



Effects of Long Term Conservative and Conventional Tillage Systems on Beta Glucosidase Enzyme Activity and Potential Mineralizable Nitrogen[#]

İsmail Çelik^{1,a,*}, Hikmet Günel^{2,b}

¹Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

²Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Tokat Gaziosmanpaşa University, 60250 Tokat, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>[#]This study was presented as an oral presentation at the 5th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (Tokat, TARGID 2020)</p> <p>Research Article</p> <p>Received : 10/11/2020 Accepted : 21/11/2020</p> <p>Keywords: Reduced tillage Zero tillage Soil quality Conventional tillage Biochemical indicators</p>	<p>In this study, the effects of two traditional, three reduced and a zero tillage methods applied for nine years on GEA and PMN were determined and compared. The study, initiated in 2006 as randomized block design, includes a total of 18 plots with 3 replications for 6 different soil tillage systems. In the study, six different soil tillage methods are applied, namely conventional tillage with stubbles (CT-1), conventional tillage with stubbles burned (CT-2), reduced tillage with heavy disc harrow (RT-1), reduced tillage with rototiller (RT-2), reduced tillage with heavy disc harrow (RT-3) and no tillage (NT). Winter wheat was grown as the main crop every year or corn and soybean was grown following the harvest of wheat (second crop) every other year. Differentiation of tillage systems led to a significant variation in GEA and PMN concentrations. The GEA concentration, which increased significantly with the decrease in tillage density, varied between 44.68 mg PNP kg⁻¹ h⁻¹ (CT-2) and 207.66 mg PNP kg⁻¹ h⁻¹ (STI). However, the trend determined in GEA could not be detected in PMN. Although PMN concentration was significantly higher in soils under NT, it was included in the same statistical group with RT-1 for PMN concentrations. Higher PMN concentration in no till soils can be possibly related to the non-disturbance of soil structure. The results of study revealed that reduced and no tillage systems are extremely necessary to increase the quality of soils in the region.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(sp1): 131-138, 2020

Uzun Süreli Korunmalı ve Geleneksel Toprak İşleme Sistemlerinin Beta Glikosidaz Enzim Aktivitesi ve Potansiyel Mineralize Olabilir Azot Üzerine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 10/11/2020 Kabul : 21/11/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Azaltılmış toprak işleme Sıfır toprak işleme Toprak kalitesi Geleneksel işleme Biyokimyasal göstergeler</p>	<p>Bu çalışmada, dokuz yıl süre ile uygulanan iki geleneksel, üç azaltılmış ve sıfır toprak işleme yöntemlerinin GEA ve PMN üzerine etkileri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Tesadüf blokları şeklinde 2006 yılında başlatılan çalışmada, 6 farklı toprak işleme sistemi için 3 tekrerrülü ve toplam 18 adet parsel yer almaktadır. Bunlara ilaveten, Araştırma alanında, anızlı geleneksel toprak işleme (Gİ-1), anızları yakılmış geleneksel toprak işleme (Gİ-2), ağır diskli tırmıklı azaltılmış toprak işleme (ATİ-1), rototillerli azaltılmış toprak işleme (ATİ-2), ağır diskli tırmıklı azaltılmış sıfır toprak işleme (ASTİ) ve doğrudan ekimli sıfır toprak işleme (STİ) şeklinde altı farklı toprak işleme yöntemi uygulanmaktadır. Ürün rotasyonu olarak bugüne kadar kışlık bitki olarak her yıl buğday ve yazlık olarak (ikinci ürün) buğday hasadını takiben sırasıyla bir yıl mısır ve bir yıl soya yetiştirilmiştir. Toprak işleme sistemlerinin farklılaşması GEA ve PMN konsantrasyonunun önemli düzeyde farklılaşmasına neden olmuştur. Toprak işleme yoğunluğunun azalması ile birlikte önemli düzeyde artış gösteren GEA konsantrasyonu 44,68 mg PNP kg⁻¹ sa⁻¹ (Gİ-2) ile 207,66 mg PNP kg⁻¹ sa⁻¹ (STİ) arasında değişmiştir. Ancak GEA'da belirlenen trend PMN'de tespit edilememiştir. Sıfır toprak işleme altındaki topraklarda PMN konsantrasyonu önemli düzeyde yüksek olmakla birlikte ATİ-1 ile PMN konsantrasyonu bakımından aynı grupta yer almıştır. İşlenmemiş topraklarda PMN konsantrasyonunun daha yüksek olmasının muhtemelen toprak strüktürünün parçalanmaması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Araştırma sonuçları, azaltılmış ve sıfır toprak işleme sistemlerinin bölgede toprağın kalitesinin artırılması adına son derece gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.</p>

^a icelik@cu.edu.tr

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-8650-2639>

^b hikmet.gunal@gop.edu.tr

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-4648-2645>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Toprakta mikroorganizmaları bitki ve hayvan atıklarında bulunan karbon, azot ve diğer mineral maddelerin döngüsünü sağlayarak, onları bitkiler için yeniden yararlı hale gelmesine neden olur ve üretkenliği kontrol ederler (Doran ve Linn, 2018). Amenajman uygulamalarına ve özellikle toprak işleme karşı en hassas, en hızlı ve istikrarlı yanıt veren toprak özelliklerinin başında toprağın biyolojik özellikleri olduğu birçok çalışmada vurgulanmıştır (Aziz ve ark., 2013; van Es ve Karlen, 2019). Bu nedenle, toprak biyolojik çeşitliliği ve zenginliği toprak sağlığının temel bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (Ashworth ve ark., 2017).

Tarımsal uygulamalar toprak ekosistemini, mikrobiyal stabiliteyi ve çeşitliliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Toprak işleme ve ürün atık amenajmanı uygulamaları toprak sıcaklığı, su rejimi ve besin elementlerin mikroorganizmalara zamansal ve mekânsal yararlılığı üzerine önemli düzeyde etki etmektedir (Doran ve Linn, 2018). Yapılan çok sayıda çalışmada, sıfır toprak işlemenin topraktaki parçalanma ve karıştırmayı azalttığı, bitki artıklarını toprak yüzeyinde bıraktığı ve toprak nemini koruduğu için toprak kalitesinin gelişimi için hayati öneme sahip olan biyolojik aktivitenin arttığı belirtilmektedir. Boyutları birkaç mikrometreden metreye veya daha fazlasına kadar uzanan çeşitli toprak canlılarının faaliyetleri, toprak kalitesini yansıtan bir takım toprak işlemlerini doğrudan etkilemektedir. Bu işlemler çoğunlukla besin döngüsü ve toprak strüktürünün gelişimi ile ilişkilidirler (Blevins ve ark., 2018). Toprak kalitesinin mikrobiyal bileşimini belirlemek için kullanılacak uygun göstergelerin seçimi bir şekilde oldukça zordur. Toprak işleme nedeni ile veya toprak işlemenin terk edilmesi nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişim, mikrobiyal popülasyonun gelişimi ve aktivitesini destekleyen toprak ortamının önemli düzeyde değişmesine yol açmaktadır (Doran ve Parkin, 1994).

Genel olarak kalitesi iyi olan bir toprağın biyolojik olarak daha aktif olduğu ve dengeli bir mikroorganizma popülasyonuna sahip olduğu düşünülür. Bu nedenle, mikrobiyal aktivite diğer birçok özellikte gözlemlenmeden çok daha öncesinde toprakta meydana gelen büyük değişimler hakkında bilgi verebilmektedir (Blevins ve ark., 2018). Sundermeier ve ark. (2011) 2, 23 ve 44 yıl boyunca sıfır toprak işleme yapılan topraktaki biyofiziksel karbon döngüsüne etkilerini geleneksel işleme altındaki toprakla kıyaslamışlardır. Araştırmacılar 2, 23 ve 44 yıldan bu yana sıfır işleme ile tarımsal üretim yaptıkları alanda belirledikleri mikrobiyal biyokütlenin geleneksel işleme alanına göre sırasıyla %13, %83 ve %86 daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Arjantin'de üç üretim sezonu boyunca buğday ve mısır yetiştiriciliğinde kullanılan geleneksel işleme ile sıfır işlemenin uygulandığı bir çalışmada toplam makrofauna aktivite yoğunluğunun sıfır işleme altında daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Manetti ve ark., 2013). Yapılan benzer birçok çalışmada da geleneksel işleme göre sıfır işleme altında biyolojik çeşitliliğin ve miktarının daha fazla olduğu rapor edilmiştir (Li ve ark., 2018; Alhameid ve ark., 2019; Luo ve ark., 2020; Saikia ve ark., 2020).

Toprak enzimleri, carbon (C), azot (N), fosfor (P) ve kükürt (S) gibi temel bitki besin maddelerinin döngüsünü katalize ederek ve toprak organik maddesinin dinamiklerini düzenleyerek toprak fonksiyonlarını etkiler. Toprak yönetimindeki değişikliklere hızlı tepki vermeleri nedeniyle enzim aktiviteleri, toprak kalitesinin potansiyel göstergeleri olarak kabul edilmişlerdir (Saviozzi ve ark., 2001). Toprak enzimleri ile ilgili veriler, belirli tarımsal uygulamalar sonrasında meydana gelen bozulmalar nedeniyle toprak metabolik kapasitesindeki değişiklikleri gösteren erken bir uyarı olarak kullanılabilir (Calderon ve ark., 2016). Toprakta analiz edilebilen enzimlerden betaglikosidaz, literatürde en sık bildirilen hareketsizleştirilmiş enzimlerden biridir ve amenajmanın etkilerinin erkenci bir göstergesi olarak önerilmiştir (Bandick ve Dick, 1999). Betaglikosidaz gibi hücre dışı enzimler topraktaki aktif kökler ve toprak çözeltisindeki çeşitli mikroorganizmalar tarafından salınırlar. Salınan miktarın önemli bir kısmı toprak kolloidleri üzerinde abiotik formda stabilize olur ve aktivitelerini daha uzun bir süre devam ettirecek potansiyel aktivite için rezerv görevi görürler. Betaglukosiase enzimi, toprak organik maddesinin ve bitki kalıntılarının parçalanmasında önemli bir rol oynar. Betaglikosidaz selüloz parçalanmasının son aşamasında glikoz açığa çıkarken görev yapar ve toprak mikroorganizmaları için ilk enerji kaynağıdır (Knight ve Dick, 2004). Topraktaki en bol polisakarit olan selülozun parçalanmasında son hız sınırlayıcı adımda beta-d-glukopiranositlerin hidrolizini katalize ederek toprak mikrobiyal popülasyonu için basit şekerlerin üretilmesini sağlar. Tek bir enzim aktivitesi, toprak metabolik işleyişi hakkında tam bir bilgi sunamazken, betaglikosidazın toprak ve atık yönetimindeki değişikliklere duyarlı olduğu ve bu değişikliklerin toplam veya organik C analizlerine yansıtılmadan önce toprak organik maddesindeki değişikliklerin erken bir göstergesi olduğu gösterilmiştir. (Roldán ve ark., 2005; Green ve ark., 2007). Genellikle toprak mikrobiyal biyokütlesinin artmasıyla artan betaglikosidaz enzim aktivitesi, bir toprağın bitki atıklarının parçalama ve sonraki ürünler için besin maddelerinin varlığını iyileştirme yeteneğini yansıtır (Stott ve ark., 2010).

Toprak işleme ve atık amenajmanı tarafından etkilenen birçok biyolojik işlem içinde besin döngüsüne en fazla etki eden işlem mineralizasyon/immobilizasyon işlemidir. Atıkların ve mikroorganizmaların toprak yüzeyinde birikmesine neden olan azaltılmış ve sıfır toprak işleme ile toprak organik N'unun azalması ve yüzeye uygulanan N'lu gübrenin immobilizasyonunun artma potansiyeli en önemli etkiler arasında kabul edilmektedir (Doran ve Linn, 2018). Toprak işlemenin şiddeti, C ve N'un oksijene bağlı mikrobiyal döngüsünü önemli düzeyde etkilemektedir. Ürün atıklarının ekim öncesi düzenli olarak yakıldığı arazilerde, işlemenin yapıldığı ve yapılmadığı araziler arasında N immobilizasyonu bakımından önemli bir farklılık görülmeyebilir. Bununla birlikte bitki atıklarının toprak yüzeyinde bırakıldığı, yabancı otların kimyasal kullanılarak kontrol edildiği arazilerde yüksek C/N oranı ile birlikte sıfır toprak işleme olan arazilerde çözünebilir N'un immobilizasyonu daha yüksektir (Rice ve Smith, 1984). Sıfır toprak işlemede ürün atıkları, organik madde

ve toprak mikroorganizmalarının tabakalanması geleneksel işlemlere kıyasla N döngüsünün yavaşlamasına neden olurlar. Sıfır toprak işleme uygulamaları altında yüzey toprağının organik madde, mikrobiyal biyokütle ve potansiyel olarak mineralize olabilir N miktarı kulaklı pulluk ile işlemenin yapıldığı arazilere kıyasla önemli ölçüde yüksektir (Doran ve Linn, 2018).

Bu çalışmada, Çukurova Bölgesinde Akdeniz iklimi etkisinde 10 yıl süre (2006-2016) ile uygulanan iki geleneksel, üç azaltılmış ve iki sıfır toprak işleme yöntemlerinin Beta Glikosidaz Enzim Aktivitesi ve Potansiyel Mineralize Olabilir Azot konsantrasyonu üzerine etkileri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

Deneme alanı, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde (37°00'54" N, 35°21'27" E; 32 m denizden yükseklik), Arık serisi toprakları üzerinde 2006 yılında kurulmuştur. Araştırma alanı toprakları Toprak Taksonomisine göre Typic Haploxererts (Soil Taxonomy, 2014) ve World Reference Base'e göre Haplic Vertisol (IUSS Working group, 2015) olarak sınıflanmaktadır. Deneme alanı, düz ve düze yakın eğimli araziler üzerinde yer almaktadır. Yüzeyden 0-30 cm derinlikte ortalama %50 kil, %32 silt ve %18 kum içermekte, pH'sı 7,82, toplam tuz içeriği %0,02, kireç içeriği %24,4, organik karbon içeriği %0,88 ve hacim ağırlığı 1,31 g cm⁻³ dür (Çizelge 1) (Çelik ve ark., 2009).

Araştırma alanı tipik Akdeniz iklim kuşağında yer almakta olup, kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kuraktır. Araştırma alanından 3 km mesafede bulunan Adana İli Meteoroloji İstasyonu tarafından kaydedilen 88 yıllık ortalama iklim verilerine göre ilin yıllık ortalama sıcaklığı 19,2°C'dir. Yıllık ortalama toplam buharlaşma miktarı 1472 mm, toplam yağış miktarı ise 662,8 mm olup, bu yağışın %75'i kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir (Çelik ve ark., 2019).

Deneme Tesisi

Tesadüf blokları şeklinde 2006 yılında başlatılan çalışmada, 2015 yılına kadar 6, 2015 sonrası 7 farklı toprak işleme sistemi yer almaktadır. Her uygulama 3 tekrerrüldür. Her bir parsel 40 m × 12 m boyutlarında 480 m²'lik alanı kapsayacak düzende ve 9 yıl (2006-2015) boyunca bu şekilde devam ettirilmiştir. Uzun süreli sıfır işleme (no-till) altındaki toprakların bir kez işlenmesinden sonra toprak kalite indekslerindeki değişiminin belirlenmesi amacıyla STİ konusuna ait parsellerin (3 adet parsel) her birisinin yarısı (240 m²) sadece bir kez geleneksel toprak işleme uygulaması yapılarak işlenmiştir. Toprak işleme, sulama, gübreleme, bakım ve hasatta makine ve traktörün rahat çalışması ve parsellerin zarar görmemesi için parsellerin çevresinde 4 m boşluk bırakılmıştır (Şekil 1).

Araştırma alanında 2006 yılından itibaren Anızlı geleneksel toprak işleme (Gİ-1), Anızlı yakılmış geleneksel toprak işleme (Gİ-2), Ağır diskli tırmıklı azaltılmış toprak işleme (ATİ-1), Rototillerli azaltılmış toprak işleme (ATİ-2), Ağır diskli tırmıklı azaltılmış sıfır toprak işleme (ASTİ) ve Doğrudan ekimli sıfır toprak

işleme (STİ) şeklinde altı farklı toprak işleme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 1 ve 2). Yukarıda da belirtildiği gibi STİ parsellerinin yarısında, sadece Kasım 2015 tarihinde bir kez geleneksel toprak işleme yapılmıştır.

Çizelge 1. Çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical and chemical properties of the work area soils

Özellikler	Değerler
Kum (%)	18
Silt (%)	32
Kil (%)	50
Toplam Tuz (%)	0,02
CaCO ₃ (%)	24,4
Organik Karbon (%)	0,88
Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	1,31
pH	7,82



Şekil 1. 2006 yılında kurulan araştırma alanı ve parsellerin genel görünümü (16 Ocak 2015 tarihli Google earth görüntüsü).

Figure 1. General view of the study area and plots established in 2006 (Google earth image dated January 16, 2015).



Şekil 2. Geleneksel toprak işleme yöntemlerinde toprak uygulamalarından görüntüler

Figure 2. Images from conventional tillage method treatments



Şekil 3. Geleneksel toprak işleme yöntemlerinde hasat atıklarının idaresi
Figure 3. Harvest residual management in conventional tillage methods



ATI-2 işleme yönteminde birinci ve ikinci ürünler için, ATI-1 yönteminde ise sadece ikinci ürün için toprak işlemede kullanılan rototiller

Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Toprak İşleme (ATI-1)	Anızların parçalanması	Anızların parçalanması
	Ağır diskli tırmıkla (Goble) işleme (2 kez)	Rototillerle işleme
	Tapan (2 Kez)	Tapan (2 Kez)
	Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi	Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Rototillerli Azaltılmış Toprak İşleme (ATI-2)	Anızların parçalanması	Anızların parçalanması
	Rototillerle işleme	Rototillerle işleme
	Tapan (2 Kez)	Tapan (2 Kez)
	Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi	Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi

Şekil 4. Azaltılmış toprak işleme yöntemlerinde toprak işleme uygulamalarından görüntüler
Figure 4. Images from reduced soil tillage methods



Ağır diskli tırmıklı azaltılmış işleme (ASTİ), Doğrudan ekimli sıfır toprak işleme (STİ) ve Stratejik sıfır toprak işlem (SSTİ) yöntemlerinde parsellere herbisit uygulaması (a) ve ikinci ürün tohum ekim işlemi

Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Sıfır Toprak İşleme (ASTİ)	Anızların parçalanması	Anızların parçalanması
	Ağır diskli tırmıkla (Goble) işleme	Herbisit uygulama
	Tapan (2 Kez)	Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
	Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi	
Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme (STİ)	Anızların parçalanması	Anızların parçalanması
	Herbisit uygulama	Herbisit uygulama
	Doğrudan tahıl ekim makinası ile buğday ekimi	Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi

Şekil 5. Azaltılmış ve sıfır toprak işleme yöntemlerinde ilaçlama ve ekim uygulamalarından görüntüler
Figure 5. Images from reduced and zero tillage methods and herbicide application in no-till



Doğrudan anıza ekim makinası ile parsellere kışlık buğday (birinci ürün) ekim işlemi

Stratejik Sıfır Toprak İşleme (SSTİ)	Anızların parçalanması	Anızların parçalanması
	Herbisit uygulama	Herbisit uygulama
	Doğrudan tahıl ekim makinası ile buğday ekimi	Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi

Şekil 6. Doğrudan ekim makinası ile kışlık buğday ekiminden görüntüler
Figure 6. Images from direct planting of winter wheat.

Anızları yakılmış geleneksel toprak işleme (Gİ-2) sisteminde ise toprak işleme öncesi Çukurova Bölgesinde yaygın bir uygulama olan birinci ve ikinci ürün anız artıkları parsellerden uzaklaştırılmadan ve parçalanmadan parseller içerisinde yakılmaktadır (Şekil 3).

Araştırma parsellerine birinci ürün (*kışlık bitki*) olarak her yıl buğday ve ikinci ürün (*yazlık bitki*) olarak buğday hasadını takiben sırasıyla bir yıl mısır ve bir yıl soya yetiştirilmiştir. Birinci ürün kışlık buğday bitkisinin ekim işlemleri her yıl Kasım ayı içerisinde yapılmakta ve ertesi yılın Haziran ayının ilk yarısı içerisinde ise hasat işlemleri yapılmaktadır. Buğday hasadından hemen sonra Haziran ayının ikinci yarısı içerisinde ikinci ürünler olan mısır ve soya bitkilerinin ekim işlemi yapılmaktadır. İkinci ürünlerin (mısır veya soya) hasat işlemleri ise her yılın Ekim ayı içerisinde yapılmaktadır.

2006-2015 Yılları arasında Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme (STİ) olarak devam etmiştir. Ancak 2015 Kasım ayında kulaklı pulluk ile geleneksel olarak bir kez işlenmiştir. Bu işlemeden sonra tekrar STİ konusundaki işlemlerin aynısı devam etmektedir

Toprak Örnekleme ve Analizleri

Her parselde 2 ayrı noktada 0-10 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Potansiyel mineralize olabilir azot (PMN), toprakta mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla mineralize olabilir durumdaki N fraksiyonunu temsil etmekte olup bitkinin ilk gelişme dönemini destekleyecek yararlı N'un miktarının ölçülmesini temsil etmektedir (Drinkwater ve ark., 1997). Potansiyel mineralize olabilir N konsantrasyonu, laboratuvarında inkübasyon Drinkwater ve ark. (1997) tarafından bildirilen yöntemle yapılmıştır. Beta glikosidaz enzim aktivitesi ise p-nitrofenolün kolorimetrik yöntemi ile belirlenmiştir (Tabatabai 1994).

Veri Değerlendirmesi

Farklı toprak işleme uygulamalarının belirlenen toprak özellikleri üzerine etkilerini belirleyebilmek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Toprak işleme uygulamalarının belirlenen toprak özellikleri açısından homojen gruplara ayırabilmek için DUNCAN testi yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Potansiyel Mineralize Olabilir Azot

Potansiyel mineralize olabilir azot (PMN), topraktaki labil azot hakkında doğru bir tahmin yapılabilmesine izin verir ve bu nedenle toprak kalitesi indikatörü olarak kullanılmaktadır (Drinkwater ve ark., 1997). Toprakta organik maddenin birikmesi zaman içerisinde topraktaki PMN konsantrasyonunu etkilemektedir. Topraktaki PMN'nin kaynağı konusunda belirsizlik devam etmektedir. Kimi araştırmacılar mineralizasyon işlemi esnasında mikroorganizmalar tarafından açığa çıkarıldığını belirtirken, kimileri ise PMN ile mikrobiyal biyokütle arasında önemli bir korelasyon olduğundan bahsetmektedirler (Willson ve ark., 2001). Çalışmada değerlendirilen 7 farklı toprak işleme yönteminin PMN konsantrasyonuna önemli düzeyde ($P < 0,01$) etki yaptığı görülmektedir. Organik madde birikiminin de yüksek olduğu toprak işlemenin tamamen kalktığı STİ uygulaması altındaki topraklarda PMN konsantrasyonu $107,43 \text{ mg N kg}^{-1}$ ile en yüksek düzeyde iken bunu sırası ile toprak işlemenin oldukça azaltıldığı ASTİ ($99,06 \text{ mg N kg}^{-1}$), ATİ-2 ($96,99 \text{ mg N kg}^{-1}$), ATİ-1 ($85,16 \text{ mg N kg}^{-1}$), Gİ-1 ($84,23 \text{ mg N kg}^{-1}$), SSTİ ($81,06 \text{ mg N kg}^{-1}$) ve anızların yakıldığı Gİ-2 ($71,44 \text{ mg N kg}^{-1}$) takip etmiştir (Çizelge 2). STİ altındaki toprakların PMN konsantrasyonu Gİ-1 ve Gİ-2 uygulamalarının olduğu topraklara kıyasla sırası ile %27,5 ve %32,2 oranında yüksektir. Bu çalışmada elde edilen bulguları destekler şekilde, Karlen ve ark. (2013), uzun süreli mısır/soya ve sürekli mısır rotasyonlarında kulaklı pulluk uygulamasının PMN konsantrasyonunu önemli düzeyde düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Çizelge 2. Farklı toprak işleme yöntemleri altında belirlenen ortalama potansiyel mineralize olabilir azot (PMN) konsantrasyonları

Table 2. Mean potential mineralizable nitrogen (PMN) concentrations under different tillage methods

İşleme Yöntemi	PMN (mg g^{-1})
Gİ-1	$84,23 \pm 5,49^{bc}$
Gİ-2	$71,44 \pm 3,25^c$
ATİ-1	$85,16 \pm 3,70^{bc}$
ATİ-2	$96,99 \pm 6,01^{ab}$
ASTİ	$99,06 \pm 2,95^{ab}$
STİ	$107,43 \pm 7,33^a$
SSTİ	$81,06 \pm 3,78^c$
ANOVA	0,000

Gİ-1: Anızlı Geleneksel İşleme, Gİ-2: Anızları Yakılmış Geleneksel İşleme, ATİ-1: Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış İşleme, ATİ-2: Rototillerli Azaltılmış Toprak İşleme, ASTİ: Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Sıfır Toprak İşleme, STİ: Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme, SSTİ: Stratejik Sıfır Toprak İşleme, PMN: Potansiyel Mineralize Olabilir Azot, MBK: Mikrobiyal Biyokütle Karbon, GEA: Beta Glukozidaz Enzim Aktivitesi, #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart hatası, &: Aynı sütündeki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir (Duncan, $P \leq 0,05$).

Elde edilen veriler farklı toprak işleme sitemleri altında elde edilen PMN konsantrasyonlarının farklı topraklarda kurulmuş denemelerden rapor edilen sonuçlar ile önemli benzerlik gösterdiği görülmektedir. Çeşitli iklim bölgelerindeki farklı amenajman uygulamaları altında kurulan 17 ayrı denemeden alınan 153 toprak örneğinde mineralize olabilen azot konsantrasyonunun 54 ile 197 mg

N kg^{-1} arasında değiştiği rapor edilmiştir (Sharifi ve ark., 2007). Araştırmacılar PMN değerinin toplam organik azotun ortalama %6'sına denk geldiğini bildirmişlerdir. Buna benzer şekilde Kanada'nın Saskatchewan eyaletinde çalışmalar yapan Campbell ve ark. (1984; $66-185 \text{ mg N kg}^{-1}$)'ın bulguları ile uyumludur. Saskatchewan eyaletinde daha düşük hacim ağırlığına sahip ($1,2 \text{ Mg m}^{-3}$) hayvan gübresi kullanılmayan topraklarda çalışmalar yapan Walley ve ark. (2002) ise PMN konsantrasyonunu $9-401 \text{ mg N kg}^{-1}$ aralığında olduğunu rapor etmişlerdir. Simard ve N'Dayegamiye (1993) daha düşük inkübasyon sıcaklığı (20°C) kullanmış olmalarına rağmen, otlak toprağında inkübasyon süresini daha uzun (54 saat) kullandıklarından dolayı yüksek PMN değerleri elde etmişlerdir.

Yüksek organik madde içeriğine sahip verimli topraklarda toprak organik maddesinin azotu (SOM-N), bitkilerin alımı için ana N kaynağıdır ve ürün verimi ile pozitif bir ilişkisi vardır (Gardner ve Drinkwater, 2009). Bu nedenle, araştırmacılar potansiyel mineralize olabilir azot (PMN) olarak tanımlanan ve mineralizasyona yatkın olan SOM-N'nin bu fraksiyonunun N gübreleme amenajmanını optimize etmeye yardım edebileceğini bildirmiştir (Franzluebers, 2016). Kontrollü sıcaklık, nem, havalanma ve zaman koşulları altında laboratuvarında inkübasyonda bitkiye yarayışlı azot formlarına dönüşen SOM-N fraksiyonuna PMN denilmektedir (Mahal ve ark., 2018). Toprak işlemenin yoğunluğunun azalması ile birlikte PMN miktarında önemli düzeyde bir artış kaydedilmiştir.

Çok sayıda araştırmayı inceleyerek korumalı toprak tarımında uygulanan işlemlerin PMN üzerine etkisini araştıran Mahal ve ark. (2018), işleme sistemlerinin PMN konsantrasyonuna etkilerinin farklı olduğunu belirtirken STİ sistemlerinde işleme yapılan sistemlere kıyasla %13 daha fazla PMN olduğunu bildirmişlerdir. Yüzeyin 0-15 cm derinliğinde STİ altındaki topraklarda çizel ve kulaklı pulluk ile işleme yapılan topraklara kıyasla %23 daha fazla PMN olduğu belirlenmiştir. İşlenmemiş topraklarda PMN konsantrasyonunun daha yüksek olduğunu bildiren Karlen ve ark. (2014), bunun nedeninin muhtemelen toprak strüktürünün parçalanmaması olduğunu ifade etmişlerdir.

Beta Glikosidaz Enzim Aktivitesi

Beta-glikosidaz, C döngüsünde önemli bir rol oynayan ve karasal biyosferdeki en bol organik bileşik olan, CO_2 'nin fotosentetik fiksasyonu ile sentezlenen biyokütlenin neredeyse %50'si olan selülozun (β -1,4-D-glikoz polimeri) degradasyonunun terminal prosesinde yer alan anahtar bir enzimdir (Steger ve ark., 2010). Amenajmandaki değişime çok hızlı tepki verdiği için dolayı beta glikosidaz enzim aktivitesi önemli bir toprak kalitesi indikatörü olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada da toprak işleme uygulamaları arasında betaglikosidaz enzim aktivitesi açısından oldukça önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3). Beta-glikosidaz toprak yüzeyinde bırakılan atık miktarına paralel olarak anızların yakıldığı Gİ-2 uygulamasında en düşük ($35,38 \text{ mg PNP kg}^{-1} \text{ sa}^{-1}$) ve toprak işlemenin sadece bir kez yapıldığı SSTİ ve hiç yapılmayan STİ uygulamalarında ise en yüksek ($169,84$ ve $145,27 \text{ mg PNP kg}^{-1} \text{ sa}^{-1}$) konsantrasyondadır (Çizelge 3). Beta-glikosidaz enzim aktivitesi toprak organik maddesinin durumu ve döngüsündeki değişimlere en hızlı tepki veren biyolojik özelliklerin başında gelmektedir (Steger ve ark., 2010).

Buna ilaveten, betaglikosidaz enzim aktivitesi yarayışlı azot, fosfor gibi birçok verimlilik parametresi ve mikrobiyal biyokütle karbonu gibi toprak kalitesi değişkenleri ile güçlü ve pozitif korelasyona sahip olduğundan dolayı faydalıdır (Maurya ve ark., 2012). Geleneksel olarak pulluk ile toprağın döndürülerek işlendiği ve organik maddenin nispeten çok daha hızlı ayrıştığı Gİ-1 ve Gİ-2 uygulamasına kıyasla STİ uygulaması altındaki toprakların betaglikosidaz enzim aktivitesi sırası ile %460,2 ve %536,3 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı toprak işleme yöntemleri altında belirlenen ortalama beta glikosidaz enzim aktivitesi (GEA) konsantrasyonları

Table 3. Mean beta glycosidase enzyme activity (GEA) concentrations under different tillage methods

İşleme Yöntemi	GEA (mg PNPkg ⁻¹ sa ⁻¹)
Gİ-1	38,37±4,04 ^c
Gİ-2	35,38±4,63 ^c
ATİ-1	87,27±9,91 ^b
ATİ-2	107,01±11,07 ^b
ASTİ	103,29±9,62 ^b
STİ	145,27±15,08 ^a
SSTİ	169,84±9,73 ^a
ANOVA	0,000

Gİ-1: Anızlı Geleneksel İşleme, Gİ-2: Anızlı Yakılmış Geleneksel İşleme, ATİ-1: Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış İşleme, ATİ-2: Rototillerli Azaltılmış Toprak İşleme, ASTİ: Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Sıfır Toprak İşleme, STİ: Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme, SSTİ: Stratejik Sıfır Toprak İşleme, PMN: Potansiyel Mineralize Olabilir Azot, MBK: Mikrobiyal Biyokütle Karbon, GEA: Beta Glukozidaz Enzim Aktivitesi, #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart hatası, &: Aynı sütündeki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir (Duncan, P<0,05).

Kum içeriği yüksek (kumlu tın) topraklarda çalışan Martin-Lammerding ve ark. (2015) 20 yıldır devam eden bir tarla denemesinde Gİ, ATİ ve STİ sistemleri altında betaglikosidaz enzim aktivitesinin farklılaştığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, betaglikosidaz aktivitesinin yıl içerisinde değişmekle birlikte yüzey topraklarında STİ altındaki topraklarda ATİ altındakilerden %53 ve Gİ altındakilerden ise %130 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, STİ altında mikroorganizma toplulukları daha stabil bir ortamda olduklarından dolayı betaglikosidaz gibi hücre dışı enzimlerin daha fazla üretilebileceğini belirtmişlerdir. Çalışma alanı topraklarına benzer Vertisol bir toprakta çalışan Roldán ve ark. (2005), 3 yıllık sıfır toprak işleme altında toprakların dehidrogenaz (+46,2%, 0–10 cm), proteaz (+178,0%, 0–20 cm), betaglikosidaz (+122,2%, 0–5 cm), üreaz (+63,1%, 0–10 cm) ve fosfotaz (+59,0%, 0–20 cm) aktivitelerinin pullukla işlenmiş topraklara kıyasla daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Toprak Özellikleri Arasındaki Korelasyon Testi

Deneme alanında toprak işleme uygulamaları dikkate alınmadan belirlenen çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin beta glikosidaz enzim aktivitesi ve potansiyel mineralize olabilir azot konsantrasyonu ile olan ilişkilerini anlayabilmek amacı ile korelasyon testi yapılmıştır (Çizelge 4, 5 ve 6). Betaglikosidaz enzim aktivitesi ile toprağın fiziksel özelliklerinden agregat stabilitesi (r=0,85)

ve ağırlıklı ortalama çap (r=0,84) ile oldukça önemli düzeyde (P<0,01) ve penetrasyonu direnci (r=0,33), tarla kapasitesi (r=0,31), solma noktası (0,31) ve mikro gözeneklilik (r=0,31) ile önemli düzeyde (P<0,05) pozitif korelasyonu bulunmaktadır (Çizelge 4). Toprak nem içerikleri ile çok güçlü olmasa da betaglikosidaz enzim aktivitesi arasındaki pozitif ilişkinin varlığı, nemin yeterli olduğu koşullarda kök daha fazla betaglikosidaz salgılandığını ve mikroorganizmalar tarafından daha fazla betaglikosidaz üretildiğine işaret etmektedir. Martin-Lammerding ve ark. (2015)'de kurak koşullarda mikroorganizmaların strese girdiğini ve mikrobiyal etkinliğin düştüğünü belirtmişlerdir. Schimel ve ark. (2007) ise fizyolojik stres koşullarında mikroorganizmaların biyokütle tedarik stratejine yöneliklerini ve bu durumda hücre dışı enzimleri daha düşük düzeyde ürettiklerini belirtmişlerdir.

Betaglikosidaz enzim aktivitesine kıyasla PMN konsantrasyonu, toprağın fiziksel özelliklerinden önemli düzeyde etkilenmiş görünmektedir. Agregat stabilitesi (r=0,43), ağırlıklı ortalama çap (r=0,45) penetrasyonu direnci (r=0,51), su dolu gözenek hacmi (r=0,67), tarla kapasitesi (r=0,60), solma noktası (r=0,58) ve mikro gözeneklilik (r=0,60) ile önemli düzeyde pozitif (P<0,01) ve makro gözeneklilik (r= -0,67) ve toplam gözeneklilik (r= -0,54) arasında önemli düzeyde (P<0,01) negatif korelasyonu olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Beta glikosidaz enzim aktivitesi, kimyasal özelliklerden ise organik madde ile önemli düzeyde pozitif (r=0,68 ve P<0,01) ve sodyum adsorpsiyon oranı ve kireç içeriği ile önemli düzeyde negatif (r= -0,36 ve -0,33; P<0,05) bir korelasyonu olduğu görülmüştür (Çizelge 5). Potansiyel mineralize olabilir azot konsantrasyonu ise toprağın kimyasal özelliklerinden pH ile önemli negatif (r=-0,34 ve P<0,05) ve organik madde ile önemli pozitif (r=0,48; P<0,01) bir ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5). Toprağın organik madde içeriğindeki artışın betaglikosidaz enzim aktivitesi ve PMN konsantrasyonunu olumlu etkilediği görülmektedir.

Biyolojik özelliklerden ise toplam karbon (r=0,47), organik karbon (r=0,54) ve mikrobiyal biyokütle karbonu (r=0,58) ile önemli düzeyde pozitif (P<0,01) korelasyon tespit edilmiştir (Çizelge 6). Gajda ve ark. (2013) mikrobiyal biyokütle ve/veya enzim aktiviteleri ile toprak organik karbonu arasındaki önemli korelasyon, organik karbon konsantrasyonunun toprak ortamında toprak mikroorganizmalarının stabilizasyonu ve aktivitesinde ve hücre dışı enzimlerin korunmasında oldukça önemli rol oynadığının göstergesi olduğu anlamına geldiğini bildirmişlerdir.

Sonuçlar

Sonuçlar, toprakların betaglikosidaz aktivitesi üzerine işleme kullanılan aletlerin oldukça büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Toprak işleme aleti olarak pulluğun kullanıldığı geleneksel uygulamalarda, organik maddenin azalmasına paralel bir şekilde ortalama betaglikosidaz enzim aktivitesi en düşük düzeydedir. On yılın sonunda bir kez işlemenin yapıldığı sıfır toprak işleme uygulamasında toprakların betaglikosidaz aktivitesi geleneksel toprak işlemenin yapıldığı topraklara kıyasla önemli düzeyde yüksektir.

Çizelge 4. Potansiyel mineralize olabilir azot (PMN) ve betaglikosidaz enzim aktivitesi (GEA) ile fiziksel toprak özellikleri arasındaki korelasyon testi sonuçları

Table 4. Results of correlation test between potential mineralizable nitrogen (PMN) and beta-glycosidase enzyme activity (GEA) with physical soil properties.

0-10 cm	AS	AOÇ	HA	PD	SDGH	TK	SN	YS	MİG	MAG	TOG
PMN	0,43**	0,45**	0,28	0,51**	0,67**	0,60**	0,58**	0,21	0,60**	-0,67**	-0,54**
GEA	0,85**	0,84**	-0,10	0,33*	0,27	0,31*	0,31*	0,10	0,31*	-0,23	-0,03

AS: Agregat stabilitesi, AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, HA: Hacim ağırlığı, PD: Penetrasyon direnci, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, YSİ: Yarayırlı su içeriği, MİG: Mikro gözeneklilik, MAG: Makro gözeneklilik, TOG: Toplam gözeneklilik

Çizelge 5. Potansiyel mineralize olabilir azot (PMN) ve betaglikosidaz enzim aktivitesi (GEA) ile kimyasal toprak özellikleri arasındaki korelasyon testi sonuçları

Table 5. Results of correlation test between potential mineralizable nitrogen (PMN) and beta-glycosidase enzyme activity (GEA) with chemical soil properties.

0-10 cm	pH	EC	Kireç	SAR	OM	P	K
PMN	-0,34*	-0,02	-0,18	-0,21	0,48**	0,02	0,10
GEA	-0,22	0,01	-0,36*	-0,33*	0,68**	-0,18	-0,10

EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorpsiyon oranı, OM: Organik madde, P: Fosfor, K: Potasyum

Çizelge 6. Potansiyel mineralize olabilir azot (PMN) ve betaglikosidaz enzim aktivitesi (GEA) ile biyokimyasal toprak özellikleri arasındaki korelasyon testi sonuçları

Table 6. Results of correlation test between potential mineralizable nitrogen (PMN) and beta-glycosidase enzyme activity (GEA) with biochemical soil properties.

0-10 cm	TN	TC	OK	C/N	PMN	MBK
PMN	0,10	0,47**	0,54**	-0,22	1	0,58**
GEA	0,25	0,28	0,46**	0,36*	0,26	0,58**

TN: Toplam azot, TC: Toplam karbon, OK: Organik karbon, PMN: Potansiyel mineralize olabilir azot, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbon, GEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi

Sıfır toprak işleme ve azaltılmış toprak işleme yöntemlerinde toprak yüzeyinde bırakılan bitki atıkları potansiyel mineralize olabilir azot için önemli kaynaklardır. Yüzeyde biriken bitki atıklarına ilaveten, sıfır toprak işleme sisteminde yüzeye uygulanıp toprağa karıştırılmayan azotlu gübrelere de yüzey toprağında potansiyel mineralize olabilir azot konsantrasyonunun yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Sonuçlar; Çukurova Bölgesinde geleneksel toprak işleme uygulamaları yerine azaltılmış ve sıfır toprak işleme sistemlerinin adaptasyonunu, bölgede toprağın kalitesinin artırılması adına son derece gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1150353 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Alhameid A, Singh J, Sekaran U, Kumar S, Singh S. 2019. Soil Biological Health: Influence of Crop Rotational Diversity and Tillage on Soil Microbial Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 83(5): 1431-1442. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.03.0125>
- Ashworth AJ, DeBruyn JM, Allen FM, Radosevich M, Owens PR. 2017. Microbial community structure is affected by cropping sequences and poultry litter under long-term no-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 114: 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.07.019>
- Aziz I, Mahmood T, Islam KR. 2013. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 131: 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.002>

- Bandick A, Dick RP. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1471-1479. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00051-6)
- Blevins RL, Lal R, Doran JW, Langdale GW, Frye WW. 2018. Conservation tillage for erosion control and soil quality. In *Advances in soil and water conservation*, pp. 51-68.
- Calderon FJ, Nielsen D, Acosta-Martinez V, Vigil MF, Lyon D. 2016. Cover crop and irrigation effects on soil microbial communities and enzymes in semiarid agroecosystems of the Central Great Plains of North America. *Pedosphere* 26: 192-205. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60034-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60034-0)
- Campbell CA, Janzen HH, Juma NG. 1997. Case studies of soil quality in the Canadian Prairies: long term field experiments. In: Gregorich, E.G., MR (Eds.), *Soil Quality for Crop Production*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 351-397. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(97\)80044-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(97)80044-X)
- Çelik İ, Ortaş İ, Bereket Barut Z, Gök M, Sarıyev A, Demirbaş A, Akpınar Ç, Tülün Y. 2009. Farklı Toprak İşleme Sistemlerinin Toprak Kalitesi Parametrelerine ve Ürün Verimine Etkileri, TÜBİTAK-TOVAK, Araştırma projesi sonuç raporu, Proje No: 1060023.
- Çelik İ, Günel H, Barut ZB, Acir N, Karlen DL. 2019. Çukurova Koşullarında Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Uzun Süreli Denemelerde Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinin Kullanımı ile Belirlenmesi. TÜBİTAK TOVAG 1150353. Sonuç Raporu. s. 353.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., and Stewart, B.A., (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI: SSSA; pp.1-20. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- Doran JW, Linn DM. 2018. Microbial Ecology of Conservation Management Systems, In *Soil Biology: Effects on Soil Quality*, pp. 1-28.
- Drinkwater LE, Cambardella CA, Reeder JD, Rice CW. 1997. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. *Methods for assessing soil quality*. 49: 217-229. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c13>

- Franzluebbers AJ. 2016. Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity?, *Agricultural and Environmental Letters*, 1(1). <https://doi.org/10.2134/ael2015.11.0009>
- Gajda AM, Przewłoka B, Gawryjolek K. 2013. Changes in soil quality associated with tillage system applied. *International Agrophysics*, 27(2): 133-141. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0078-7>
- Gardner JB, Drinkwater LE. 2009. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta-analysis of 15N field experiments, *Ecological Applications*, 19(8): 2167-2184. <https://doi.org/10.1890/08-1122.1>
- Green, V.S., D.E. Stott, J.C. Cruz, and N. Curi. 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil Tillage Res.* 92: 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.004>
- IUSS Working Group. 2015. WRB World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, Update 2015. World Soil Resources Report No. 106 FAO, Rome.
- Karlen DL, Cambardella CA, Kovar JL, Colvin TS. 2013. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices, *Soil and Tillage Research*, 133: 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.013>
- Karlen DL, Stott DE, Cambardella CA, Kremer RJ, King KW, McCarty GW. 2014. Surface soil quality in five Midwestern cropland conservation effects assessment project watersheds, *Journal of Soil and Water Conservation*, 69(5): 393-401. <https://doi.org/10.2489/jswc.69.5.393>
- Knight TR, Dick RP. 2004. Differentiating microbial and stabilized b-glucosidase activity relative to soil quality, *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 2089–2096. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.007>
- Li L, Xi Y, Chen E, He L, Wang L, Xiao X, Tian W. 2018. Effects of tillage and green manure crop on composition and diversity of soil microbial community. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34(4): 342-348. <http://www.ere.ac.cn/.../column79.shtml>
- Luo Y, Iqbal A, He L, Zhao Q, Wei S, Ali I, Ullah S, Yan B, Jiang L. 2020. Long-Term No-Tillage and Straw Retention Management Enhances Soil Bacterial Community Diversity and Soil Properties in Southern China. *Agronomy*, 10(9): 1233. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091233>
- Mahal NK, Castellano MJ, Miguez FE. 2018. Conservation Agriculture Practices Increase Potentially Mineralizable Nitrogen: A Meta-Analysis, *Soil Science Society of America Journal*, 82(5): 1270-1278. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.07.0245>
- Manetti PL, Faberi AJ, Clemente NL, Lopez AN. 2013. Macrofauna activity density in contrasting tillage systems in buenos aires province, Argentina, *Agronomy Journal*, 105: 1780-1786. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0129>
- Martín-Lammerding D, Navas M, Albarrána MDM, Tenorioa JL, Waltera I. 2015. Long term management systems under semiarid conditions: Influence on labile organic matter, b-glucosidase activity and microbial efficiency, *Applied Soil Ecology*, 96: 296-305. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.021>
- Maurya B, Singh V, Dhyani P, Kumar A. 2012. Influence of altitudes on activity of soil health bioindicators β -glucosidase and urease in agricultural soils of Almora district of central Himalaya, *Research Journal of Soil Biology*, 4: 1–9 <https://doi.org/10.3923/rjsb.2012.1.9>
- Rice CW, Smith MS. 1984. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils, *Soil Science Society of America Journal*, 48: 295-297. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800020013x>
- Roldán, A, Salinas-García, JR, Alguacil MM, Díaz E, Caravaca F. 2005. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 129(3-4), 178-185.
- Saikia R, Sharma S, Thind HS, Singh Y. 2020. Tillage and residue management practices affect soil biological indicators in a rice–wheat cropping system in north-western India. *Soil Use and Management*, 36(1): 157-172. <https://doi.org/10.1111/sum.12544>
- Saviozzi AL, Levi-Minzi R, Cardelli RO, Riffaldi R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and soil*. 233(2): 251-9. <https://doi.org/10.1023/A:1010526209076>
- Schimel J, Balsler TC, Wallenstein M. 2007. Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function, *Ecology*, 88(6): 1386-1394. <https://doi.org/10.1890/06-0219>
- Sharifi M, Zebarth BJ, Burton DL, Grant CA, Cooper JM. 2007. Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil, *Soil Science Society of America Journal*, 71: 1233–1239. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0265>
- Simard RR, N'Dayegamiye A. 1993. Nitrogen-mineralization potential of meadow soils, *Canadian Journal of Soil Science*, 73: 27–38. <https://doi.org/10.4141/cjss93-003>
- Soil Taxonomy. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC
- Stege PW, Messina GA, Bianchi G, Olsina RA, Raba J. 2010. Determination of β -glucosidase activity in soils with a bioanalytical sensor modified with multiwalled carbon nanotubes, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397, 1347–1353. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3634-7>
- Stott DE, Andrews SS, Liebig MA, Wienhold BJ, Karlen DL. 2010. Evaluation of β glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework (SMAF). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 107–119. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0029>
- Sundermeier AP, Islam KR, Raut Y, Reeder RC, Dick WA. 2011. Continuous no-till impacts on soil biophysical carbon sequestration, *Soil Science Society of America Journal*, 75: 1779-1788. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0334>
- Tabatabai M. 1994. Soil enzymes. *Methods of soil analysis: part 2—microbiological and biochemical properties. (methodsofsoilan2):775-833*
- Walley F, Yates T, Van Groenigen JW, Van Kessel C. 2002. Relationships between soil nitrogen availability indices, yield, and nitrogen accumulation of wheat, *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1549–1561. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1549>
- Willson TC, Paul EA, Harwood RR. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems, *Applied Soil Ecology*, 16: 63–76. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00077-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00077-9)
- van Es HM, Karlen DL. 2019. Reanalysis validates soil health indicator sensitivity and correlation with long-term crop yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 83: 721–732. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0338>