

Hüseyin Hüsnu KAYIKÇIOĞLU
Nur OKUR

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü 35100 Bornova, İzmir
e-posta: husnu.kayikcioglu@ege.edu.tr

Farklı Bitki Örtüsü Altındaki Topraklarda Mikrobiyal C, N ve P' un Mevsimsel Değişimi¹

Seasonal changes of microbial biomass-C, N and P in soils
under different plant covers

¹ 2009-ZRF-033 no'lu BAP araştırma projesi verilerinden hazırlanmıştır.

Alınış (Received): 06.12.2012 Kabul tarihi (Accepted): 20.12.2012

Anahtar Sözcükler:

Mikrobiyal biyokütle-C, N ve P' u,
mineralize azot formları, mevsimsel
farklılık

Key Words:

Microbial biomass-C, N and P,
mineralizable nitrogen forms and seasonal
changes

ÖZET

Mikrobiyal aktivitenin mevsimsel bazı değişiklikler göstermesi, bitki gelişimi ve bitki besin maddelerinin korunması açısından önem arz etmektedir. Bu proje kapsamında farklı bitki örtüsü altındaki topraklardan kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde iki farklı derinlikten toprak örnekleri alınarak, toprak mikrobiyal biyomas C, N ve P' u ile mineralize olabilir C, N ve P miktarları mevsimsel bazda incelenmiştir. 2009-2010 yıllarında E.Ü. Ziraat Fakültesi Menemen Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliği arazisinden farklı bitki örtüsü altındaki arazilerden (çayır mera, zeytinlik, buğday ve buğday-mısır-soya rotasyonu altındaki tarla) alınan toprak örnekleri araştırmanın materyalini oluşturmuştur. Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan bu toprak örneklerinde; toprak solunumu, mikrobiyal biyokütle-C, N ve P' u, mineralize azot formları ve alınabilir fosfor miktarları saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; en yüksek mikrobiyal biyokütle çayır mera arazisinden alınan toprak örneklerinde, en düşük mikrobiyal biyokütle ise buğday ekili araziden alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir. Üst toprak tabakasında (0-15 cm), alt toprak tabakasına (15-30 cm) oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle belirlenmiştir. Mevsimsel bazda ise en yüksek mikrobiyal biyokütle Nisan ayına ait topraklarda, en düşük mikrobiyal biyokütle ise Ocak ayına ait topraklarda saptanmıştır.

ABSTRACT

Soil microbial activity can affect the ability of soil to supply nutrients to plants through soil organic matter turnover. Limited data, however, exist on the magnitude of seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C, N and P in different agricultural ecosystems to ascertain the practical significance of these fluctuations on crop growth and nutrient conservation. It was determined seasonal changes of microbial biomass-C, N and P, and amounts of mineralizable N and total P in soils under different plant covers and taken different dates. Soil samples were taken from a pasture, an olive plantation, a wheat field and a rotated wheat-maize-legume field in October, January, April and July. In these samples; microbial biomass-C, N and P, soil respiration, mineralizable nitrogen forms and available P were determined. According to the results; the highest and the lowest microbial biomass were determined in pasture and wheat field, respectively. It was found higher microbial biomass in top soil layer (0-15 cm depth) than bottom soil layer (15-30 cm depth). In addition, the highest microbial biomass was observed in soils taken in April and the lowest microbial biomass in soils taken in January.

GİRİŞ

Toprak dinamik bir sistemdir. Yani içinde her zaman bir çok değişimler meydana gelmekte, bazı maddelerin miktarında bir artış meydana gelirken bazılarının miktarları ise azalmaktadır. Bu değişimler toprağın mineral yapısında olabileceği gibi organik kısmında da çok farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Bu dinamizmin ortaya çıkışında gözle görülemeyen fakat sayıları gram toprakta 10^6 - 10^{10} arasında değişen küçük organizma gruplarının büyük rolleri bulunmaktadır.

Toprak mikroorganizmalarının değişik madde grupları üzerinde etkili enzimler yardımıyla organik artıklar, C, N, S, P gibi toprak için önemli elementlerin bir formdan başka bir forma dönüşmelerinin ve dinamik bir özellik kazanmalarını sağlayan olayların tümü biyokimyasal dönüşümler olarak ifade edilirler. İşte bu döngüler bir yandan toprak verimliliğini olumlu yönde desteklerken diğer yandan da doğadaki dengenin korunmasında önemli rol oynamaktadır. İşte bu nedenlerden dolayı, topraktaki mikrobiyolojik döngüler hem çevre hem de toprak yönünden son derece büyük önem arz eder. Bu döngülerin ortaya çıkmasında ve gerçekleşmesinde sayısal organizma zenginliği yanında cins ve tür zenginliği de etkili olmaktadır. Bu nedenle, toprakların verimlilik durumlarının saptanmasında organizma sayımları önemli bir ölçüdür.

Mikrobiyal biyokütle, toprakta besin maddesi döngüsü ve organik kirleticilerin parçalanmasından sorumlu önemli ve aktif bir toprak bileşenidir. Mikrobiyal hücrelerde immobilize olmuş toplam C miktarı olan mikrobiyal biyokütle, bitkisel ve hayvansal artıkların ayrıştırılmasından ve bitki besin maddelerinin immobilizasyonu ve mineralizasyonundan sorumlu olduğu için toprak verimliliğinin korunmasında son derece önemli bir fonksiyona sahiptir. Bakteri ve mantarlar, genellikle biyokütlenin dominant mikroorganizmalarıdır. Dormant ve metabolik olarak aktif organizmaların oluşturduğu mikrobiyal biyokütle, değişen toprak koşullarının ve değişim yönünün "erken uyarıcısı" konumundadır (Schloter ve ark., 2003).

Organik sistemler genellikle daha düşük bitki besin maddesi girdisine sahip oldukları için mikroorganizmalar tarafından organik maddenin döngüsü son derece önemlidir. Çünkü bitkiler sadece organik maddenin mikroorganizmalar tarafından mineralizasyonu sonucu açığa çıkacak besin maddelerinden yararlanacaktır. Bu sistemlerde artan mikrobiyal çeşitliliğe bağlı olarak daha yüksek

katabolik aktivite ve besin maddesi döngüsü meydana gelmektedir.

Mikrobiyal biyokütle ölçümleri, topraktaki mikrobiyal topluluğun çeşitliliği ile ilgili bilgiler verememektedir. Mikroorganizmaların genotip ve fenotipi üzerine dayalı moleküler düzeyde yapılan çalışmalar ile mikrobiyal toplulukların bileşimi daha detaylı olarak araştırılabilmektedir. Bu çalışmalar sonucu 1 gr toprakta yaklaşık 10 bin farklı türe sahip bir milyardan daha fazla sayıda bakterinin yaşadığı saptanmıştır. Bu durum mikrobiyal çeşitliliği, toprak kalitesinin önemli bir göstergesi durumuna getirmektedir. Ovreas ve Torsvik (1998) ürün münavebesi ve organik tarımın mikrobiyal çeşitlilik ve topluluk yapısı üzerine etkilerini incelemişler ve sonuçta, organik tarım altındaki topraklarda daha yüksek bir mikrobiyal çeşitlilik saptamışlardır.

Toprakta karbon, azot ve fosfor döngüsü birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler başta iklim olmak üzere, toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ve toprağın üstündeki bitki örtüsü olarak sıralanabilir. Bu projede; farklı bitki örtüsü altındaki topraklardan kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde iki farklı derinlikten toprak örnekleri alınarak, toprak mikrobiyal biyokütle C, N ve P' u ile mineralize olabilir C, N ve P miktarları mevsimsel bazda incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

2009 – 2010 yıllarında E. Ü. Ziraat Fakültesi Menemen Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliği arazisindeki çayır-mera (ÇM), zeytin bahçesi (ZB), buğday (B), buğday-mısır-soya (R) bitki örtülerinden alınan toprak örnekleri araştırmanın materyalini oluşturmuştur.

Yöntem

Proje kapsamında öngörülen mikrobiyolojik analizleri yapmak için E. Ü. Ziraat Fakültesi Menemen Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliğinde daha önceden belirlenen farklı bitki örtüsü altındaki arazilerden, 2009 ve 2010 yıllarında farklı iki derinlikten olmak üzere toplam 4 kez toprak örneği alınmıştır. Tekerrürler, dekar başına 3 örnek olarak uygulanmıştır. Toprak örneklerinin alındığı tarım arazileri ve alınma tarihleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Toprak örneklerinin alındığı yerler ve alınma tarihleri
Table 1. The places and the time of soil samples were taken

Vejetasyon	Toprak örneklerinin alındığı tarihler			
ÇM ^a	12.10.09	15.01.10	16.04.10	11.07.10
ZB ^b	12.10.09	15.01.10	16.04.10	11.07.10
B ^c	12.10.09	15.01.10	16.04.10	11.07.10
R ^d	12.10.09	15.01.10	16.04.10	11.07.10

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon.

Topraklar 0-15 ve 15-30 cm derinliklerden alınmış ve buz kutuları içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Ertesi gün 2 mm' lik elekten elenen toprak örnekleri mikrobiyolojik analizlerde kullanılmak üzere kapağı delikli plastik kutulara yerleştirilerek +4°C' de muhafaza edilmiştir. Toprak örneklerinde yapılan mikrobiyolojik analizlerde kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmektedir.

CO₂-Oluşumu: 0.1 N KOH kullanılarak 25 °C'de 7 günlük inkübasyondan sonra mineralize olan CO₂-C' unun miktarı ile belirlenmiştir (Isermeyer, 1952).

Toprak Mikrobiyal Biyokütle-C' u: Nem miktarları belirlenen toprak örnekleri Jenkinson (1976)' a göre fumige edildikten sonra 0.5 M K₂SO₄ ile çalkalanmıştır (Vance ve ark., 1987). Elde edilen süzükteki C, kuvvetli asit (H₂SO₄ ve H₃PO₄ karışımı) ve 0.4 N K₂Cr₂O₇ varlığında yaş yakmaya bırakıldıktan sonra dikromat fazlası 25 mM 1.10-fenantrolin demir sülfat kompleks indikatör çözeltisi ile titre edilerek saptanmıştır (Kalembasa ve Jenkinson, 1973; Vance ve ark., 1987). Hesaplamalarda kEC faktörü olarak 0.45 kullanılmıştır (Jenkinson ve Ladd, 1981). **Toprak Mikrobiyal Biyokütle-N'** unu saptamak için ise aynı yöntemle göre elde edilen süzükte toplam N miktarı Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Pruden ve ark., 1985). Hesaplamalarda kEN faktörü olarak 0.45 kullanılmıştır (Jenkinson, 1988).

Toprak Mikrobiyal Biyokütle-P' u: Nem miktarları belirlenen toprak örnekleri Jenkinson (1976)' a göre fumige edildikten sonra 0.5 M NaHCO₃ ile çalkalanmıştır (Brookes ve ark., 1982). Elde edilen süzükteki P miktarı modifiye edilmiş amonyum molibdat-askorbik asit yöntemine göre belirlenmiştir (Olsen and Sommers, 1982). Hesaplamalarda kEP faktörü olarak 0.40 kullanılmıştır (Brookes ve ark., 1982).

NH₄-N: Örneklerin CaCl₂ + NaCl çözeltisi ile ekstrakte edilmesi ile ortaya çıkan NH₄-N' u 660 nm' de kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Kandeler ve Gerber, 1988). **NO₃-N** ise, örneklerin CaCl₂ + NaCl çözeltisi ile ekstrakte edilmesi ile ortaya çıkan NO₃-N' u UV-visible

spektrofotometre ile 210 nm' de kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Scharpf ve Wehrmann, 1976).

Alınabilir P: Bingham (1949), tarafından bildirildiği gibi ekstrakt eriyiği olarak saf su kullanılarak ve 5 dakika çalkalandıktan sonra ekstrakta geçen fosfor miktarı, mavi renk yöntemine göre kolorimetrik olarak saptanmıştır.

Araştırmada elde edilen sonuçların değerlendirilmelerinde Tarist istatistik paket programı kullanılmıştır (Açıkgöz ve ark., 1993).

ARAŞTIRMA BULGULARI

Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin analiz sonuçları Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri
Table 2. Some physical and chemical properties of soil samples

Parametreler	ÇM ^a	ZB ^b	B ^c	R ^d
pH _(H₂O)	8.05 ^e	8.08	7.43	7.65
EC (µS cm ⁻¹)	229	238	117	227
Kum (g kg ⁻¹)	232.8	412.8	360.0	211.2
Mil (g kg ⁻¹)	420.0	320.0	420.0	440.0
Kil (g kg ⁻¹)	347.2	267.2	220.0	348.8
Bünye	Killi tın	Tın	Tın	Killi tın
C _{org} (mg g ⁻¹)	17.11	10.50	5.16	15.26
C/N	6.6	7.5	6.5	6.9
N _(Kjeldahl) (mg g ⁻¹)	2.60	1.40	0.80	2.20

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: her değer üç tekerrürün ortalamasıdır.

Araştırma topraklarının bünyeleri killi tın ve tın, pH' ları ise alkali ve hafif alkali olarak değişmiştir. Topraklarda bitki büyümesini olumsuz şekilde etkileyecek bir tuzluluk probleminin bulunmadığı anlaşılmaktadır. Zeytin bahçesi ile buğday ekili toprakların organik madde içerikleri düşükken, çayır mera ve rotasyon alan toprakların organik madde miktarları orta düzeydedir. Toplam N içerikleri yönünden incelendiğinde sadece buğday ekili toprakların azot miktarı düşük çıkarken, diğer üç toprak örneğinde toplam azot düzeyi iyi olarak belirlenmiştir.

Araştırma Topraklarının Mikrobiyolojik ve Verimlilik Durumları

CO₂-Oluşumu (Toprak Solunumu): Toprak solunumu (mikrobiyal solunum), topraktaki bakteri, fungus, alg ve protozoaların oluşturduğu CO₂ miktarı veya oksijen alınımı olarak tanımlanır.

Toprak solunumu, organik maddenin ayrışması sonucu gerçekleşir ve ortaya çıkan CO₂ gazı C-mineralizasyonunun son ürünüdür. Bir topraktan çıkan CO₂ miktarının ölçülmesi ile o toprağın toplam biyolojik aktivitesi hakkında önemli bilgiler elde edilir.

2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde belirlenen CO₂-oluşum miktarları Çizelge 3' de verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen CO₂-oluşum miktarları 15.44-46.78 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde 10.12-26.55 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde 19.48-61.96 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde 18.43-40.21 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt arasında değişmiştir. Tarım topraklarında CO₂-oluşum miktarları genellikle 3.5-35 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt değerleri arasında değişmektedir (Alexander, 1961). Ülkemizde yapılan bazı çalışmalarda ise bu değerler 11.16-43.04 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt ve 10.90-76.40 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt arasında belirlenmiştir (Okur, 1990; Uçkan, 2001).

Çizelge 3. Araştırma topraklarında saptanan CO₂-oluşum miktarları (mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt)^a

Table 3. Amount of CO₂-production in experimental soils (mg CO₂-C 100 g⁻¹ dm)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
ÇM ^a	0-15	46.78	26.55	61.96	40.21	43.88 <i>a</i>
	15-30	32.15	20.11	45.63	32.15	32.51 <i>c</i>
ZB ^b	0-15	32.11	20.14	35.24	30.45	29.49 <i>d</i>
	15-30	26.25	12.63	22.14	23.78	21.20 <i>e</i>
B ^c	0-15	24.69	18.36	27.47	22.23	23.19 <i>e</i>
	15-30	15.44	10.12	19.48	18.43	15.87 <i>f</i>
R ^d	0-15	39.74	23.15	46.12	36.65	36.42 <i>b</i>
	15-30	27.14	18.47	35.22	28.45	27.32 <i>d</i>
Ort. ^e		30.54 <i>b</i>	18.69 <i>d</i>	36.66 <i>a</i>	29.04 <i>c</i>	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden P < 0.01 düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10; Ekim, 1; Ocak; 4; Nisan, 7; Temmuz); ^h:kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekerrürün ortalamasıdır.

Tüm aylarda çayır mera ile kaplı araziden 0-15 cm derinlikten alınan toprak örnekleri en yüksek CO₂-oluşum miktarlarına, buğday ekili arazinin 15-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük CO₂-oluşum miktarlarına sahip olmuşlardır. Tüm toprak örneklerinin üst tabakasında, alt tabakaya oranla daha yüksek CO₂-oluşum miktarları saptanmıştır. Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek CO₂-oluşum miktarlarına sahip olmuştur. En düşük CO₂-oluşum miktarları ise Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir. Çayır mera topraklarında Ocak ayı hariç diğer aylarda alınan toprak örneklerinde 40 mg CO₂-C 100 g⁻¹ kt değerinin üzerinde bir CO₂-oluşum miktarının saptanması bu topraklarda heterotrof mikroorganizmaların sayı ve aktivitesinin yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir.

Mikrobiyal Biyokütle-C: Topraktaki canlı mikroorganizma ağırlığı olan mikrobiyal biyokütle; C, N, S ve P gibi besin maddelerinin çabuk ayrışabilir bir deposu ve toprak organik maddesindeki dönüşümlerin bir göstergesidir (Jenkinson ve Ladd, 1981). Mikrobiyal biyokütle miktarı, toprağın mikrobiyolojik yapısını karakterize etmede son yıllarda sıkça kullanılan bir yöntemdir.

2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle-C miktarları Çizelge 4' te verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle-C miktarları 86.4-475.2 µg C_{mik} g⁻¹ kt, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde 96.3-255.4 µg C_{mik} g⁻¹ kt, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde 95.4-525.1 µg C_{mik} g⁻¹ kt ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde 92.1-486.4 µg C_{mik} g⁻¹ kt arasında değişmiştir.

Tarım arazilerinde mikrobiyal biyokütle miktarı ve aktivitesinin, toprağa uygulanan çeşitli bitki idare sistemleri ve uygulamaları önemli şekilde etkilemektedir. Bunun yanında toprak nemi ve sıcaklığında ortaya çıkan mevsimsel değişimler ve toprakta mevcut ekili bitkiye ait çeşitli rizosfer ürünleri ve toprağa kök artıkları yolu ile giren C miktarı da bu biyolojik aktivite üzerinde önemli etkilere sahiptir (Ross, 1987).

Tüm aylarda çayır mera ile kaplı arazinin 0-15 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri en yüksek

mikrobiyal biyokütle-C miktarlarına, buğday ekili arazinin 15-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük mikrobiyal biyokütle-C miktarlarına sahip olmuşlardır.

Çizelge 4. Araştırma topraklarında saptanan mikrobiyal biyokütle-C miktarları ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$)^a

Table 4. Amount of microbial biomass-C in experimental soils ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{dm}$)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
ÇM ^a	0-15	475.2	255.4	525.1	486.4	435.5 <i>a</i>
	15-30	452.8	242.6	496.9	475.3	416.9 <i>b</i>
ZB ^b	0-15	245.2	175.3	285.1	215.3	230.2 <i>d</i>
	15-30	123.9	110.3	142.3	99.6	119.0 <i>g</i>
B ^c	0-15	189.5	120.2	201.3	205.4	179.1 <i>f</i>
	15-30	86.4	96.3	95.4	92.1	92.6 <i>h</i>
R ^d	0-15	330.8	211.4	352.6	326.4	305.3 <i>c</i>
	15-30	241.6	126.7	225.4	236.4	207.5 <i>e</i>
Ort. ^e		268.2 <i>b</i>	167.3 <i>c</i>	290.5 <i>a</i>	267.1 <i>b</i>	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden P < 0.01 düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10; Ekim, 1; Ocak, 4; Nisan, 7; Temmuz); ^h: kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekrerrün ortalamasıdır.

Tüm toprak örneklerinin üst tabakasında, alt tabakaya oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle-C miktarları saptanmıştır. Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle-C miktarlarına sahip olmuştur. En düşük mikrobiyal biyokütle-C miktarları ise Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir. Çayır mera topraklarında Ocak ayı hariç diğer aylarda alınan toprak örneklerinde $400 \mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ değerinin üzerinde bir mikrobiyal biyokütle miktarının saptanması bu topraklarda çabuk ayrışabilir karbonun yeterli deposu olduğunu göstermektedir.

Mikrobiyal Biyokütle-N: Toprağın mikrobiyal biyokütle-N havuzu çok küçük bir miktarı oluşturmasına karşın, hızlı döngüsü ile N-mineralizasyonuna önemli bir katkı yapmaktadır. Bu nedenle toprakta mikrobiyal biyokütle-N miktarları,

bitkilerin hemen yararlanabileceği yarıyıllı azot miktarını gösterir.

2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle-N miktarları Çizelge 5¹ te verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle-N miktarları $33.9-132.6 \mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde $26.7-66.4 \mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde $38.3-154.6 \mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde $32.4-124.3 \mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ arasında değişmiştir.

Çizelge 5. Araştırma topraklarında saptanan mikrobiyal biyokütle-N miktarları ($\mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$)^a

Table 5. Amount of microbial biomass-N in experimental soils ($\mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{dm}$)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
ÇM ^a	0-15	132.6	66.4	154.6	124.3	119.5 <i>a</i>
	15-30	125.4	62.1	144.6	122.7	113.7 <i>a</i>
ZB ^b	0-15	78.5	45.3	83.65	74.3	70.4 <i>c</i>
	15-30	35.7	22.3	44.6	36.5	34.8 <i>f</i>
B ^c	0-15	47.8	35.4	52.55	45.6	45.3 <i>d</i>
	15-30	33.9	26.7	38.3	32.4	32.8 <i>f</i>
R ^d	0-15	90.3	56.2	98.63	84.7	82.5 <i>b</i>
	15-30	35.4	31.4	42.6	38.6	37.0 <i>e</i>
Ort. ^e		72.5 <i>b</i>	43.2 <i>c</i>	82.4 <i>a</i>	69.9 <i>b</i>	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden P < 0.01 düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10; ekim, 1; ocak, 4; nisan, 7; temmuz); ^h: kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekrerrün ortalamasıdır.

Tüm aylarda çayır mera ile kaplı arazinin 0-15 ve 15-30 cm derinliklerden alınan toprak örnekleri en yüksek mikrobiyal biyokütle-N miktarlarına, buğday ekili arazi ile zeytin bahçesinin 15-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük mikrobiyal biyokütle-N miktarlarına sahip olmuşlardır. Tüm toprak örneklerinin üst tabakasında, alt tabakaya oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle-N miktarları saptanmıştır.

Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle-N miktarlarına sahip olmuştur. En düşük mikrobiyal biyokütle-N miktarları ise Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir. Çayır mera topraklarında Ocak ayı hariç diğer aylarda alınan toprak örneklerinde $100 \mu\text{g N}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ değerinin üzerinde bir mikrobiyal biyokütle-N miktarının saptanması, bu topraklarda çabuk ayrışabilir organik azot miktarının yeterli düzeyde deposu olduğunu göstermektedir.

Mikrobiyal Biyokütle-P: Toprağın mikrobiyal biyokütle-P havuzu çok küçük bir miktarı oluşturmaya karşın, hızlı döngüsü ile P-mineralizasyonuna önemli bir katkı yapmaktadır (Anderson ve Domsch, 1980). Bu nedenle toprakta mikrobiyal biyokütle-P miktarları, bitkilerin hemen yararlanabileceği yarıyıllı fosfor miktarını gösterir.

2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle-P miktarları Çizelge 6' da verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle-P miktarları $52.3-168.4 \mu\text{g P}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde $45.6-125.7 \mu\text{g P}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde $52.3-195.4 \mu\text{g P}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde $49.2-176.2 \mu\text{g P}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ arasında değişmiştir.

Tüm aylarda çayır mera ile kaplı arazinin 0-15 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri en yüksek mikrobiyal biyokütle-P miktarlarına, buğday ekili arazinin 15-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük mikrobiyal biyokütle-P miktarlarına sahip olmuşlardır. Tüm toprak örneklerinin üst tabakasında, alt tabakaya oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle-P miktarları saptanmıştır. Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle-P miktarlarına sahip olmuştur. En düşük mikrobiyal biyokütle-P miktarları ise Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir. Çayır mera topraklarında Ocak ayı hariç diğer aylarda alınan toprak örneklerinde $150 \mu\text{g P}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$ değerinin üzerinde bir mikrobiyal biyokütle-P miktarının saptanması, bu topraklarda çabuk mineralize olabilir

fosfor miktarının yeterli düzeyde deposu olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6. Araştırma topraklarında saptanan mikrobiyal biyokütle-P miktarları ($\mu\text{g P}_{\text{mik}} \text{g}^{-1} \text{kt}$)^h

Table 6. Amount of microbial biomass-P in experimental soils ($\mu\text{g P}_{\text{mic}} \text{g}^{-1} \text{dm}$)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
ÇM ^a	0-15	168.4	125.7	195.4	176.2	166.4 <i>a</i>
	15-30	152.1	118.9	185.3	169.4	156.4 <i>b</i>
ZB ^b	0-15	130.2	115.9	133.8	128.3	127.1 <i>d</i>
	15-30	70.9	66.4	75.3	71.2	71.0 <i>f</i>
B ^c	0-15	108.9	85.3	116.0	102.6	103.2 <i>e</i>
	15-30	52.3	45.6	52.3	49.2	49.9 <i>g</i>
R ^d	0-15	141.6	125.9	158.0	136.7	140.6 <i>c</i>
	15-30	112.4	95.4	102.3	115.4	106.4 <i>e</i>
	Ort. ^e	117.1 <i>b</i>	97.4 <i>c</i>	127.3 <i>a</i>	118.6 <i>b</i>	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden $P < 0.01$ düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10; Ekim, 1; Ocak, 4; Nisan, 7; Temmuz); ^h: kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekrerrün ortalamasıdır.

N-Mineralizasyonu: Organik formdaki azotun bitkilere yarıyıllı inorganik formlara dönüşümü olan N-mineralizasyonu, toprakta farklı fizyolojik özelliklere sahip mikroorganizmalar tarafından yürütülmektedir. N-mineralizasyonu sonucu ortaya çıkan iki ana ürün olan NH_4 ve NO_3 miktarlarının saptanması ile N-mineralizasyonunun hızı hakkında bilgi edinilebilmektedir.

$\text{NH}_4\text{-N}$: 2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde saptanan $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarları Çizelge 7' de verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen $\text{NH}_4\text{-N}$ u miktarları $2.95-9.36 \text{ mg kg}^{-1}$, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde $1.21-5.47 \text{ mg kg}^{-1}$, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde $4.57-16.21 \text{ mg kg}^{-1}$ ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde $3.21-14.57 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmiştir.

Çizelge 7. Araştırma topraklarında saptanan NH₄-N' u miktarları (mg NH₄-N kg⁻¹ kt)^aTable 7. Amount of NH₄-N in experimental soils (mg NH₄-N kg⁻¹ dm)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
Ç M ^a	0-15	8.44	4.81	15.24	12.39	10.2 a
	15-30	7.36	3.47	12.21	10.57	8.4 b
ZB ^b	0-15	5.59	3.46	8.40	7.67	6.3 d
	15-30	6.52	4.46	9.45	8.66	7.3 c
B ^c	0-15	2.95	1.62	4.57	3.21	3.1 e
	15-30	3.56	1.21	5.24	4.22	3.6 e
R ^d	0-15	7.47	3.57	12.56	9.91	8.4 b
	15-30	8.96	4.21	14.45	12.48	10.0 a
	Ort. ^e	6.4 c	3.4 d	10.3 a	8.6 b	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden P < 0.01 düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10;Eekim, 1;Oocak; 4; Nisan, 7; Temmuz); ^h:kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekrerrün ortalamasıdır.

Tüm aylarda çayır mera ile kaplı arazi ile rotasyon altındaki arazinin 10-15 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri en yüksek NH₄-N' u miktarlarına, buğday ekili arazinin her iki derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük NH₄-N' u miktarlarına sahip olmuşlardır. Çayır mera hariç diğer toprak örneklerinin alt tabakasında, üst tabakaya oranla daha yüksek NH₄-N' u miktarları saptanmıştır. Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek NH₄-N' u miktarlarına sahip olmuştur. En düşük NH₄-N' u miktarları ise Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir.

NO₃-N: 2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal NO₃-N miktarları Çizelge 8' de verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen NO₃-N' u miktarları 5.41-18.78 mg kg⁻¹, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde 3.52-12.63 mg kg⁻¹, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde 7.65-25.41 mg kg⁻¹ ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde 6.12-22.14 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir.

Çizelge 8. Araştırma topraklarında saptanan NO₃-N' u miktarları (mg NO₃-N kg⁻¹ kt)^aTable 8. Amount of NO₃-N in experimental soils (mg NO₃-N kg⁻¹ dm)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
Ç M ^a	0-15	18.78	12.63	25.41	22.14	19.7 a
	15-30	11.78	8.56	12.36	10.21	10.7 c
ZB ^b	0-15	8.72	7.32	15.46	12.85	11.1 c
	15-30	6.47	5.63	10.52	8.63	7.8 d
B ^c	0-15	7.56	4.36	10.47	8.22	7.7 d
	15-30	5.41	3.52	7.65	6.12	5.7 e
R ^d	0-15	12.36	8.56	19.45	15.41	13.9 b
	15-30	6.14	4.42	9.23	8.85	7.2 d
	Ort. ^e	9.7 c	6.9 d	13.8 a	11.6 b	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden P < 0.01 düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10; ekim, 1; ocak; 4; nisan, 7; temmuz); ^h:kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekrerrün ortalamasıdır.

Tüm aylarda çayır mera ile kaplı arazinin 0-15 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri en yüksek NO₃-N' u miktarlarına, buğday ekili arazinin 15-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük NO₃-N' u miktarlarına sahip olmuşlardır. Tüm toprak örneklerinin üst tabakasında, alt tabakaya oranla daha yüksek NO₃-N' u miktarları saptanmıştır. Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek NO₃-N' u miktarlarına sahip olmuştur. En düşük NO₃-N' u miktarları ise Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir.

Alınabilir-P: 2009 ve 2010 yıllarında Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında alınan toprak örneklerinde belirlenen alınabilir P miktarları Çizelge 9' da verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre araştırma alanından 2009 yılının Ekim ayında alınan toprak örneklerinde belirlenen alınabilir P miktarları 9.66-21.85 µg g⁻¹, 2010 yılının Ocak ayında alınan toprak örneklerinde 8.67-20.41 µg g⁻¹, aynı yılın Nisan ayında alınan toprak örneklerinde 10.32-25.05 µg g⁻¹ ve yine aynı yılın Temmuz ayında alınan toprak örneklerinde 9.96-23.23 µg g⁻¹ arasında değişmiştir.

Tüm aylarda rotasyon altındaki arazinin 0-15 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri en yüksek alınabilir P miktarlarına, buğday ekili arazinin 15-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri ise en düşük alınabilir P miktarlarına sahip olmuşlardır. Tüm toprak

örneklerinin üst tabakasında, alt tabakaya oranla daha yüksek alınabilir P miktarları saptanmıştır. Nisan ayında alınan toprak örnekleri diğer aylarda alınan toprak örneklerine oranla daha yüksek alınabilir P miktarlarına sahip olmuştur. En düşük alınabilir P miktarları ise genellikle Ocak ayında alınan toprak örneklerinde belirlenmiştir.

Çizelge 9. Araştırma topraklarında saptanan alınabilir P miktarları ($\mu\text{g P g}^{-1}\text{kt}$)^h

Table 9. Amount of available P in experimental soils ($\mu\text{g P g}^{-1}\text{dm}$)

	Derinlik ^f	10 ^g	1 ^g	4 ^g	7 ^g	Ort. ^e
ÇM ^a	0-15	19.45	19.22	22.58	21.38	20.66 <i>b</i>
	15-30	15.21	15.24	19.86	17.45	16.94 <i>c</i>
ZB ^b	0-15	17.28	16.84	17.53	16.61	17.07 <i>c</i>
	15-30	17.14	16.55	16.60	16.40	16.67 <i>c</i>
B ^c	0-15	10.54	10.24	12.08	11.52	11.10 <i>d</i>
	15-30	10.66	9.97	11.32	10.96	10.73 <i>d</i>
R ^d	0-15	21.85	20.41	25.05	23.23	22.64 <i>a</i>
	15-30	20.14	19.40	24.18	22.88	21.65 <i>b</i>
	Ort. ^e	16.53 <i>c</i>	15.98 <i>d</i>	18.65 <i>a</i>	17.55 <i>b</i>	

^a: Çayır mera; ^b: zeytin bahçesi; ^c: buğday; ^d: rotasyon; ^e: farklı harflerle gösterilen rakamlar birbirinden $P < 0.01$ düzeyinde farklıdır; ^f: cm; ^g: ay bazında örnekleme zamanları (10; Ekim, 1; Ocak, 4; Nisan, 7; Temmuz); ^h: kuru maddede olarak hesaplanan her değer üç tekrerrün ortalamasıdır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; farklı bitki örtüsü altındaki topraklardan kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar

KAYNAKLAR

- Açıköz, N., M.E. Akkaş, A. Monghaddam ve K. Özcan. 1993. TARİST PC ler için istatistik ve kantitatif genetik paketi. Uluslararası Bilgisayar Uygulamaları Semp. 19 Ekim 1993 Konya, s 133.
- Alexander, M. 1961. Introduction to Soil Microbiology, New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Anderson, J.P.E. and K.H. Domsch. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. Soil Science, 130: 211 – 216.
- Bingham, F.T. 1949. Soil test for phosphate. California Agriculture, 3(7): 11 – 14.
- Brookes P.C., D.S. Powlson and D.S. Jenkinson. 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biology and Biochemistry, 14: 319 – 329

dönemlerinde iki farklı derinlikten alınan toprak örneklerinde, toprak mikrobiyal biyokütle C, N ve P' u ile mineralize olabilir C, N ve P miktarları mevsimsel bazda incelenmiştir. Elde edilen verilere göre; en yüksek mikrobiyal aktivite çayır mera topraklarında ortaya çıkmıştır. Bu topraklarda C ve N girdisinin fazla olması, mikrobiyal aktiviteyi uyarmakta ve bu yüksek aktivite mineralizasyon hızını da artırmaktadır. Yine diğer toprak örneklerine oranla çayır mera topraklarının daha fazla organik madde ve alınabilir N içermesi, bu görüşü desteklemektedir. Çayır meralarda toprak işlemenin yapılmaması, organik maddenin üst toprak katmanında birikmesine neden olmaktadır. Üst toprak tabakasındaki yüksek mikrobiyal aktivite bu durumdan kaynaklanmaktadır. Fakat işlenen arazilerde organik maddenin alt tabakalara karışması nedeni ile toprak tabakaları arasında mikrobiyal aktivite açısından farklılık daha az olmaktadır.

Araştırmada en düşük mikrobiyal aktivite buğday ekili arazide ortaya çıkmıştır. Buğdayın hasatı sonrası toprağa giren C girdisinin fazla olmaması (zor ayrışabilir özelliğinden dolayı), mikrobiyal aktiviteyi azaltmaktadır.

Sıcaklık ve nem miktarının mikroorganizmalar için optimum olduğu Nisan ayında daha yüksek bir mikrobiyal aktivite saptanmıştır. Sıcaklığın düşmesine paralel olarak mikrobiyal aktivitede de azalmalar meydana gelmiştir.

Bu araştırmanın sonuçlarına göre; topraktaki mikrobiyal aktivite üzerinde bitki örtüsü ile iklim faktörlerinin önemli etkileri olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmayı maddi yönden destekleyen Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na (Proje no: 2009-ZRF-033) teşekkürlerimizi sunarız.

- Isermeyer, H. 1952. Eine Einfache Methode zur Bestimmung der Karbonate im Boden, Z. Pflanzenern. Düng., Bodenkde.
- Jenkinson, D.S. and J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In Soil Biochemistry, Vol. 5. (Eds: E.A. Paul and J.N. Ladd). Marcel Dekker, New York, pp. 415 – 471. Jenkinson D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. Soil Biology and Biochemistry, 8: 203 – 208.
- Jenkinson, D.S. 1988. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems (Ed: J.R. Wilson). CAB International, Wallingford pp. 368 – 386.
- Kalembasa, S.J. and D.S. Jenkinson. 1973. A comparative study of titrimetric and gravimetric methods for the determination of

- organic carbon in soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24: 1085 – 1090.
- Kandeler, E. and H. Gerber. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils*, 6: 68 – 72.
- Okur, N., 1990. Simav ayı sularıyla sulanan Alluvial topraklarda borun mikrobiyolojik ve bazı biyokimyasal olaylar üzerine etkileri. Doktora Tezi. Ege Üniv. Fen Bilimleri Ens. İzmir.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorous. In *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. (Eds: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney). 2nd Edt. Agronomy No.9/2. Am. Soc. Agron. Soil Science Soc. America, Madison, Wisconsin, USA, pp. 403 – 430.
- Ovreas, L. and V.V. Torsvik. 1998. Microbial diversity and community structure in two different agricultural soil communities. *Microbiol.Ecol*, 36: 303-315.
- Pruden, G., S.J. Kalembara and D.S. Jenkinson. 1985. Reduction of nitrate prior to Kjeldahl digestion. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 36: 71 – 73.
- Ross, D.J. 1987. Soil microbial biomass estimated by the fumigation-incubation procedure: Seasonal fluctuations and influence of soil moisture content. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 397-404.
- Scharpf, H.C. und J. Wehrmann. 1976. Die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrats des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung des N-Düngung zu Winterweizen. *Landw. Forsch*, 32: 100 – 114.
- Schlöter, M., O. Dilly and J.C. Munch. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ*, 98: 255-262.
- Uçkan, H.S., 2001. Farklı kültür bitkilerinin yetiştirildiği Bursa ili Alüvyal Büyük Toprak grubunda C ve N-Dinamiği ile genel mikrobiyolojik aktivitenin incelenmesi. Doktora Tezi. Uludağ Üniv. Fen Bilimleri Ens. Bursa.
- Vance, E.D., P.C. Brookes and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703 – 707.