttığı belirlenmiştir. Galvano ve ark. (1996), süt veren hayvanlarda yaptıkları çalışmada AFB₁ ile kontamine olmuş (11.28 mg kg⁻¹) yemle beslenen hayvanların diyetlerine % 2 oranında HSCAS ilave edilmesi durumunda, kontrole göre hayvanların sütüne geçen AFM₁ düzeyinde % 36 oranında azalmanın meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bu konuda yapılan başka bir çalışmada, 200 mg kg⁻¹ AF ile kontamine olmuş yemle beslenen süt veren hayvanların diyetlerine 8 gün süresince % 4 HSCAS ilave edilmesi sonucu, hayvanların sütüne geçen AFM₁ miktarında kontrole göre % 86.9 oranında azalmanın olduğu görülmüştür benzer şekilde 100mg kg⁻¹ aflatoksin içeren yemle beslenen hayvanların diyetlerine 12 gün süresince % 1-2 oranında HSCAS ilavesinin, dokulara taşınan aflatoksin miktarında kontrole göre % 51.9-82.2 arasında azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir. Bu konuda yapılan başka bir çalışmada ise, 524 mg kg⁻¹ AF B₁+B₂ içeren yemlere 35 gün süresince % 0.5 HSCAS ilavesinin, karaciğer, böbrek ve kaslardaki dokulara taşınan aflatoksin miktarının önemli ölçüde azalmasına neden olduğu belirlenmiştir (Ramos ve Hernandez, 1997). Benzer şekilde Abdel-Wahhab ve ark. (2002), HSCAS'ın aflatoksine etkili bir şekilde bağlandığını ve aflatoksinin gastrointestinal bölgede aktivitesini azalttığını bildirmişlerdir.

HSCAS'ın aflatoksin dışında diğer mikotoksin türlerine karşı aktivite göstermediği *in vitro* koşullarda yapılan araştırmalar sonucu ortaya konmuştur. Örneğin, 8 mg kg⁻¹ T2 toksini ile kontamine olmuş tavuk yemlerine % 0.5 HSCAS ilavesinin T₂ toksini üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Benzer şekilde 3.5-11 mg kg⁻¹ DON ile kontamine olmuş yemle beslenen hayvanların diyetlerine % 0.5-1.0 oranında HSCAS ilavesinin domuzların performansına ve verimine etkisinin bulunmadığı belirtilmektedir (Ramos ve ark., 1997). Diğer yandan, HSCAS'ın tavuk yemlerine ilave edilmesi aflatoksinlerin toksik aktivitesini engellerken, OTA'nın toksisitesini engellemediği bildirilmektedir (Ellis ve ark., 2000).

Mikotoksinleri detoksifiye etmek amacıyla kullanılan adsorban maddelerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Adsorban maddelerin vitaminleri ve mineral maddeleri yüksek oranda bağlama yeteneği göstermesi ve maliyeti arttırması nedeniyle kullanımı sınırlanmaktadır. Bunun yanı sıra, örneğin aktif kömürün, hayvan yemine ilave edilmesi durumunda, ortamı siyahlaştırması da istenmeyen özellikler arasında yer almaktadır (Galvano ve ark., 2001). Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (US. Food and Drug Administration) belirtilen adsorban maddelerin hayvan yemlerine maksimum % 2 oranında ilave edilmesini GRAS (generally regarded as safe) olarak değerlendirmişlerdir (Diaz ve ark., 2002).

3. SONUÇ

Son yıllarda, mikotoksinlerin detoksifikasyonu ve/veya toksik etkisinin azaltılması amacıyla geliştirilen yöntemlerden birisi de adsorban maddelerin kullanımınıdır. Bu konuda öncelikli olarak yapılan *in vitro* araştırmalar özellikle aflatoksinler üzerinde yoğunlaşmış bulunmakla birlikte, OTA, FB₁, ZEN ve DON üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Mikotoksinlerin adsorban ajanlar tarafından bağlanmasında, adsorban maddenin fizikokimyasal özellikleri ve mikotoksinlerin polaritesi önemli rol oynamaktadır. Kullanılan adsorban ajanların içerisinde özellikle HSCAS'ın *in vitro* ve *in vivo* koşullarda aflatoksinlere karşı etkili bir şekilde bağlanma yeteneği gösterdiği, ZEN, OTA ve trikosenlere karşı ise etkili olmadığı belirlenmiştir. Mikotoksinlere karşı zayıf bağlanma yeteneği gösteren bentonit ve zeolit moleküllerinin yüzeyinde bulunan inorganik katyonların uzun zincirli kuarterner amonyum bileşikleriyle değiştirilmesi ile aktivitesi arttırılmaktadır. Diğer yandan, adsorban madde olarak kullanılacak ajanların etkinliğinin, güvenilirliğinin ve gıda maddesiyle etkileşime girip girmediğinin belirlenmesi amacıyla yapılan *in vivo* araştırmaların sürdürülmesine gereksinim duyulmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- ABDEL-WAHAB, M. A., NADA, S. A., KHALIL, F. A., 2002. Physiological and toxicological responses in rats fed aflatoxin-contaminated diet with or without sorbent materials. *Animal Feed Science and Technology*, 97, 209-219.
- ANONIM, 2004a. Teknopark aktif karbon teknolojisi sitesi. <http://aktifkarbon.com/secim>
- ANONIM, 2004b. Kimyaevi. <http://www.kimyaevi.org/merak/aktif.asp>
- ATROSHI, F., RIZZO, A., WESTERMACK, T., ALI-VEHMAS, T., 2002. Antioxidant nutrients and mycotoxins. *Toxicology*, 180, 151-167.
- BATA, A., LASZTITY, R., 1999. Detoxification of mycotoxin-contaminated food and feed by microorganisms. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 223-228.
- DAKOVIC, A., TOMASEVIC-CANOVIC, M., ROTTINGHAUS, G., DONDUR, V., MASIC, Z., 2003. Adsorption of ochratoxin A on octadecyldimethyl benzyl ammonium exchanged-clinoptilolite-heulandite tuff. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 30, 157-165.
- DIAZ, D. E., HAGLER JR, W. M., HOPKINS, B. A., WHITLOW, L. W., 2002. Aflatoxin binders I: in vitro binding assay for aflatoxin B1 by several potential sequestering agents. *Mycopathologia*, 156, 223-226.
- DOYLE, M. P., APPLEBAUM, R. S., BRACKETT, R. E., MARTH, E. M., 1982. Physical, chemical and biological degradation mycotoxins in foods and agricultural commodities. *Journal of Food Protection*, 45(10), 964-971.
- EC (EUROPEAN COMMISSION), 1999. Scientific committee on plants. Opinion on the relationship between the use of plant protection products on food plants and the occurrence of mycotoxins in foods. SCP/RESI/063, 30 November, Brussel.
- ELLIS, R. W., CLEMENTS, M., TIBBETTS, A., WINFREE, R., 2000. Reduction of the bioavailability of 20 mg / kg aflatoxin in trout feed containing clay. *Aquaculture*, 183, 179-188.
- GALVANO, F., PIETRI, A., BERTUZZI, T., FUSCONI, G., GALVANO, M., PIVA, A., PIVA, G., 1996. Reduction of carryover of aflatoxin from cow feed to milk by addition of activated carbons. *Journal of Food Protection*, 59(5), 551-554.
- GALVANO, F., PIETRI, A., BERTUZZI, T., PIVA, A., CHIES, L., GALVANO, M., 1998. Activated carbons: in vitro affinity for ochratoxin a and deoxynivalenol and relation of adsorption ability to physicochemical parameters. *Journal of Food Protection*, 61(4), 469-475.
- GALVANO, F., PIVA, A., RITIENI, A., GALVANO, G., 2001. Dietary strategies to counteract the effects of mycotoxins: a review. *Journal of Food Protection*, 64(1), 120-131.
- HUEBNER, H. J., MAYURA, K., PALLARONI, L., AKE, C. L., LEMKE, S. L., HERRERA, P., PHILLIPS, T. D., 2000. Development and characterization of a carbon-based composite material for reducing patulin levels in apple juice. *Journal of Food Protection*, 63 (1), 106-110.
- HUSSEIN, H. S., BRASEL, J. M., 2001. Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology*, 167, 101-134.
- HUWIG, A., FREIMUND, S., KAPPELI, O., DUTLER, H., 2001. Mycotoxin detoxification of animal feed by different adsorbents. *Toxicology Letters*, 122, 179-188.
- KADAKAL, C., NAS, S., 2002. Effect of activated charcoal on patulin, fumaric acid and some other properties of apple juice. *Nahrung/Food*, 1, 31-33.
- LEMKE, S. L., OTTINGER, S. E., MAYURA, K., AKE, C. L., PIMPUKDEE, K., WANG, N., PHILLIPS, T. D., 2001. Development of a multi-tiered approach to the in vitro prescreening of clay-based enterosorbents. *Animal Feed Science and Technology*, 93,17-29.
- MCKENZIE, K. S., SARR, A. B., MAYURA, K., BAILEY, R. H., MILLER, D. R., ROGERS, T. D.,

- NORRED, W. P., VOSS, K. A., PLATTNER, R. D., KUBENA, L. F., PHILLIPS, T. D., 1997. Oxidative degradation and detoxification using a novel source of ozone. *Food and Chemical Toxicology*, 35, 807-820.
- McLEAN, M., DUTTON, M. F., 1995. Cellular interactions and metabolism of aflatoxin: an update. *Pharmac. Ther.*, 65, 163-192.
- NAGESWARA RAO, S. B., CHOPRA, R. C., 2001. Influence of sodium bentonite and activated charcoal on aflatoxin M1 excretion in milk of goats. *Small Ruminant Research*, 41, 203-213.
- PAPP, E., H-OTTA, G., ZARAY, G., MINCSOVICS, E., 2002. Liquid chromatographic determination of aflatoxins. *Microchemical Journal*, 73, 39-46.
- PIVA, G., GALVANO, F., PIETRI, A., PIVA, A., 1995. Detoxification methods of aflatoxins. A review. *Nutrition Research.*, 15(5), 767-776.
- PELTONEN, K., EL-NEZAMI, H., PIERIDES, M., SALMINEN, S., AHOKAS, J. T., 2000. Binding of aflatoxin B1 by probiotic bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1942-1945.
- RAMOS, A. J., FINK-GREMMELS, J., HERNANDEZ, E., 1996. Prevention of toxic effects of mycotoxins by means of nonnutritive adsorbent compounds. *Journal of Food Protection*, 59(6), 631-641.
- RAMOS, A. J., HERNANDEZ, E., 1997. Prevention of aflatoxicosis in farm animals by means of hydrated sodium calcium aluminosilicate addition to feedstuffs: a review. *Animal Feed Science Technology*, 65, 197-206.
- RUSTOM, I. Y. S., 1997. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chemistry*, 59(1), 57-67.
- SAMARAJEEWA, U., SEN, A. C., COHEN, M. D., WEI, C. I., 1990. Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods. *Journal of Food Protection*, 53(6), 489-501.
- SWEENEY, M. C., DOBSON, A. D. W., 1999. Molecular biology of mycotoxin biosynthesis. *FEMS Microbiology Letters*, 175, 149-163.
- TOMASEVIC-CANOVIC, M., DAKOVIC, A., ROTTINGHAUS, G., MATIJASEVIC, S., DURICIC, M., 2003. Surfactant modified zeolites-new efficient adsorbents for mycotoxins. *Microporous and Mesoporous Materials*, 61, 173-180.
- TOPAL, Ş., ARAN, N., PEMBEZI, C., 1999. Türkiye'nin tarımsal mikroflorasının mikotoksin profilleri. *Gıda Dergisi*, 24(2), 129-137.
- WANG, J., GROOPMAN, J. D., 1999. DNA damage by mycotoxins. *Mutation Research*, 424, 167-181.
- WEIDENBORNER, M., WIECZOREK, C., APPEL, S., KUNZ, B., 2000. Whole wheat and white wheat flour-the mycobiota and potential mycotoxins. *Food Microbiology*, 17, 103-107.