

***Lycopersicon esculentum* Mill. Fidiciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi**

**Güler ÇOLAK¹, M. Celalettin BAYKUL², Remzi GÜRLER³, Ercan ÇATAK¹
Necmettin CÄNER⁴, Süleyman TOKUR¹**

¹Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Eskişehir

²Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Eskişehir

³Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Eskişehir

⁴Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Eskişehir

Özet : Bu çalışmada *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinde artan alüminyum konsantrasyonlarına bağlı olarak gözlenen büyüme inhibisyonları düşük vakumlu Scanning Elektron Mikroskobu Mikrografı (LV-SEM) ve EDX Analizleri (Energy Dispersive X-Ray Microanalysis) ile incelendi. Çalışmamızda düşük konsantrasyonlarda uygulanan alüminyum kök emici tüyleri gelişiminde artışlara neden olurken, özellikle 200 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren de düşüşler söz konusu idi. 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren hipokotil epidermal hücrelerinde uzama büyümesinin önemli ölçüde indirildiği gözlenirken, alüminyum uygulamalarına bağlı olarak kotiledonların anatomik yapılarında kaydedilen en belirgin farklılık alt epidermal hücrelerde stoma sayılarında saptanan düşüştü. *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kökçük ve hipokotil epidermal hücrelerinin bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerinin de toksik konsantrasyonlarda (500 ve 1000 ppm) uygulanan alüminyumun etkisiyle değişebildiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: *Lycopersicon esculentum*, Alüminyum, Epidermal Sistem

Study of Aluminum Effects of Absorption Applied in Different Concentrations to *Lycopersicon esculentum* Mill. Seedlings by LV SEM

Abstract: In that study, growing up inhibitions of *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 seedlings has been studied by low vacuum Scanning Electron Microscope (LV-SEM) and EDX (Energy Dispersive X-Ray Microanalysis) analysis. They were observed according to aluminum concentrations. As aluminum concentrations especially beginning from 200 ppm caused to decreases, effects of aluminum which were applied in low concentrations caused to increases in the growing of root hairs. The aluminum concentration from 50 ppm on, the growing in the length was observed and showed that it was low in the epidermal cells of hypocotyl. It is also found that the number of stomata in the epidermal cells decreased according to the addition of aluminum. Contents of some macro and micro nutrient elements for the root and hypocotyl cells of *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 seedlings were found that they changed with effects of the addition of aluminum in the toxic concentration (500 and 1000 ppm).

Key Words: *Lycopersicon esculentum*, Aluminium, Epidermal System

Giriş

Asit mineral topraklarda alüminyum iyonlarının fazlalığı bitki türlerinin ve ekotipin dağılımını, bitki büyüme ve ürün verimini sınırlandıran en önemli faktörlerden biridir (Horst, 1995). pH değerleri 5.5'un altında olan asit tepkimeli topraklarda alüminyumun çözünürlüğü hızla artar ve katyon değişim bölgelerinin yarıdan fazlası alüminyum tarafından işgal edilebilir, alüminyum bitkiler tarafından hızla alınabilir ve işte bu olgu birçok asit

toprakta büyümeyi sınırlayıcı bir etken olan alüminyum toksisitesi ile sonuçlanabilir (Aydemir ve İnce, 1988).

Her ne kadar alüminyum toksisitesi yeryüzünde işlenebilir toprakların % 40'ını kapsayan asit topraklar üzerinde ürün verimliliğinin başlıca sınırlayıcısı olarak kabul edilse de (Kochian, 1995), toksisitesinin moleküler ve biyokimyasal temeli yeterince bilinmemektedir (Larse ve ark. 1998). Bir görüşe göre alüminyum toksisitesinin başlangıç ve en çarpıcı belirtisi kök büyümesinin inhibisyonudur ki, bu durumun indirgenmiş ve hasara uğramış kök sistemi ile sonuçlanabileceği, mineral

noksanlıklarına ve su stresine yol açabileceği bildirilmektedir (Kochian, 1995). Bir diğer görüşe göre alüminyum esas olarak hücre bölünme ve hücre uzama mevkiinde olan kök uçlarında birikir ve hücre bölünme hızının inhibisyonu çekirdekdeki kromatin ile alüminyumun direkt interaksyonuna bağlıdır (Horst, 1995). *Glycine max* ile yapılan bir çalışmada çözeltilerdeki monomerik alüminyum türlerinin düşük aktivitelerinin kök büyümesini ve kök tüyü gelişimini azalttığı saptanmıştır (Brady ve ark. 1993). Aynı çalışmada kalsiyum, alüminyumun kök büyümesi üzerindeki toksik etkilerini belli bir dereceye kadar iyileştirmiş, fakat kök tüyü gelişimi üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir (Brady ve ark. 1993). Kochian'da (1995) alüminyum toksisitesinin başlıca belirtisinin kök büyümesinin hızlı bir inhibisyonu olduğu kanaatinde ki,

Materyal ve Metodlar

Çalışmada materyal olarak *Solanaceae* familyasına ait *L. esculentum*'un bir kültür varyetesi kullanıldı. Araştırma materyalini teşkil eden *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumları Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edildi.

Çalışmanın başlangıcında araştırma materyalini teşkil eden *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumları öncelikle % 96'lık etil alkolde 1 dakika ve % 5'lik sodyum hipokloritte 35 dakika bekletilmek suretiyle bir seri yüzeysel sterilizasyon işlemine tabi tutuldular. Daha sonra steril saf su banyolarından geçirilmek suretiyle sodyum hipokloritten arındırıldılar. Sterilizasyon işlemi tamamlanan bitki tohumları içlerinde filtre kağıtları bulunan steril petri kaplarına steril bir ortamda ve steril pensler yardımıyla 100'er adet olmak üzere ekildiler.

Besin çözeltisi olarak Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro elementleri tercih edildi (Murashige ve Skoog, 1962). Bu besin elementleri konsantrasyonları: CaCl_2 , 332.02 mg/l; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.025 mg/l; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.025 mg/l; FeNaEDTA , 36.70 mg/l; H_3BO_3 , 6.20 mg/l; KH_2PO_4 , 170.00 mg/l; KI , 0.83 mg/l; KNO_3 , 1900 mg/l; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 370.00 mg/l; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 16.90 mg/l; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.25 mg/l; NH_4NO_3 , 1650 mg/l; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 8.60 mg/l şeklinde idi. Alüminyum uygulamaları ise $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ formunda

araştırıcı bu duruma hücre duvarı, plazma membranı yada kök simplazmı içinde alüminyum interaksyonlarını içeren farklı birkaç mekanizma ile sebep olunabileceğini öne sürmektedir.

Biz ise bu çalışmada 13 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinde alüminyum stresinin etkilerini düşük vakumlu Scanning Elektron Mikroskopu yardımıyla gerçekleştirdiğimiz anatomik çalışmalar ve EDX analizlerinde (Energy Dispersive X-Ray Microanalysis) inceledik. Bu çalışmada elde ettiğimiz bulguların *L. esculentum*'da alüminyum kaynaklı büyüme azalmalarının fizyolojik mekanizmalarının aydınlatılmasında önemli bir katkısı olacağı inancındayız.

alüminyum içeren ve 7 ayrı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler (1, 10, 50, 100, 200, 500 ve 1000 ppm) kullanılmak suretiyle gerçekleştirildi.

Çalışmada EDX analizleri için, ilk gruptaki 100 adet tohum kontrol grup olarak bırakıldı ve bu gruptaki bitki tohumlarına araştırma süresince yalnızca Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro besin elementleri uygulandı. Böylelikle 13 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin inceleme kapsamına alınan makro ve mikro besin elementleri açısından genotipik alım potansiyeli ile kökçük, hipokotil, kotiledon alt ve üst epidermal hücrelerinin makro ve mikro besin elementleri içerikleri hakkında genel bir bilgi sahibi olundu. 2 ayrı seriye Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro besin elementleri ile birlikte 500 ve 1000 ppm $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltileri uygulandı. Bu uygulamalar esnasında Murashige-Skoog besin çözeltisi miktarları uygulanan alüminyum çözeltilerine eşit miktarlarda olacak şekilde ayarlandı. Geri kalan 2 ayrı seriye ise inkübasyon periyodu süresince Murashige-Skoog besin çözeltileri verilmeden, yalnızca 500 ve 1000 ppm $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltileri uygulandı. Böylelikle toksik konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyoları ile genç fideciklerde bazı endogen makro ve mikro besin elementlerinin mobilizasyonu üzerine etkileri de incelenmiş oldu. Aynı işlemler 1, 10, 50, 100 ve 200 ppm alüminyum konsantrasyonları için de tekrarlandı. Ancak 13 gün yaşlı fideciklerde bu serilerde EDX analizleri

alınmadı. Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlanan bitki tohumları 25±2 °C sıcaklığı olan ve 16 saat ışık, 8 saat karanlık şeklinde fotoperyot düzeni uygulanan bir kültür odasında 13 gün süreyle inkübasyona alındılar.

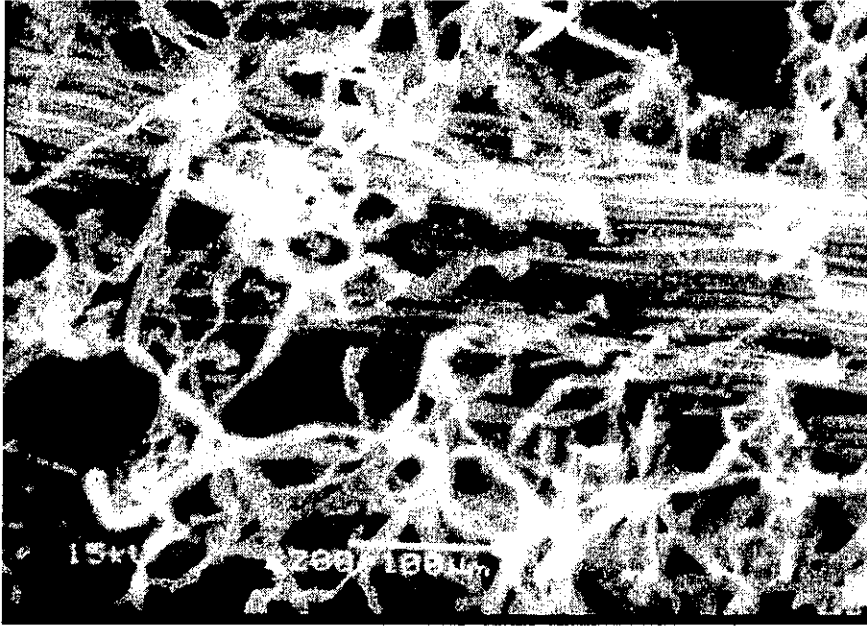
İnkübasyon süreleri sonunda besin çözeltilerinden izole edilen fideliklerin kökçük ve hipokotil epidermal hücrelerinin karbon, azot, oksijen, kükürt, fosfor, sodyum, magnezyum, potasyum, kalsiyum, mangan, demir, kobalt, bakır, çinko, klor, alüminyum ve selenyum içerikleri

Bulgular

Çalışmamızda artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkisiyle özellikle 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kökçük ve hipokotillerde uzama büyümesinin önemli ölçüde indirildiği gözlemlendi. Alüminyumun etkisi köklerde hipokotillerden daha belirgindi. Buna karşın 10 ppm alüminyum konsantrasyonunda kök emici tüyleri gelişiminde dikkat çekici bir artış saptandı. 50 ve 100 ppm alüminyum

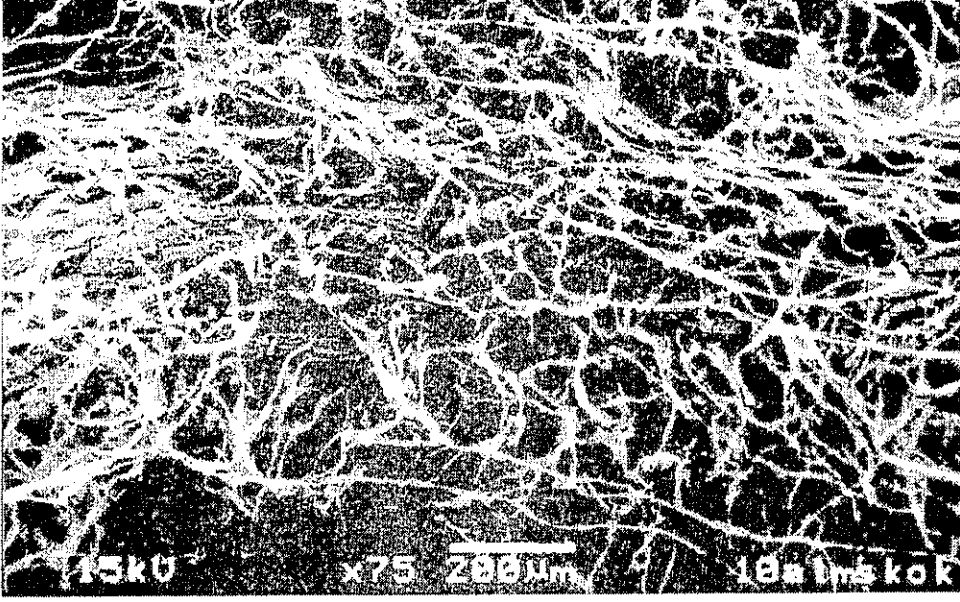
düşük vakumlu (10⁻⁴ paskal) Scanning Elektron Mikroskobu kullanılarak, yaklaşık olarak 450 µm x 350 µm'lik bölgelerden gerçekleştirilen genel EDX analizleri (Energy Dispersive X-Ray Microanalysis) ile belirlendi. Scanning Elektron Mikroskobu ile gerçekleştirilen anatomik incelemelerde 1, 10, 50, 100, 200, 500 ve 1000 ppm alüminyum konsantrasyonları tercih edildi. Bu konsantrasyonlarda kökçük, hipokotil ve kotiledonlardan elektron mikrografları alındı.

konsantrasyonlarında her ne kadar uzama büyümesi önemli ölçüde indirgenmiş olsa da kök emici tüyleri gelişiminde aynı inhibisyon geçerli değildi. 200 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren de kök emici tüyleri gelişiminde belirgin azalmalar kaydedildi. Özellikle 500 ppm alüminyum konsantrasyonunda kök yapısındaki deformasyon ve kök tüyü sayısındaki azalma dikkat çekici iken, 1000 ppm'de kök emici tüyleri gelişiminin tümüyle inhibe edildiği görüldü (Şekil 1-5).

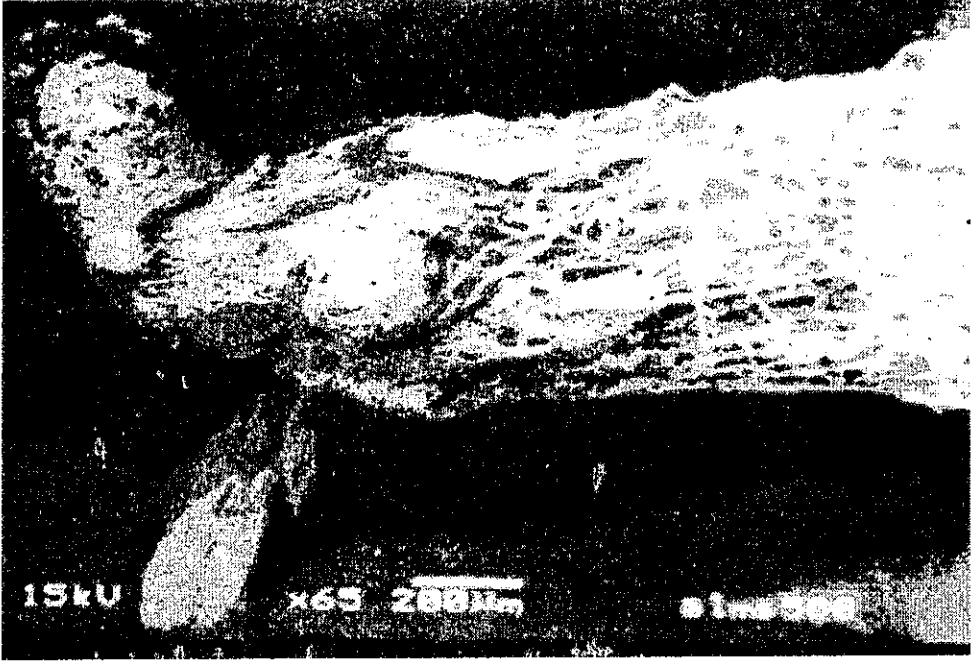


Şekil 1. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideliklerinin kök epidermal hücrelerinde emici tüy gelişimi.

Lycopersicon esculentum Mill. Fideciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi



Şekil 2. 10 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinde emici tüy gelişimi.



Şekil 3. 500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinde emici tüy gelişimi.

Çizelge 2. 500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.2917	1.746	57.17	50.93	+/-0.47	2.460
N-K	0.0208	9.421	18.85	19.59	+/-1.81	0.811
O-K	0.0324	8.518	23.24	27.58	+/-0.59	---
Se-L	0.0000	1.480	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S-K	0.0008	1.201	0.04	0.10	+/-0.01	0.002
P-K	0.0035	1.298	0.20	0.46	+/-0.02	0.009
Na-K	0.0000	2.474	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Mg-K	0.0000	1.778	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
K-K	0.0022	1.178	0.09	0.26	+/-0.01	0.004
Ca-K	0.0002	1.148	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0001	1.299	0.00	0.01	+/-0.02	0.000
Fe-K	0.0000	1.289	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co-K	0.0000	1.318	0.00	0.00	+/-0.03	0.000
Cl-K	0.0027	1.215	0.12	0.33	+/-0.03	0.005
Al-K	0.0026	1.643	0.21	0.42	+/-0.01	0.009
Cu-K	0.0013	1.353	0.04	0.18	+/-0.04	0.002
Zn-K	0.0010	1.363	0.03	0.13	+/-0.04	0.001
Total			100.00	100.00		3.303

Çizelge 3. 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.2188	1.951	48.97	42.69	+/-0.45	1.723
N-K	0.0276	7.987	21.67	22.03	+/-1.42	0.762
O-K	0.0414	7.969	28.42	33.00	+/-0.57	---
Se-L	0.0000	1.515	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S-K	0.0007	1.209	0.03	0.08	+/-0.01	0.001
P-K	0.0037	1.311	0.22	0.49	+/-0.01	0.008
Na-K	0.0000	2.571	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Mg-K	0.0000	1.830	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
K-K	0.0004	1.180	0.02	0.05	+/-0.01	0.001
Ca-K	0.0002	1.148	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0000	1.304	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe-K	0.0002	1.278	0.01	0.02	+/-0.02	0.000
Co-K	0.0000	1.312	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl-K	0.0055	1.220	0.26	0.67	+/-0.02	0.009
Al-K	0.0040	1.674	0.35	0.68	+/-0.01	0.012
Cu-K	0.0011	1.349	0.03	0.15	+/-0.04	0.001
Zn-K	0.0010	1.357	0.03	0.13	+/-0.04	0.001
Total			100.00	100.00		2.519

Çalışmamızda 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde gelişmeye terk edilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumlarının bazılarında çimlenmenin yalnızca radikula gelişimi düzeyinde kaldığı görüldü. 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikula epidermal hücrelerinde

gerçekleştirilen EDX analizleri sonuçları kontrol grup değerleri ile karşılaştırıldığında, radikulaların karbon içeriklerinin kontrol grup değerinden belirgin olarak yüksek olduğu saptandı. Buna karşın azot ve oksijen içeriklerinde ise önemli düşüşlere tanık olundu. Radikulaların kükürt, potasyum ve kalsiyum içerikleri de kontrol grup ortalamasından belirgin olarak düşüktü. Bu durum 500 ve 1000 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin köklerinde

Lycopersicon esculentum Mill. Fidiciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi

de gözlenen bir durumdu. Buna karşın 500 ve 1000 alüminyum uygulanan fidiciklerin köklerinde belirlendiği şekilde radikulalarda da çok önemli bir fosfor birikimi söz konusu idi. 1000 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohum embriyolarının radikulalarında selenyum, magnezyum ve çinko elementleri belirlenemedi. Buna karşın inceleme

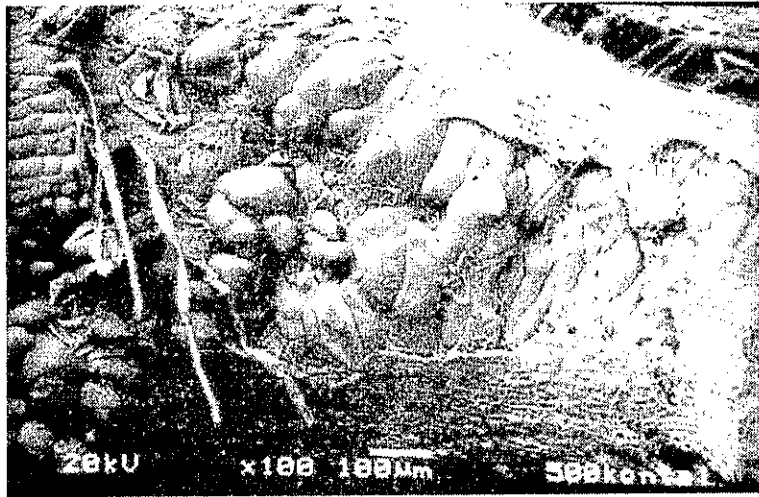
kapsamına alınan diğer üç seride kobalt elementi tespit edilemezken, radikulalarda çok düşük konsantrasyonlarda da olsa kobalt elementi saptandı. Radikulaların demir içerikleri kontrol grup ile elde edilen değerden düşük iken, sodyum ve bakır içeriklerinin ise kontrol grup ortalamasına yakın değerler oldukları görüldü (Çizelge 4).

Çizelge 4. 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikula epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları.

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.4464	1.579	75.72	70.49	+/-0.55	5.934
N -K	0.0090	12.913	10.73	11.64	+/-2.77	0.841
O -K	0.0166	9.533	12.76	15.82	+/-0.40	---
Se -L	0.0000	1.417	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0010	1.183	0.05	0.12	+/-0.02	0.004
P -K	0.0027	1.267	0.14	0.35	+/-0.02	0.011
Na -K	0.0002	2.635	0.03	0.06	+/-0.04	0.002
Mg -K	0.0000	1.687	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
K -K	0.0004	1.180	0.02	0.05	+/-0.01	0.001
Ca -K	0.0003	1.151	0.01	0.04	+/-0.01	0.001
Mn -K	0.0001	1.310	0.00	0.01	+/-0.03	0.000
Fe -K	0.0003	1.292	0.01	0.03	+/-0.03	0.001
Co -K	0.0001	1.324	0.00	0.01	+/-0.03	0.000
Cl -K	0.0053	1.206	0.23	0.64	+/-0.03	0.018
Al -K	0.0036	1.547	0.27	0.56	+/-0.02	0.021
Cu -K	0.0007	2.600	0.04	0.19	+/-0.11	0.003
Zn -K	0.0000	1.992	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Total			100.00	100.00		6.837

SEM ile yapılan incelemelerde 500 ve özellikle 1000 ppm alüminyum uygulanan fidiciklerin bazılarında köklerin ileri derecede hasara uğradığı

ve bu tip köklerde epidermin yer yer yırtıldığı belirlendi (Şekil 6).



Şekil 6. 500 ppm alüminyum içeren ortamlarda geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kök epidermal hücrelerinde, epidermiste gözlenen deformasyon ve anormal görünümlü parankimatik hücreler.

Bu özelliği gösteren köklerde parçalanmış epidermisin hemen altındaki anormal görünümlü parankimatik özellikteki hücrelerden EDX analizleri gerçekleştirildiğinde ve bu hücrelerin bazı makro ve mikro besin elementleri içerikleri epidermis hücreleri ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, parankimatik özellikteki hücrelerin karbon içeriklerinin epidermis hücreleri ile elde edilen değerden yüksek olduğu görüldü. Parankimatik hücrelerin azot içeriklerinde ise hafif bir düşüş söz konusu idi. Parankimatik hücrelerin oksijen içerikleri de epidermis hücreleri ile elde edilen değerden düşüktü. Köklerin parankimatik hücrelerinde epidermis hücrelerinde belirtildiği şeklide selenyum elementine rastlanmadı. Keza parankimatik özellikteki hücrelerde gerçekleştirilen

EDX analizlerinde mangan, demir, çinko ve kobalt elementleri de saptanamadı. Buna karşın 1000 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermis hücrelerinde sodyum ve magnezyum elementleri belirlenemezken, parankimatik özellikteki hücrelerin sodyum ve magnezyum içerikleri oldukça yüksekti. Parankimatik hücrelerin fosfor içerikleri epidermis hücreleri ile elde edilen değere benzer bir ortalama değer iken, potasyum, kalsiyum ve bakır içeriklerinin ise epidermis hücreleri ile elde edilen değerden yüksek olduğu görüldü. Parankimatik hücrelerin alüminyum içerikleri epidermis hücrelerinde belirlenen değerden hafif bir yükseliş gösterirken, klor içeriklerinin ise epidermis hücrelerinden düşük olduğu saptandı (Çizelge 5).

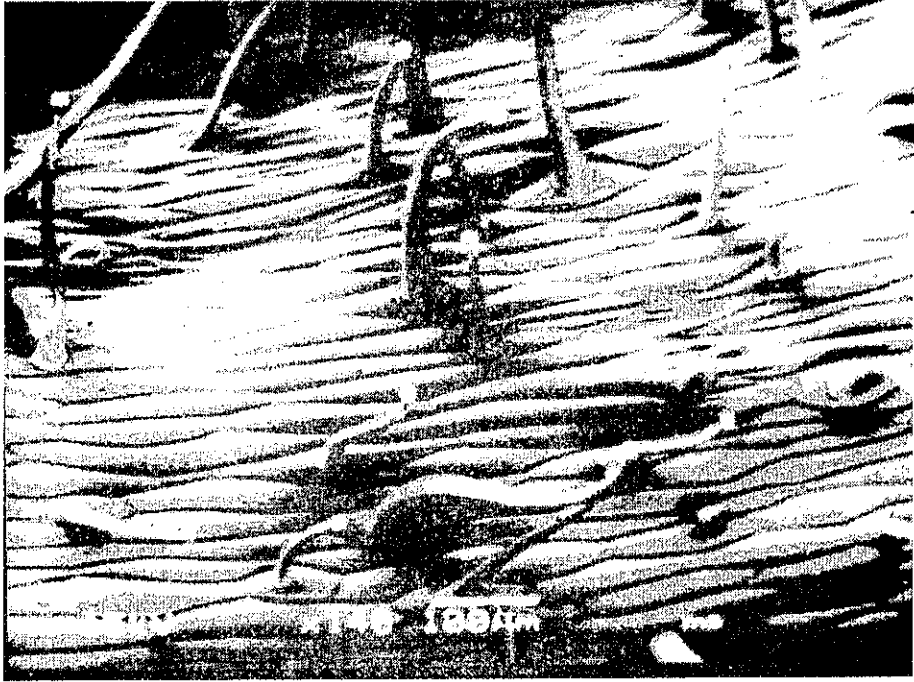
Çizelge 5. 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök parankima hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.2967	1.771	58.79	52.55	+/-0.52	2.781
N -K	0.0204	9.743	19.06	19.87	+/-1.91	0.902
O -K	0.0287	8.776	21.14	25.17	+/-0.58	---
Se -L	0.0000	1.462	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0012	1.202	0.06	0.15	+/-0.02	0.003
P -K	0.0037	1.298	0.21	0.48	+/-0.03	0.010
Na-K	0.0003	2.882	0.05	0.09	+/-0.04	0.002
Mg -K	0.0005	1.995	0.06	0.10	+/-0.02	0.003
K -K	0.0018	1.178	0.07	0.22	+/-0.03	0.004
Ca -K	0.0007	1.149	0.03	0.08	+/-0.01	0.001
Mn -K	0.0000	1.315	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe -K	0.0000	1.296	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co -K	0.0000	1.327	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl -K	0.0027	1.217	0.12	0.32	+/-0.03	0.006
Al -K	0.0043	1.631	0.35	0.71	+/-0.02	0.017
Cu -K	0.0010	2.873	0.06	0.28	+/-0.12	0.003
Zn -K	0.0000	2.088	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Total			100.00	100.00		3.731

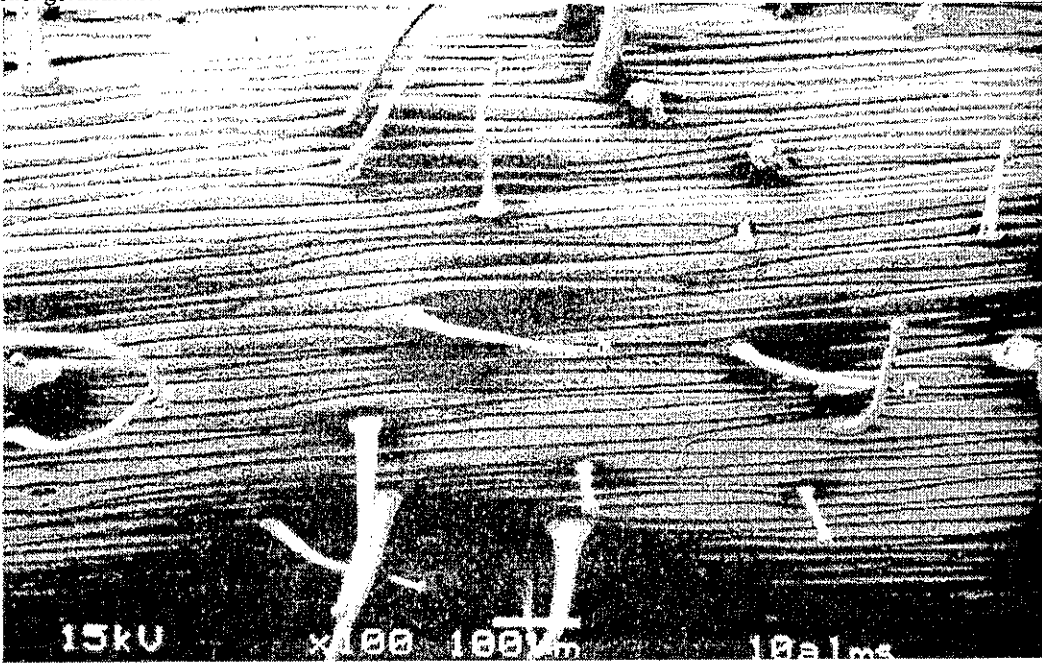
Çalışmamızda besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum ilavesi hipokotil epidermal hücrelerinde uzama büyümesini çok belirgin olarak teşvik etti. 50 ppm'de hipokotil epidermal hücrelerinde gözlenen büyüme inhibisyonları daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında da belirginleşerek devam etti.

Besin çözeltileri uygulanmayan, buna karşın, 13 gün boyunca sadece 500 ve 1000 ppm alüminyum içeren ortamlarda geliştirilen fideciklerin hipokotil epidermal hücrelerindeki büyüme inhibisyonları ise çok daha dikkat çekici idi (Şekil 7-11).

Lycopersicon esculentum Mill. fidiciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi



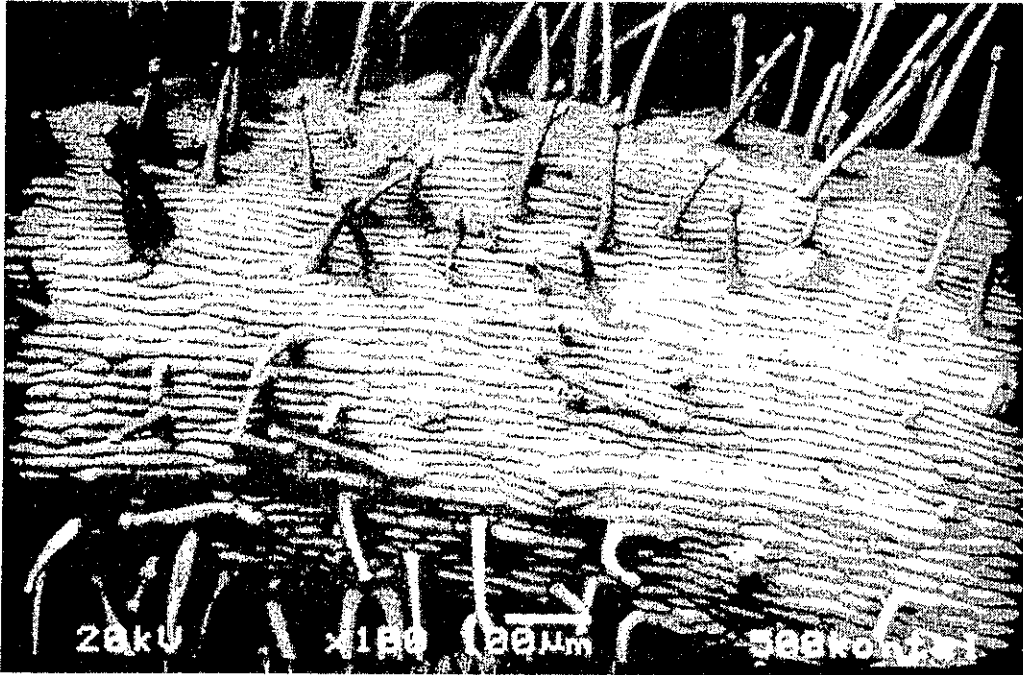
Şekil 7. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin genel görünümü



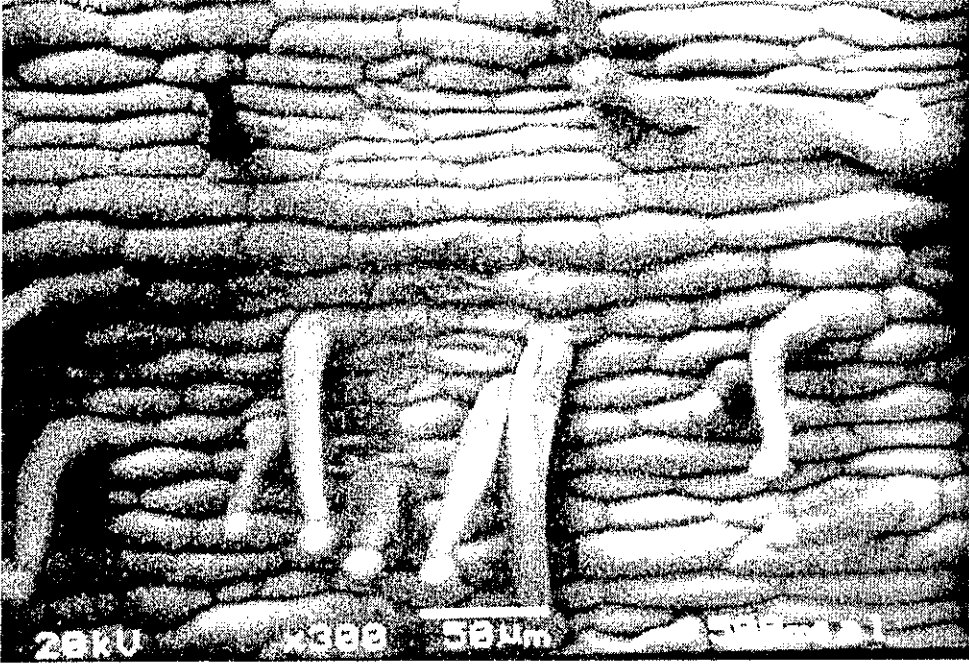
Şekil 8. 10 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin genel görünümü



Şekil 9. 200 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin genel görünümü



Şekil 10. 500 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin genel görünümü



Şekil 11. 500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin genel görünüşleri

L. esculentum Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkileri incelendiğinde, hipokotil epidermal hücrelerinin karbon ve azot içeriklerinin alüminyum uygulamalarına bağlı olarak artışlar gösterdiği, ancak 500 ve 1000 ppm değerlerinin birbirine yakın ortalama değerler oldukları görüldü. 500 ve 1000 ppm alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin oksijen içeriklerinde de birbirine yakın ortalama değerler elde edildi. 500 ppm alüminyum uygulanması hipokotil epidermal hücrelerinin kükürt ve magnezyum içeriklerinde değişikliğe neden olmazken, 1000 ppm'de her iki elementin de içeriklerinde düşüşler gözlemlendi. 500 ppm alüminyum uygulaması ile hipokotil epidermal hücrelerinin potasyum içeriklerinde hafif bir yükseliş söz konusu iken, 1000 ppm'de hipokotil epidermal hücrelerinin potasyum içeriklerinde düşüş kaydedildi. Kontrol grubu oluşturan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin kalsiyum içerikleri oldukça yüksek iken, 500 ve 1000 ppm alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin kalsiyum içeriklerinde çok belirgin bir düşüş kaydedildi.

Ancak 500 ve 1000 ppm değerleri benzerdi. 500 ppm alüminyum uygulanması hipokotil epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde düşüşe neden olurken, 1000 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotil epidermal hücrelerinde mangan elementine rastlanmadı. Keza kontrol grubu oluşturan hipokotil epidermal hücrelerinin demir içerikleri yüksek iken, 500 ve 1000 ppm alüminyum uygulanan fidiciklerin hipokotil epidermal hücrelerinde demir elementine rastlanmadı. Besin çözeltilerine 500 ppm alüminyum uygulanması durumunda hipokotil epidermal hücrelerinde sodyum ve kobalt elementlerine rastlanmazken, 1000 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotil epidermal hücrelerinin sodyum ve kobalt içerikleri kontrol grup ortalamasından düşüktü. Besin çözeltilerine 500 ve 1000 ppm alüminyum uygulanması durumunda *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin alüminyum ve klor içeriklerinin düzenli artışlar gösterdiği belirlenirken, bunun klor elementi için alüminyumdan çok daha dikkat çekici olduğu görüldü. Besin çözeltilerine 500 ve 1000 ppm alüminyum ilavelerinin *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin çinko ve bakır içeriklerinde düşüşlere neden olduğu belirlendi. Ancak çinko

elementinde alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı düzenli bir düşüş söz konusu iken, hipokotil epidermal hücrelerinin bakır içeriklerinde

gözlenen düşüşün alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı lineer bir düşüş olmadığı saptandı (Çizelge 6-8).

Çizelge 6. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.0485	2.185	13.30	10.60	+/-0.71	0.215
N-K	0.0875	2.595	24.44	22.71	+/-1.02	0.395
O-K	0.1459	4.498	61.85	65.64	+/-0.44	---
Se-L	0.0000	1.901	0.00	0.01	+/-0.03	0.0000
S-K	0.0002	1.234	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
P-K	0.0008	1.365	0.05	0.10	+/-0.01	0.001
Na-K	0.0004	3.660	0.10	0.15	+/-0.08	0.002
Mg-K	0.0002	2.385	0.02	0.04	+/-0.02	0.000
K-K	0.0008	1.173	0.04	0.09	+/-0.01	0.001
Ca-K	0.0008	1.139	0.04	0.10	+/-0.02	0.001
Mn-K	0.0001	1.278	0.00	0.02	+/-0.03	0.000
Fe-K	0.0004	1.260	0.01	0.05	+/-0.03	0.000
Co-K	0.0002	1.291	0.01	0.03	+/-0.03	0.000
Cl-K	0.0004	1.232	0.02	0.05	+/-0.01	0.000
Al-K	0.0001	1.858	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Cu-K	0.0015	1.332	0.05	0.20	+/-0.05	0.001
Zn-K	0.0013	1.338	0.04	0.17	+/-0.06	0.001
Total			100.00	100.00		0.617

Çizelge 7. 500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.1298	1.907	29.47	24.74	+/-0.50	0.704
N-K	0.0590	4.722	28.46	27.86	+/-1.22	0.680
O-K	0.0694	6.741	41.86	46.81	+/-0.43	
Se-L	0.0000	1.648	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S-K	0.0002	1.212	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
P-K	0.0002	1.333	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0000	2.926	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Mg-K	0.0002	2.218	0.02	0.04	+/-0.01	0.001
K-K	0.0010	1.174	0.04	0.11	+/-0.01	0.001
Ca-K	0.0001	1.143	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0001	1.291	0.00	0.01	+/-0.02	0.000
Fe-K	0.0000	1.284	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co-K	0.0000	1.316	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cu-L	0.0002	3.361	0.01	0.06	+/-0.06	0.000
Zn-L	0.0005	2.884	0.03	0.14	+/-0.04	0.001
Cl-K	0.0012	1.221	0.06	0.15	+/-0.01	0.001
Al-K	0.0001	1.760	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Total			100.00	100.00		1.389

Lycopersicon esculentum Mill. Fidiciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi

Çizelge 8. 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.1241	1.936	28.69	24.03	+/-0.42	0.680
N -K	0.0612	4.809	28.86	28.19	+/-0.98	0.684
O-K	0.0701	6.716	42.17	47.05	+/-0.37	---
Se-L	0.0001	1.788	0.00	0.02	+/-0.02	0.000
S -K	0.0001	1.213	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
P -K	0.0004	1.334	0.03	0.06	+/-0.01	0.001
Na-K	0.0002	3.317	0.05	0.08	+/-0.04	0.001
Mg-K	0.0001	2.221	0.02	0.03	+/-0.01	0.000
K -K	0.0005	1.174	0.02	0.06	+/-0.01	0.000
Ca-K	0.0001	1.142	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0000	1.299	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe-K	0.0000	1.283	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co-K	0.0002	1.306	0.01	0.02	+/-0.02	0.000
Cu-L	0.0004	3.377	0.03	0.12	+/-0.07	0.001
Zn-L	0.0002	2.884	0.01	0.05	+/-0.08	0.000
Cl-K	0.0017	1.222	0.08	0.21	+/-0.02	0.002
Al-K	0.0003	1.762	0.03	0.05	+/-0.01	0.001
Total			100.00	100.00		1.371

Çalışmamızda Murashige-Skoog besin çözeltileri uygulanmayan buna karşın 13 gün boyunca sadece 500 ve 1000 ppm alüminyum çözeltilerinde gelişmeye terk edilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kök epidermal hücrelerinde selenyum, sodyum, mangan, demir, bakır ve çinko elementlerine rastlanmadı. 500 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kök epidermal hücrelerinin karbon, kükürt, fosfor, klor ve

alüminyum içerikleri 500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fidiciklerin kök epidermal hücrelerinde belirlenen değerlerden düşük iken, her iki serinin kalsiyum ve potasyum içeriklerinde birbirine yakın ortalama değerler elde edildi. Buna karşın 500 ppm alüminyum uygulanan fidiciklerin kök epidermal hücrelerinin azot ve karbon içerikleri daha yüksekti (Çizelge9).

Çizelge 9. 500 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.2381	1.722	46.90	41.00	+/-0.60	1.550
N -K	0.0304	7.565	22.53	22.97	+/-2.26	0.745
O-K	0.0449	7.851	30.25	35.23	+/-0.51	---
Se-L	0.0000	1.517	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0005	1.203	0.03	0.06	+/-0.01	0.001
P -K	0.0006	1.310	0.04	0.08	+/-0.01	0.001
Na-K	0.0000	2.581	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Mg-K	0.0002	2.100	0.02	0.03	+/-0.01	0.001
K -K	0.0024	1.174	0.10	0.28	+/-0.01	0.003
Ca-K	0.0003	1.146	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0000	1.314	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe-K	0.0000	1.300	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co-K	0.0003	1.317	0.01	0.04	+/-0.03	0.000
Cu-L	0.0000	2.564	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Zn-L	0.0000	2.228	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl-K	0.0016	1.214	0.08	0.20	+/-0.01	0.003
Al-K	0.0004	1.691	0.04	0.07	+/-0.01	0.001
Total			100.00	100.00		2.305

Murashige-Skoog besin çözeltileri uygulanmayan buna karşın 13 gün boyunca sadece 1000 ppm alüminyum çözeltilerinde gelişmeye terk edilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikullarının alüminyum ve klor içeriklerinde çok belirgin artışlar dikkati çekerken, karbon, potasyum, kalsiyum ve bakır içeriklerinde

ise düşüşler söz konusu idi. Buna karşın radikulların azot, oksijen, sodyum, fosfor ve magnezyum içerikleri 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen embriyoların radikullarında belirlenen değerlerden yüksekti (Çizelge 10).

Çizelge 10. 1000 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikula epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.2743	2.060	62.98	56.51	+/-0.45	3.514
N -K	0.0172	10.663	17.56	18.38	+/-1.53	0.980
O -K	0.0234	9.136	17.92	21.42	+/-0.45	---
Se-L	0.0000	1.438	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0010	1.191	0.05	0.12	+/-0.01	0.003
P -K	0.0042	1.282	0.23	0.54	+/-0.02	0.013
Na-K	0.0005	2.782	0.08	0.14	+/-0.03	0.005
Mg-K	0.0001	1.940	0.01	0.01	+/-0.02	0.000
K -K	0.0001	1.188	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Ca-K	0.0003	1.155	0.01	0.03	+/-0.01	0.001
Mn-K	0.0000	1.313	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe-K	0.0002	1.288	0.01	0.03	+/-0.02	0.000
Co-K	0.0001	1.321	0.00	0.02	+/-0.02	0.000
Cu-L	0.0002	2.782	0.01	0.05	+/-0.10	0.001
Zn-L	0.0000	2.049	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl-K	0.0162	1.211	0.74	1.96	+/-0.03	0.041
Al-K	0.0049	1.590	0.39	0.78	+/-0.02	0.022
Total			100.00	100.00		4.580

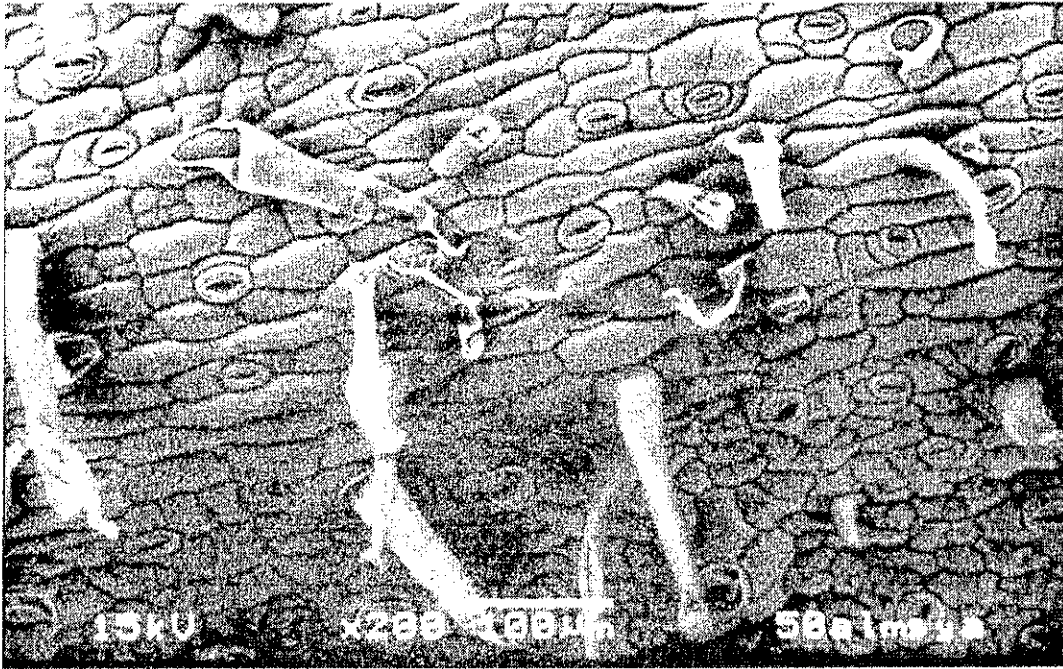
500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin sodyum, bakır ve çinko elementleri hariç, diğer makro ve mikro besin elementleri içerikleri 500 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin hipokotil epidermal hücrelerinde saptanan değerlerden çok belirgin farklılıklar göstermedi (Çizelge 11). Çalışmamızda besin çözeltilerindeki artan alüminyum konsantrasyonlarına bağlı olarak, kotiledonların testadan çıkışlarında gecikmeler söz konusu idi.

Özellikle 200 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kotiledon gelişimlerinde azalmalar dikkati çekerken, 500 ppm'de yalnızca birkaç fidecikte kotiledon gelişimine tanık olundu. 1000 ppm alüminyum uygulanan fideciklerde ise kotiledon gelişimi olmadı. Kotiledonların anatomik yapılarında alüminyum uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan en belirgin farklılık, alt epidermal hücrelerde stoma sayılarında saptanan düşüştü (Şekil 12, 13). Buna karşın üst epidermal hücrelerde bu tip bir farklılık gözlenmedi.

Lycopersicon esculentum Mill. fidiciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi

Çizelge 11. 500 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.1186	1.916	27.15	22.72	+/-0.36	0.646
N-K	0.0682	4.381	30.62	29.88	+/-0.81	0.729
O-K	0.0686	6.823	42.01	46.82	+/-0.34	---
Se-L	0.0001	1.791	0.00	0.01	+/-0.02	0.000
S-K	0.0001	1.213	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
P-K	0.0002	1.334	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0002	3.327	0.04	0.06	+/-0.04	0.001
Mg-K	0.0002	2.225	0.02	0.04	+/-0.01	0.001
K-K	0.0008	1.174	0.03	0.09	+/-0.01	0.001
Ca-K	0.0002	1.142	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0002	1.290	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Fe-K	0.0000	1.274	0.00	0.00	+/-0.01	0.000
Co-K	0.0000	1.317	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cu-L	0.0003	3.379	0.02	0.10	+/-0.07	0.001
Zn-L	0.0001	2.880	0.01	0.04	+/-0.07	0.000
Cl-K	0.0011	1.221	0.06	0.14	+/-0.01	0.001
Al-K	0.0001	1.765	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
Total			100.00	100.00		1.380



Şekil 12. 50 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kotiledon alt epidermal hücrelerinin genel görünüşleri

Murashige-Skoog besin çözeltileri uygulanmayan buna karşın 13 gün boyunca sadece 1000 ppm alüminyum çözeltilerinde gelişmeye terk edilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikularlarının alüminyum ve klor içeriklerinde çok belirgin artışlar dikkati çekerken, karbon, potasyum, kalsiyum ve bakır içeriklerinde

ise düşüşler söz konusu idi. Buna karşın radikularların azot, oksijen, sodyum, fosfor ve magnezyum içerikleri 1000 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen embriyoların radikularlarında belirlenen değerlerden yüksekti (Çizelge 10).

Çizelge 10. 1000 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikula epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.2743	2.060	62.98	56.51	+/-0.45	3.514
N-K	0.0172	10.663	17.56	18.38	+/-1.53	0.980
O-K	0.0234	9.136	17.92	21.42	+/-0.45	---
Se-L	0.0000	1.438	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S-K	0.0010	1.191	0.05	0.12	+/-0.01	0.003
P-K	0.0042	1.282	0.23	0.54	+/-0.02	0.013
Na-K	0.0005	2.782	0.08	0.14	+/-0.03	0.005
Mg-K	0.0001	1.940	0.01	0.01	+/-0.02	0.000
K-K	0.0001	1.188	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Ca-K	0.0003	1.155	0.01	0.03	+/-0.01	0.001
Mn-K	0.0000	1.313	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe-K	0.0002	1.288	0.01	0.03	+/-0.02	0.000
Co-K	0.0001	1.321	0.00	0.02	+/-0.02	0.000
Cu-L	0.0002	2.782	0.01	0.05	+/-0.10	0.001
Zn-L	0.0000	2.049	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl-K	0.0162	1.211	0.74	1.96	+/-0.03	0.041
Al-K	0.0049	1.590	0.39	0.78	+/-0.02	0.022
Total			100.00	100.00		4.580

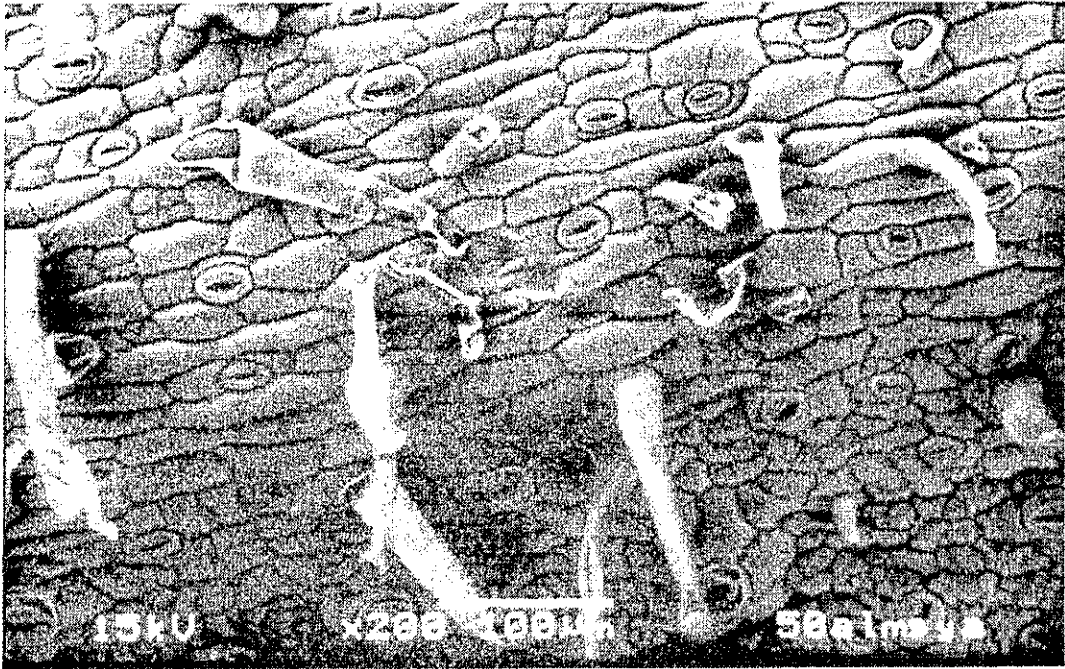
500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin sodyum, bakır ve çinko elementleri hariç, diğer makro ve mikro besin elementleri içerikleri 500 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin hipokotil epidermal hücrelerinde saptanan değerlerden çok belirgin farklılıklar göstermedi (Çizelge 11). Çalışmamızda besin çözeltilerindeki artan alüminyum konsantrasyonlarına bağlı olarak, kotiledonların testadan çıkışlarında gecikmeler söz konusu idi.

Özellikle 200 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kotiledon gelişimlerinde azalmalar dikkati çekerken, 500 ppm'de yalnızca birkaç fidecikte kotiledon gelişimine tanık olundu. 1000 ppm alüminyum uygulanan fideciklerde ise kotiledon gelişimi olmadı. Kotiledonların anatomik yapılarında alüminyum uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan en belirgin farklılık, alt epidermal hücrelerde stoma sayılarında saptanan düşüştü (Şekil 12, 13). Buna karşın üst epidermal hücrelerde bu tip bir farklılık gözlenmedi.

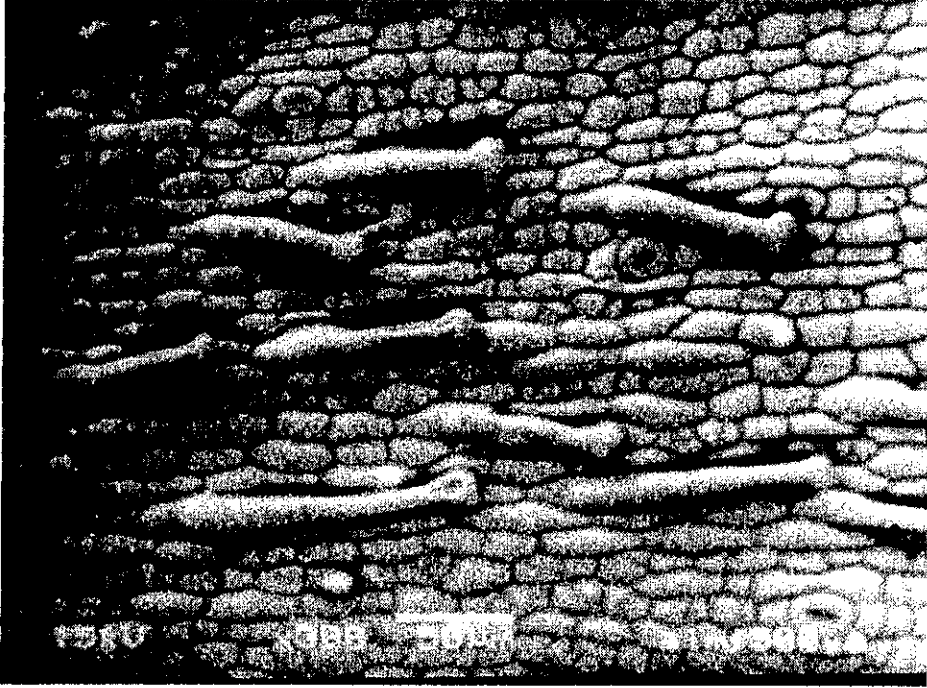
Lycopersicon esculentum Mill. fidiciklerine Farklı Konsantrasyonlarda Uygulanan Alüminyum Etkilerinin LV SEM ile İncelenmesi

Çizelge 11. 500 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.1186	1.916	27.15	22.72	+/-0.36	0.646
N-K	0.0682	4.381	30.62	29.88	+/-0.81	0.729
O-K	0.0686	6.823	42.01	46.82	+/-0.34	---
Se-L	0.0001	1.791	0.00	0.01	+/-0.02	0.000
S-K	0.0001	1.213	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
P-K	0.0002	1.334	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0002	3.327	0.04	0.06	+/-0.04	0.001
Mg-K	0.0002	2.225	0.02	0.04	+/-0.01	0.001
K-K	0.0008	1.174	0.03	0.09	+/-0.01	0.001
Ca-K	0.0002	1.142	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0002	1.290	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Fe-K	0.0000	1.274	0.00	0.00	+/-0.01	0.000
Co-K	0.0000	1.317	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cu-L	0.0003	3.379	0.02	0.10	+/-0.07	0.001
Zn-L	0.0001	2.880	0.01	0.04	+/-0.07	0.000
Cl-K	0.0011	1.221	0.06	0.14	+/-0.01	0.001
Al-K	0.0001	1.765	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
Total			100.00	100.00		1.380



Şekil 12. 50 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kotiledon alt epidermal hücrelerinin genel görünümü



Şekil 13. 500 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidelerinin kotiledon alt epidermal hücrelerinin genel görünümü

Çalışmamızda 500 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren SEM ile incelenen örneklerde kökçük ve hipokotillerin hücre duvarlarında çökmelerle karşılaşıldı. Daha düşük alüminyum konsantrasyonlarında aynı süreler içinde

bu tip bir deformasyon gözlenmedi. Bu durum özellikle 1000 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) embriyolarının radikula epidermal hücrelerinde çok daha belirgindi.

Tartışma ve Sonuçlar

Uzun süreli olarak alüminyum stresine maruz kalan bitkilerde besin noksanlıkları, kuraklık stresi ve fitohormon dengesizlikleri nedeniyle sürgün büyümesinin inhibe edilebileceği bildirilmektedir (Horst, 1995). Bir çalışmada 2 hafta yaşlı *Picea abies*, *Pinus sylvestris* ve ektomikorizal fungus *Suillus bovinus* ile inoküle edilen *Pinus sylvestris* fidelerinin tam besin çözeltilerindeki ön kültür gelişme ortamlarına alüminyum, $AlCl_3$ veya $Al(NO_3)_3$ formunda, 0.2-30 mM konsantrasyonunda ve pH 3.8'de ilave edildiğinde, *Picea abies*'te 0.3 mM, *Pinus sylvestris*'te 6 mM ve ektomikorizal fungus ile inoküle edilen *Pinus sylvestris*'te 10 mM alüminyum konsantrasyonlarında nisbi büyüme oranlarında azalmalar kaydedilmiştir (Goransson ve Eldhuset, 1991). Keza 33 Al^{3+} alüminyum *Zea mays* ssp. *mexicana* bitkilerinde şiddetli büyüme

azalmalarına neden olurken (Barcelo ve ark. 1993), *Camellia sinensis*'te polen tüpü büyümesi üzerinde 10 Al^{3+} alüminyumun %70 oranında inhibe edici etkisi saptanmıştır (Konishi ve ark. 1988). *Glycine max* ile yapılan bir çalışmada hidrojen ve alüminyumun lateral köklerin uzamasını kazık köklerden daha fazla inhibe ettiği, pH'sı 4.3'den küçük olan yada 30 mM alüminyum ile muamele edilen çözeltilerde lateral köklerin kazık kökler üzerinde gelişmede başarısız oldukları ifade edilmektedir (Sanzonowicz ve ark. 1998). Aynı araştırmacıların aynı bitki türü ile yaptıkları benzer bir çalışmada kazık kökler ve onların laterallerinin boyları çözeltili kalsiyum konsantrasyonu ve pH değerleri ile artış göstermiş, fakat alüminyum konsantrasyonlarının artışı ile birlikte azalmıştır (Sanzonowicz ve ark. 1998). *Sorghum* genotiplerinde alüminyumun bitki büyümesi üzerinde birçok zararlı etkileri olduğu, sürgün ve

köklerin alüminyum toksisitesinden genellikle farklı şekillerde etkilendiği görülmüş, alüminyum konsantrasyonları artarken, sürgün ve kök kuru madde, net ana eksen kök uzunluğu ve toplam kök uzunluğu değerlerinin alüminyum uygulanmayan kontrol bitkilerden düşük olduğu gözlenmiş, kök/sürgün kuru madde oranları ve spesifik kök uzunluğu (toplam kök uzunluğu/kök kuru madde) değerlerinin ise çözeltideki alüminyum konsantrasyonları artarken değiştiği saptanmıştır (Bernal ve Clark, 1998). Aynı çalışmada özellikle net ana eksen kök uzunluğu ve toplam kök uzunluğu değerlerinde genotipler arasında gözlenen geniş farklılıklar, bu parametrelerin *Sorghum* genotiplerinin alüminyum toksisitesine toleranslarının değerlendirilmesinde diğer büyüme özelliklerinden çok daha etkili olarak kullanılabileceklerini göstermiştir (Bernal ve Clark, 1998). *Zea mays*'ta kök büyümesi ve biomass üretimi üzerine monomerik ve polimerik alüminyum türlerinin etkilerini inceleyen bir çalışmada, çözeltideki alüminyum konsantrasyonları artışlarının genelde fide kök uzaması üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği, monomerik alüminyumun hassas genotipte 16 mM veya daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında 2. günden sonra, tolerant genotipte ise 22 mM veya daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında kök uzamasını önemli ölçüde azalttığı gözlenmiş, polimerik alüminyum ise 2. günden sonra 5 mM'dan daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında kök büyümesinin tamamen durmasına neden olmuştur (Comin ve ark. 1999). 0'dan 81 mgL⁻¹'e değişen alüminyum konsantrasyonlarını içeren düşük iyonik yoğunluklu bir besi ortamında 20 gün yetiştirilen 2 hafta yaşlı mısır bitkiciklerinde 81 mgL⁻¹ alüminyum konsantrasyonunda sürgün ve köklerin her ikisinde de biomass üretimi azalırken, bitkiciklerin köklerinde 2 ayrı akümülayon fazı gözlenmiştir; 0-9 mgL⁻¹ alüminyum konsantrasyonları arasında bir yavaş akümülayon fazı saptanırken, 9-81 mgL⁻¹ arasında daha hızlı bir akümülayon fazı gerçekleşmiş, her iki fazda da bitki dokularının alüminyum içeriği besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonu artışı ile birlikte artışlar göstermiştir (Lidon ve Barreiro, 1998). Aynı çalışmada toksisite başlangıcı indirgenmiş kök uzunluğu ile belirlenirken, bu esnada bitki dokularındaki alüminyum konsantrasyonu 13 mgL⁻¹ olarak

saptanmıştır (Lidon ve Barreiro, 1998). pH'sı 4.5 olan besin çözeltilerinde yetiştirilen ve 24 saat 20 ve 50 mM alüminyuma maruz bırakılan 7 *Phaseolus vulgaris* kültür varyetesinin 5 mm'lik kök uçlarında alüminyum hasarının ilk belirleyicileri olarak kallos akümülayonu ve kök uzama hızlarını inceleyen bir çalışmada, kallos sentezinin dahili alüminyum konsantrasyonu ile pozitif, kök uzama oranı ile negatif korelasyon gösterdiği saptanmış, aynı çalışmada hem kallos akümülayonu hem de kök uzama oranının fasulye genotiplerini alüminyum toleransı için sınıflandırmada yararlı olabileceği, fakat kök uzama oranının daha hassas bir parametre olduğu belirlenmiştir (Massot ve ark. 1999). Bizim çalışmamızda özellikle 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kökçük ve hipokotillerde uzama büyümesinin önemli ölçüde indirgendiği gözlemlendi. Alüminyumun etkisi köklerde hipokotillerden daha belirgindi. 200 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kök emici tüyleri gelişiminde çok belirgin azalmalar kaydedildi. Özellikle 500 ppm alüminyum konsantrasyonunda kök yapısındaki deformasyon ve kök tüyü sayısındaki azalma dikkat çekici iken, 1000 ppm'de kök emici tüyleri gelişiminin tümüyle inhibe edildiği saptandı. Hipokotil epidermal hücrelerinde 50 ppm alüminyum konsantrasyonunda başlayan büyüme inhibisyonları daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında da belirginleşerek devam etti.

Alüminyumun bitkiler tarafından fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve azot alımı ile etkileşim halinde olduğu, alüminyum toksisitesinin sıklıkla mangan ve demir miktarlarındaki artış, kalsiyum ve magnezyum miktarlarındaki azalma ile ilgili olduğu, keza demir metabolizmasındaki bozukluk sebebiyle bazı bitkilerde alüminyumun teşvik ettiği klorozis de gözlenebileceği bildirilmektedir (Aller ve ark. 1990). *Triticum aestivum* ile yapılan bir çalışmada bitkiler alüminyuma maruz bırakıldıkları zaman, sürgünlerdeki kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarının nisbi olarak düşük olduğu, ancak bu etkinin kalsiyum elementi için magnezyumdan daha önemli olduğu belirlenmiş, özellikle alüminyum stresi altında ve 10°C kök bölgesi sıcaklığında sürgünlerdeki kalsiyum konsantrasyonlarının büyümeyi inhibe edebilecek kritik konsantrasyonlara yaklaştığı saptanmış, bu durum köklerdeki alüminyumun köklerden

sürgünlere kalsiyum transportunu azaltarak sürgün büyümesini inhibe etmesi ile açıklanmıştır (Strid, 1996). Aynı çalışmada köklerin potasyum, fosfor, magnezyum ve kalsiyum konsantrasyonlarının ise alüminyum uygulamaları veya kök bölgesi sıcaklığından negatif olarak etkilenmediği görülmüştür (Strid, 1996). *Picea abies* ile yapılan bir çalışmada bitkilerin aktif potasyum alımı alüminyum uygulamaları ile inhibe edilirken, test edilen tüm konsantrasyonlarda pasif kalsiyum alımının da şiddetle inhibe edildiği ifade edilmektedir (Widel ve ark. 1994). *Leucaena leucacephala*'da 50 ppm'in üzerinde uygulanan alüminyumun 10 gün içinde soluk renksiz yapraklara ve klorozise, eğri, sert yapılı, bodur gövdelere, sürgün ve köklerde kuru ağırlık azalmalarına neden olabileceği, kültür çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artarken, yapraklar ve köklerdeki fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinin azaldığı, buna karşın azot içeriğinin çok fazla etkilenmediği ve azot noksanlık semptomlarının gözlenmediği bildirilmektedir (Koffa ve Mori, 1987). Goransson ve Eldhuset (1991), besin çözeltilerinden kalsiyum ve magnezyum elementleri için alınma oranlarının *Picea abies*'te 0.2 mM, *Pinus sylvestris*'te 1mM ve ektomikorizal fungus *Suillus bovinus* ile inoküle edilen *Pinus sylvestris*'te 3 mM alüminyum konsantrasyonlarında nispi büyüme oranlarını etkilemeksizin azaldığını gözlemişlerdir. Baligar ve ark. (1993), alüminyuma tolerant *Sorghum* genotiplerinin fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, çinko ve demiri alüminyuma hassas genotiplerden daha büyük oranda alabildiklerini ve taşıyabildiklerini ifade etmektedirler (19). Rengel ve Robinson (1990) 2 *Lolium multiflorum* kültür varyetesini iki sıcaklık rejimi (10/6 ve 22/18 °C gündüz/gece sıcaklığı), üç farklı seviyede alüminyum (0-3.7-7.4 µM) ve iki farklı seviyede magnezyum (0.1-1 mM) içeren ve pH'sı 4.2 olan besin çözeltilerinde yetiştirdiklerinde, yüksek magnezyum konsantrasyonunun kök üzerindeki alüminyum toksisitesi etkilerini hafiflettiğini, alüminyumun bitki büyümesini 0.1 mM magnezyum içeren çözeltide ve yüksek sıcaklıkta düşük sıcaklıktan daha çok baskıladığını ortaya koymuşlardır. Aynı çalışmada besin çözeltilerine ilave edilen alüminyum magnezyum ve kalsiyum elementlerinin alınma hızlarını baskılamış, fakat etki besin çözeltisindeki magnezyum

konsantrasyonu artışları ile hafifletilebilmiştir. Bitkilerin ortalama potasyum alımı 1 mM magnezyum konsantrasyonunda alüminyum uygulamalarından etkilenmemiş ve besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonu artışları sürgünlerin K/Ca+Mg oranlarını arttırmıştır (Rengel ve Robinson, 1990). Bizim çalışmamızda besin çözeltilerine toksik konsantrasyonlarda alüminyum uygulanması durumunda, köklerin karbon, kükürt, potasyum, kalsiyum, çinko ve bakır içeriklerinde çok belirgin düşümlere tanık olundu. Ancak başta kalsiyum elementi olmak üzere, kök epidermal hücrelerinin potasyum ve kükürt içeriklerinde gözlenen düşüşün derecesi çok daha dikkat çekici idi. Bunun yanında kök epidermal hücrelerinin sodyum, magnezyum ve demir içeriklerinde de önemli düşüşler kaydedildi. Nitekim kontrol grubu oluşturan fideciklerin kök epidermal hücrelerinin sodyum ve magnezyum içerikleri yüksek iken, 500 ve 1000 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinde sodyum ve magnezyum elementine rastlanmadı. 500 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinde demir elementine de rastlanmazken, 1000 ppm alüminyum uygulanması durumunda kök epidermal hücrelerinde belirlenen demir miktarı kontrol grup ortalamasından düşüktü. Buna karşın köklerin oksijen, azot ve fosfor içeriklerinde besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak önemli artışlar gözlemlendi. Köklerin mineral besin elementi içeriklerindeki artışlar özellikle fosfor elementi açısından son derece dikkat çekici idi. Çünkü kök epidermal hücrelerinin fosfor içeriklerinde alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak çok dikkat çekici bir birikim saptandı. Kök epidermal hücrelerinin fosfor içeriklerindeki artışlar her iki serinin radikularlarında ve keza parankimatik özellikteki hücrelerde gerçekleştirilen EDX analizlerinde de gözlemlendi. Oysa 500 ve 1000 ppm alüminyum uygulanan besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin fosfor içerikleri kontrol grup ortalamasından düşüktü. Bu durumda alüminyum stresine maruz bırakılan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinde köklerin fosfor alım potansiyellerinde çok dikkat çekici bir artış söz konusu iken, alınan fosforun büyük ölçüde köklerde birikim yaptığı, alüminyum stresi altında köklerde

biriken fosforun mobilizasyon yeteneğinin olmadığı veya köklerden hipokotillere taşınımının engellendiği düşünülebilir. Bir çalışmada alüminyum fosfor etkileşiminin esas olarak toprakta alüminyum-fosfat kompleksi oluşumu ve kök dokularındaki normal fosfor metabolizmasına bağımlı olduğu, bundan dolayı alüminyum fazlalığının çoğunlukla kalsiyum, magnezyum ve fosfor noksanlığına neden olduğu yada bu elementlerin transportunu azalttığı ifade edilmektedir (Aller ve ark. 1990). *Oryza sativa* ile yapılan bir çalışmada alüminyum uygulaması ile birlikte, alüminyuma tolerant genotiplerin sürgün ve köklerinde yüksek fosfor akümüasyonu belirlenmiş, buna karşın alüminyuma hassas genotip alüminyum uygulaması boyunca nispeten yüksek kalsiyum akümüasyonunu korumuş, mangan ve magnezyum elementleri durumunda ise genotiplerin alüminyuma hassasiyetlerine bakılmaksızın, net alım hızlarında genel bir düşüş gözlenmiştir (Strid, 1996). Aynı çalışmada alüminyum uygulaması ile birlikte hassas genotipin köklerinde yüksek çinko ve bakır alım hızının doğal sonucu olarak, yüksek demir, bakır ve çinko akümüasyonu da saptanmıştır (Strid, 1996). *L. esculentum* ile yapılan bir çalışmada ise uygulanan alüminyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak, besin çözeltilerinden bakır, mangan, molibden, çinko, bor ve demir alımının azaldığı, alüminyum uygulamalarının kök, gövde ve yaprakların kalsiyum, potasyum, magnezyum, mangan, demir ve çinko içeriklerini azalttığı, buna karşın köklerde fosfor, molibden ve bakır akümüasyonunu yükselttiği ve bu elementlerin gövde ve yapraklar içine transportunu inhibe ettiği belirtilmektedir (Simon ve ark. 1994).

Çalışmamızda hipokotil epidermal hücrelerinin besin elementleri içeriklerinde en dikkat çekici düşüş, kök epidermal hücrelerinde gözlemlendiği şekilde, kalsiyum elementi ile elde edildi. Bu durum alüminyum stresi-bitki besin elementleri etkileşimlerini inceleyen bir çok çalışmada dikkat çekilen bir olgudur. Örneğin bir çalışmada alüminyumun bitki hücrelerinin plazma membranlarındaki kalsiyum geçirgen kanalların blokajında etkin olabileceği ve bu etkinin alüminyum iyonlarının fitotoksik aktivitesinde çok önemli bir rol oynayabileceği ifade edilmekte, bunun sonucunda alüminyumun *Nicotiana tabacum* hücre süspansiyon kültürlerinde sitoplazmik

bağımsız Ca^{+2} konsantrasyonunda bir azalma ve büyüme inhibisyonlarına neden olduğu bildirilmektedir (Jones ve ark. 1998). Birbirinden bağımsız olarak yapılan iki ayrı çalışmada ise alüminyumun *Triticum aestivum* kök protoplastlarında sitosolik pH ile bağımsız kalsiyum ve potasyum konsantrasyonlarında hızlı değişikliklere neden olduğu saptanmıştır (Archambault ve ark. 1996, Lindberg ve Strid, 1997). *Zea mays* ile yapılan bir çalışmada besin çözeltilerindeki Ca^{+2} ve SO_4^{-2} konsantrasyonları artışlarının, Ca^{+2} ve SO_4^{-2} aktivitelerinde ve iyonik kuvvet değerlerinde artışlarla sonuçlandığı, Ca^{+2} ve SO_4^{-2} aktivitelerinin artışı ile birlikte Al^{+3} aktivitesinde azalma gözlemlendiği ve buna bağlı olarak da kök büyümesinin teşvik edildiği ifade edilmektedir (Pintro ve ark. 1998).

Çalışmamızda SEM ile incelenen örneklerde 500 ve özellikle 1000 ppm alüminyum konsantrasyonlarında kökçük ve hipokotillerin hücre duvarlarında çökmeler gözlemlendi. Aynı süreler içinde daha düşük alüminyum konsantrasyonlarında, hücre duvarlarında bu tip bir deformasyonla karşılaşılma. Bu durum, toksik konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun hücre duvarı ve hücre membranında dayanıklılığı ve stabiliteyi azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Nitekim Horst'te çalışmasında alüminyum ile uzama yeteneği, hücre duvarlarının su geçirgenliği ve plazma membranı karakteristiklerinin etkilenebileceğini ifade etmektedir (Horst, 1995). Alüminyum varlığında yetiştirilen *Picea abies* köklerinden izole edilen plazma membran bağlı enzimlerin aktivitelerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, gelişme esnasında 0.1-3 mM alüminyum varlığının, kök plazma membranlarından izole edilen H-ATPaz ve glukansentaz-II aktivitelerini inhibe ettiği, özellikle glukansentaz-II aktivitesinin alüminyum uygulamaları ile şiddetle inhibe edildiği ve glukansentaz-II'nin alüminyum toksisitesine ATPaz'dan çok daha hassas olduğu belirlenmiştir (Widel ve ark. 1994). *Beta vulgaris*'in kök plazma membranlarının lipit kompozisyonu ve ATPaz aktivitesi üzerine alüminyumun etkilerini belirlemek amacıyla in vivo ve in vitro şartlarda yapılan bir başka çalışmada ise plazma membranlarının lipit analizleri, alüminyum uygulamaları ile açıl kompozisyonunun az miktarda farklılaştığını, fakat fosfatidilkolin/etanolamin

oranının önemli ölçüde arttığını göstermiştir (Lindberg ve Griffiths, 1993). Öte yandan bizim çalışmamızda toksik konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkisiyle hipokotil ve özellikle kök epidermal hücrelerinin kalsiyum içeriklerinde çok dikkat çekici düşüşler söz konusudur. Keza en hızlı bozulmanın gerçekleştiği radikula epidermal hücrelerinin kalsiyum içerikleri de çok düşüktür. Bu durumda bizce, alüminyumun hücre duvarı ve

hücre membranında dayanıklılığı ve stabiliteyi azaltıcı etkisi, hücrelerin kalsiyum içeriklerinde gözlenen şiddetli düşüşlerin doğal bir sonucu olarak da yorumlanabilir. Bilindiği gibi kalsiyum hücre çeperinin esas yapısal bileşenlerindedir ve hücrelerde yeteri kadar kalsiyum bulunmazsa çekirdek bölünmesi gerçekleşse bile yeni hücre çeperleri oluşamaz, ayrıca kalsiyum hücre zarlarının oluşumunda da büyük rol oynar (Bozcuk, 1997).

Kaynaklar

- Aller, A.J., Bernal, J.L. Nozal, M.J., Deban, L., 1990. Effects of selected trace elements on plant growth. *J. Sci. Food Agric.*, 51: 447-479.
- Archambault, D. J., Zhang, G., Taylor, G.J., 1996. A comparison of the kinetics of aluminum (Al) uptake and distribution in roots of wheat (*Triticum aestivum*) using different aluminum sources. A revision of the operational definition of symplastic Al. *Physiologia Plantarum*, 98: 578-586.
- Aydemir, O., İnce, F., 1988. *Bitki Besleme*.
- Dicle üniversitesi Eğitim Fakültesi yayınları, Diyarbakır.
- Baligar, V.C., Schaffert, R.E., Santos, H.L., Pitta, G.V.E., Bahia, A.F., 1993. Soil aluminium effects on uptake, influx and transport of nutrients in Sorghum genotypes. *Plant and Soil*, 150: 2, 271-277.
- Barcelo, J., Guevara, P., Poschenrieder, C., 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L.ssp. mexicana), *Plant and Soil*, 154: 2, 249-255.
- Bernal, J.H., Clark, R.B., 1998. Growth traits among Sorghum genotypes in response to aluminum. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 2, 297-305.
- Bozcuk, S., 1997. *Bitki Fizyolojisi*. Hatiboğlu Yayınevi, Ankara.
- Brady, D.J., Edwards, D.G., Asher, C.J., Blamey, F.P.C., 1993. Calcium amelioration of aluminium toxicity effects on root hair development in Soybean hücre membranında dayanıklılığı ve stabiliteyi azaltıcı etkisi, hücrelerin kalsiyum içeriklerinde gözlenen şiddetli düşüşlerin doğal bir sonucu olarak da yorumlanabilir. Bilindiği gibi kalsiyum hücre çeperinin esas yapısal bileşenlerindedir ve hücrelerde yeteri kadar kalsiyum bulunmazsa çekirdek bölünmesi gerçekleşse bile yeni hücre çeperleri oluşamaz, ayrıca kalsiyum hücre zarlarının oluşumunda da büyük rol oynar (Bozcuk, 1997).
- (Glycine max. (L.) Merr.). *New Phytologist*, 123: 3, 531-538.
- Comin, J.J., Barloy, J., Bourrie, G., Trolard, F., 1999. Differential effects of monomeric and polymeric aluminium on the root growth and on the biomass production of root and shoot of corn in solution culture. *European Journal of Agronomy*, 11: 2 115-122.
- Goransson, A., Eldhuset, T.D., 1991. Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small Picea abies and Pinus sylvestris plants. *Trees: Structure and Function*, 5: 3, 136-142.
- Horst, W.J.J., 1995. The role of the apoplast in aluminium toxicity and resistance of higher plants. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 158: 5, 419-428.
- Jan, F., 1991. Aluminium effects on growth, nutrient net uptake and transport in 3 rice (*Oryza sativa*) cultivars with different sensitivity to aluminium. *Physiologia Plantarum*, 83: 3, 441-448.
- Jones, D.L., Kochian, L.V., Gilroy, S., 1998. Aluminum induces a decrease in cytosolic calcium concentrations in BY-2 tobacco cell cultures. *Plant Physiology*, 116: 81-89.
- Kochian, L.V., 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 46: 237-260.
- Koffa, S.N., Mori, T., 1987. Effects of pH and aluminium toxicity on the growth of four strains of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Leucaena Research Reports*, 8: 58-62.
- Konishi, S., Ferguson, I.B., Putterill, J., 1988. Effect of acidic polypeptides on aluminium toxicity in tube growth of pollen from tea

- (*Camellia sinensis* L.), *Plant Science*, 56: 1, 55-59.
- Larsen, P.B., Degenhardt, J., Tai, C.Y., Stenzler, L.M., Howell, S.H., Kochian, L.V., 1998. Aluminum resistant *Arabidopsis* mutants that exhibit altered patterns of aluminum accumulation and organic acid release from roots. *Plant Physiology*, 117: 9-17.
- Lidon, F.C., Barreiro, M.G., 1998. Threshold aluminum toxicity in maize. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 3, 413-419.
- Lindberg, S., Griffiths, G., 1993. Aluminium effects on ATPase activity and lipid composition of plasma membranes in sugar beet roots. *Journal of Experimental Botany*, 44: 1543-1550.
- Lindberg, S., Strid, H., 1997. Aluminium induces rapid changes in cytosolic pH and free calcium and potassium concentrations in root protoplasts of wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum*, 99: 3, 405-414.
- Massot, N., Llugany, M., Poschenrieder, C., Barcelo, J., 1999. Callose production as indicator of aluminum toxicity in bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 22: 1, 1-10.
- Murashige, T., Skoog, F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497.
- Pintro, J., Calba, H., Maringa, P.R., Fallavier, P., Barloy, J., 1998. Effects of different calcium and sulfate concentrations in nutrient solutions on ionic strength values, aluminum activity, and root growth of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 11, 2381-2387.
- Rengel, Z., Robinson, D.L., 1990. Temperature and magnesium effects on aluminium toxicity in annual ryegrass (*Lolium multiflorum*), *Plant Nutrition-Physiology and Applications, Proceedings of the Eleventh International Plant Nutrition Colloquium*, Wageningen, Netherlands, 413-417.
- Sanzonowicz, C., Smyth, T.J., Israel, D.W., 1998. Calcium alleviation of hydrogen and aluminum inhibition of soybean root extension from limed soil into acid subsurface solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 4, 785-804.
- Sanzonowicz, C., Smyth, T.J., Israel, D.W., 1998. Hydrogen and aluminum inhibition of soybean root extension from limed soil into acid subsurface solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 21:2, 387-403.
- Simon, L., Smalley, T.J., Jones, J.B., Lasseigne, F.T., 1994. Aluminium toxicity in tomato. Part I. Growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 17: 2-3, 293-306.
- Strid, H., 1996. Effects of root zone temperature on aluminium toxicity in two cultivars of spring wheat with different resistance to aluminium. *Physiologia Plantarum*, 97: 1, 5-12.
- Widell, S., Asp, H., Jensen, P., 1994. Activities of plasma membrane bound enzymes isolated from roots of spruce (*Picea abies*) grown in the presence of aluminium. *Physiologia Plantarum*, 92: 3, 456-466.