



Magyar Agrár- és  
Élettudományi  
Egyetem



Georgikon Campus

Doktori (Ph.D.) értekezés

Kökény Mónika

Keszthely

2021

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM  
GEORGIKON CAMPUS

FESTETICS DOKTORI ISKOLA

Iskola vezető:

Dr. Anda Angéla, D.Sc.

egyetemi tanár

Témavezetők:

Dr. Csitári Gábor, Ph.D.

egyetemi docens

Dr. Tóth Zoltán, Ph.D.

egyetemi docens

**Aggregátum stabilitás, humusz és mikrobiális biomassza vizsgálatok egy  
hosszútávú trágyázási tartamkísérletben**

Doktori (Ph.D.) értekezés

DOI: 10.54598/001690

Kökény Mónika

Környezetgazdálkodási agrármérnök, M.Sc.

Keszthely

2021

# Aggregátum stabilitás, humusz és mikrobiális biomassza vizsgálatok egy hosszútávú trágyázási tartamkísérletben

Az értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében készült a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Festetics Doktori Iskolája keretében

Írta: Kökény Mónika

Témavezetői: Dr. Csitári Gábor, Dr. Tóth Zoltán

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....

(témavezetők)

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: ..... igen /nem

.....

(bíráló)

Bíráló neve: ..... igen /nem

.....

(bíráló)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján .....%-ot ért el.

Keszthely, .....

(a Bíráló Bizottság elnöke)

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

Keszthely, .....

(az EDHT elnöke)

# Tartalomjegyzék

<b>1.</b>	<b>Kivonatok</b> .....	6
1.1.	Magyar nyelvű kivonat .....	6
1.2.	Abstract .....	9
1.3.	Auszug .....	12
<b>2.</b>	<b>Bevezetés és célkitűzés</b> .....	15
2.1.	Célkitűzés .....	16
<b>3.</b>	<b>Irodalmi áttekintés</b> .....	17
3.1.	A talaj termékenysége, kialakító tényezői, mérése .....	17
3.2.	Művelés és trágyázás hatása a talaj termékenységére .....	20
3.2.1.	Vetésforgós talajművelési rendszer .....	20
3.2.2.	Trágyázás.....	21
3.2.3.	Talajművelés és talajtermékenység .....	29
3.3.	A talaj szerves anyagai.....	31
3.4.	A talaj mikroorganizmusai.....	33
3.4.1.	A talaj mikroorganizmusainak jelentősége és indikátorként való használhatósága .....	33
3.4.2.	A mikroflóra szervezetei .....	36
3.4.3.	Mikrobiális biomasszát befolyásoló tényezők.....	41
3.4.4.	A talaj mikroorganizmusainak aktivitása .....	43
3.5.	Talajszerkezet jellemzői, különösen az aggregátum stabilitás és szerepe .....	48
3.6.	Hosszútávú trágyázási tartamkísérletek jellemzői, fontossága .....	52
<b>4.</b>	<b>Anyag és módszer</b> .....	59
4.1.	Kísérleti terület talaja .....	59
4.2.	Éghajlat, időjárási jellemzők a kísérlet évei alatt .....	60
4.3.	IOSDV kísérlet és kezeléseinek leírása .....	63
4.4.	Mintavételi időpontok, minták tárolása .....	65
4.5.	Mérési módszerek.....	65
4.5.1.	Talajfizikai mérés .....	65
4.5.2.	Talajkémiai mérések .....	66
4.5.3.	Talajbiológiai mérések .....	67
4.6.	Talajba kerülő szerves szén becslése.....	67
4.7.	Eredmények statisztikai értékelése .....	68
<b>5.</b>	<b>Vizsgálati eredmények</b> .....	69
5.1.	A talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak változása .....	69
5.1.1.	Aggregátum stabilitás .....	69

5.1.2.	Talaj szerves szén tartalma.....	76
5.1.3.	Humuszminőség (E4/E6 hányados).....	78
5.2.	A talajok biológiai tulajdonságainak változása .....	81
5.1.1.	Mikrobiális biomasszatömeg .....	81
5.1.2.	FDA (fluoreszcein-diacetát) hidrolízis aktivitás .....	89
5.2.	Termésmennyiség .....	96
6.	Eredmények értékelése .....	100
6.1.	Az aggregátum stabilitás és a mikroorganizmusok.....	100
6.1.1.	Aggregátum stabilitás kapcsolata a mikrobiális biomassza mennyiségével.....	100
6.1.2.	Az aggregátum stabilitást szignifikánsan befolyásoló paraméterek .....	101
6.2.	A talaj szerves szén tartalmára és a humuszminőségére ható tényezők.....	101
6.2.1.	A talaj szerves szén tartalmát és a humuszminőséget szignifikánsan befolyásoló tényezők	101
6.2.2.	A talaj szerves szén tartalmának és humuszminőségének kapcsolata a vizsgált paraméterekkel .....	102
6.3.	Mikrobiális biomassza mennyiségére ható tényezők.....	104
6.3.1.	A mikrobiális biomasszát szignifikánsan befolyásoló tényezők .....	104
6.3.2.	A mikrobiális biomassza mennyiségének és aktivitásának kapcsolata .....	106
6.3.3.	Mikrobiális biomasszatömeg időbeli változatossága .....	107
6.4.	Növényi termés mennyiségének kapcsolata a vizsgált paraméterekkel.....	107
6.5.	A becsült talajba kerülő szerves szén és a vizsgált paraméterek kapcsolata .....	108
7.	Következtetések .....	110
8.	Összefoglalás .....	114
9.	Tézispontok .....	117
9.1.	Tézispontok magyarul.....	117
9.2.	Thesis points.....	118
10.	Köszönetnyilvánítás.....	119
11.	Irodalomjegyzék .....	120

# 1. Kivonatok

## 1.1. Magyar nyelvű kivonat

A fenntartható mezőgazdasági gyakorlat egyik fő eleme a talaj erőforrásainak megőrzése, fenntartása, valamint minőségének javítása. Számos kutatás folyik világszerte abból a célból, hogy megkísérelje feltárni, azonosítani a talaj tulajdonságait, azok kölcsönhatásait, a különféle folyamatokat, melyekkel jellemezni tudjuk a talaj funkcióit. A kutatások végső célja talajaink termékenységének megőrzése, helyreállítása és fenntartása. Köztudott, hogy a talaj termékenysége, sok más tényező mellett kapcsolódik a biológiai állapotához és aktivitásához, szervesanyag-tartalmához, tápanyagtartalmához és szerkezetéhez egyaránt. Saját kutatásom során e tulajdonságok egyes paramétereit, illetve azok kapcsolatát vizsgáltam.

A trágyázás és különböző talajművelési, növénytermesztési eljárások hatását sokféle módon vizsgálhatjuk, azonban a mezőgazdasági gyakorlat számára a leghasználhatóbb eredményeket a hosszútávú trágyázási és művelési tartamkísérletek adják, hiszen az eredmények ok-okozati összefüggéseit könnyebben értékelhetővé teszik. Napjainkban, több mint 600 db 10 évnél idősebb tartamkísérlet tartanak számon világszerte, a legtöbb Európában található (DEBRECZENI B.-NÉ, 2009). A keszthelyi IOSDV tartamkísérletet 1983-ban állították be három ismétlésben, 15 kezelés kombinációval, trágyázási mód: műtrágya, műtrágya+istállótrágya, műtrágya+szárleszántás+zöldtrágya (NPK, NPK+IST, NPK+SZ+ZT) és N trágyázás (N0, N1, N2, N3, N4) hatásainak tanulmányozására. Ennek a kísérletnek a parcelláiból vettem talajmintáimat 2014 és 2016 között, és használtam, az aggregátum stabilitás, a humuszminőség (E4/E6), a mikrobiális biomasza (MBC) és a fluoreszcein diacetát (FDA) bontó enzimaktivitás meghatározásához. Az eredmények értékelésekor a talaj összes szerves szén (SOC, C<sub>org</sub>) tartalmát és terméseredményeket is felhasználtam, valamint a talajba kerülő összes szerves szén mennyiséget becsültem.

Az aggregátum stabilitást *Kemper és Koch* (1966) módszertana szerint végeztem, egy Eijkelkamp „Wet Sieving Apparatus” készüléken, a száraz szitálás során keletkezett 1 és 2 mm közti talajfrakcióból. A talaj szerves széntartalom mérése az MSZ 08-0452:1980 magyar szabvány szerint történt. A humuszminőség mérése az E4/E6 módszert használtam (KONONOVA, 1966, SCHNITZER, KAHN, 1989). A mikrobiális biomasza mérését kloroform fumigációs extrakciós módszerrel, *Vance et al.* (1987) leírása alapján, a fluoreszcein diacetát bontó aktivitás mérését pedig *Alef és Nannipieri* (1998) módszere szerint végeztem.

Az aggregátum stabilitás mérési eredményei szerint csak a szerves kiegészítések okoztak statisztikailag igazolható eltéréseket. Öt mérésből három esetében volt szignifikáns a változás, ahol minden esetben a szárleszántás és zöldtrágya hatására nőtt leginkább a stabil aggregátumok aránya.

Az aggregátum stabilitás egyedül a mikrobiális biomasza mennyiségével mutat korrelációt, azonos mintából való mérések esetében azonban csak egy korrelációt találunk, mely szerint a mikroorganizmusok aggregációban betöltött szerepe jelentős lehet.

A talaj szerves széntartalma (SOC) szűk tartományon belül is mutat szignifikáns eltérést, miszerint az istállótrágya növelte jelentősebb mértékben a SOC mennyiségét. A SOC mennyisége a mikrobiális biomasszával mutat több esetben is korrelációt.

A humuszminőséget két mintavételből mértem, melyekből az egyik mutatott szignifikanciát, szintén csak a szerves kiegészítések hatására. Az eredmények alapján mindkét szerves kiegészítés hatására pozitívan változott az E4/E6 hányados értéke (tehát csökkent) a csak műtrágyázott parcellákhoz képest. A humuszminőség több esetben is negatívan korrelál a mikrobiális biomasza és aktivitás eredményekkel, mely szerint a könnyebben bontható kisebb molekulatömegű humuszanyagok arányának növekedése csökkentette a biomasza mennyiségét és aktivitását.

A mikrobiális biomasza mennyiségére szignifikánsan pozitív hatással voltak a műtrágya mellett használt szerves kiegészítések. Az első két vizsgálati évben az istállótrágyás kiegészítés hatására mértem magasabb biomasza mennyiséget, míg a harmadik évben a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés bizonyult hatékonyabbnak. A különböző N adagok nem mutattak statisztikailag igazolható eltérést az MBC-t illetően.

Az FDA (fluorescein-diacetát) hidrolízis aktivitás esetében is csak a szerves kiegészítések esetében kaptam releváns eltérést. 2015-ben az istállótrágya, míg 2016-ban a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés eredményezte a legmagasabb enzimaktivitás értékeket.

A mikrobiális biomasza mennyisége és aktivitása között két esetben is pozitív korrelációt kaptam, mely szerint a passzív és aktív mikrobák aránya állandó.

A termésmennyiség a többi vizsgált paraméterrel ellentétben inkább N adag esetében mutat jelentős eltérést, ahol többnyire a nitrogént nem kapó, illetve az 1-es nitrogén adag eredményezett jelentősen kevesebb termést. Szerves kiegészítés esetében egyedül 2015-ben volt releváns eltérés, őszi búza jelzőnövényvel, ahol az istállótrágya szignifikánsan pozitív hatással volt a termés mennyiségére.

A talajba kerülő szerves szén becsült értékei a termés mellett több esetben is mutatnak korrelációt a mikrobiális biomasza mennyiségével és aktivitásával, azonban a várakozással

ellentétben (egy eset kivételével) nem a talajba kerülést követő évvel, hanem az azt követővel mutatott kapcsolatot.

Az adatok különbözősége a környezeti tényezők változékonyságából és egyéb tényezőkből (mintavétel időpontja, talaj állapota stb.) egyaránt adódhat, azonban egy több évtizede beállított tartamkísérletről lévén szó, az eredmények arra engednek következtetni, hogy a műtrágyázás mellett mindenképp indokolt valamilyen szerves kiegészítés (istállótrágya, szárleszántás+zöldtrágya) alkalmazása, a talaj szerkezetének, a benne található humuszanyagok minőségének, valamint talajaink biológiai állapotának hosszútávon történő javítása és fenntartása érdekében.



## 1.2. Abstract

One of the primal elements of sustainable agricultural practice is the preservation and enrichment of soil resources. Numerous researches around the world are engaged to detect and identify the characteristics and interactions of soil due to revealing its different functions. The final goals of researchers are sustaining and recovering fertility. Wildly know that fertility, among many other factors, correlates with the biological condition and its activity, organic- and nutritional content, and structure. During the following research, the parameters above and their correlations were examined.

The effect of manuring, tillage methods, and crop systems can be examined in different ways; however, long term experiences give the most reliable and complex overview of agricultural practice causes and effects. Nowadays, more than 600 long-term experiences exist worldwide, which lasts longer than ten years; most of them found in Europe (DEBRECZENI B.-NÉ, 2009). The IOSDV long-term experiment was set in 1983 in three repeats, with fifteen method combinations. Manuring system: fertilizer, fertilizer + manure, fertilizer + straw incorporation + green manure (NKP, NKP+IST, NKP+SZ+ZT) and N only (N0, N1, N2, N3, N4) for examining their effects. Soli samples were taken from the above experiments parcels between 2014 and 2016 and used for the microbial biomass fluorescein diacetate (FDA) degrading enzyme activity, humus quality (E4/E6), and aggregate stability analysis. During the evaluation, total organic carbon and crop yield were taken into account, and the estimation of total organic carbon get into the soil.

Eijkelkamp's „Wet Sieving Apparatus” was used for measuring aggregate stability after *Kemper és Koch* (1966), using the pieces between 1 and 2 mm soil fractions, after a dry drizzle. Organic carbon volumes were calculated following the MSZ 08-0452:1980 (Hungarian Standard). E4/E6 system was used to examine humus quality (KONONOVA, 1966, SCHNITZER, KAHN, 1989). Chloroform fumigation extraction method was used to measure the microbial biomass following *Vance et al.* (1987) description. Fluorescein diacetate degrading activity was detected after *Alef és Nannipieri* (1998).

Examining aggregation stability, only organic amendments brought statistically verifiable difference. Three measurements out of five were significantly distinguishable, wherein all cases straw incorporation and green manure affected the growth of aggregation stability.

Aggregation stability showed correlation only with the amount of microbial biomass, measuring from the same sample however, only one correlation could be found, according to which the role of microorganism in aggregation is significant.

The organic carbon content of soil (SOC) brought a significant deviation also in a narrow range, according to which manure increased more prominently the amount of SOC. The volume of SOC appeared to correlate with microbial biomass in several cases.

The quality of humus was measured from two samplings, from which one showed significance used organic amendments. According to the results, both organic amendments improved the quality of humic substances comparing with parcels only used fertilizers. In many cases, the quality of humus negatively correlated with the microbial biomass and activity results. The raising ratio of easier degradable, smaller molecular weighted humic substances negatively affected the amount of biomass and its activity.

Organic amendments had a significant positive influence on the volume of microbial biomass besides fertilizers. In the first two years, manure addition showed a more substantial impact on the amount of biomass, while in the third year, straw incorporation and green manure proved more effective. The different doses of N did not show a statistically acceptable deviation regarding biomass.

In the FDA's case (Fluorescein diacetate) hydrolysis activity, relevant deviations were only detectable with organic amendments. In 2015 manure, 2016 using straw incorporation and green manure resulted higher enzyme activity scores.

Positive correlations were given both in the amount and activity of biomass in two cases, according to which the rate of active and passive microbes was constant.

In contrast to the other examined parameters, the yield of crops brought larger-scale deviation in case of N portions, where mostly the non-added N and N1 portion resulted a substantial decrease in yield. Added organic amendments, only in 2015, manure had a significantly positive effect on the yield of winter wheat as a signal plant.

The estimated value of organic carbon got into the soil next to the volume of yield in many other cases showed correlation with the amount and activity of microbial biomass, however contrary to expectations (except one case), not in the subsequent year showed connection but the year after.

The differences of data can be resulted from the variability of environmental factors and other circumstances (timing of sampling, condition of the soil, etc.), however speaking of a decades-old, long-term experiment, the results allowed us to conclude that beside fertilizers using organic amendments (manure, stow incorporation + green manure) are definitely

justified for reserving the soil's biological condition and its humic substance quality; further, the evaluation of its structure.

### 1.3. Auszug

Eins das wichtigste Element der nachhaltigen landwirtschaftlichen Praxis ist die Ressourcen des Bodens zu erhalten, bewahren und ihre Qualität zu verbessern. Weltweit werden zahlreiche Forschungen mit dem Ziel durchgeführt die Eigenschaften des Bodens zu ausloten und identifizieren, es werden auch ihre Wechselbeziehungen und die verschiedenen Prozesse mit denen wir die Funktionen der Erde charakterisieren untersucht. Die Endziele der Forschungen ist die Produktivität unseren Böden zu bewahren, wiederherstellen und aufbewahren. Es ist allgemein bewusst, dass die Produktivität des Bodens neben vielen anderen Faktoren in Zusammenhang steht so mit dessen biologischen Zustand und Aktivität, als auch mit den organischen Materialien und Nährstoffgehalt. In meiner Forschungsarbeit untersuchte ich die einzelnen Parameter diesen Eigenschaften, betreffend auch ihren Verknüpfungen.

Die Auswirkungen der Düngung und der verschiedenen Bodenbearbeitungen und Pflanzenzüchtungsarten können vielfältig untersucht werden, jedoch ergeben sich die für die landwirtschaftliche Praxis am meistens verwendbare Ergebnisse aus der organische Stoff - und Dauerdüngungsversuche. Diese stellen den Grund und Folge Ursache Wirkungen der Ergebnisse verständlicher dar. Heutzutage sind weltweit mehr als 600 älter als 10 Jahre alte Dauerdüngungsversuche registriert, die meisten in Europa (DEBRECZENI B.-NÉ, 2009). Die IOSDV (Internationale organische Stickstoff und Dauerdüngungsversuch) aus Keszthely wurde im Jahre 1983 in drei Repetitionen eingestellt, in 15 Kombinationsbehandlungen, die Düngungsverfahren: Kunstdünger, Kunstdünger + Naturdünger, Kunstdünger + Erntedünger + Gründüngsdünger (NPK, NPK+IST, NPK+SZ+ZT) und Dünger „N“ (N0, N1, N2, N3, N4) Wirkungen zu untersuchen. Ich habe von den Parzellen aus diesen Versuchen Bodenmustern genommen zwischen 2014-2016. Diese habe ich zur Bestimmung von mikrobiellen Biomasse (MBC), fluorescein diacetate hydrolysis Aktivität - Test (FDA), Humusqualität (E4/E6) und Aggregatsstabilität verwendet. Bei der Auswertung der Ergebnisse habe ich den gesamten organischen Kohleninhalt (SOC) und die Ernteergebnisse auch verwendet, wie auch die in den Boden geratene gesamte organische Kohleninhalt geschätzt.

Die Aggregatsstabilität habe ich mit Hilfe der Methode von *Kemper und Koch* (1966) gemacht, mit einem Eijkelkamp „Wet Sieving Apparatus“ Apparat, in dem durch trockenen Fegen entstandenen Bodenfraktion zwischen 1 und 2 mm. Der organische Kohleninhalt wurde laut der ungarischen Standard MSZ 08-0452:1980 analysiert. Bei der Messung der Humusqualität habe ich die E4/E6 Methode verwendet (KONONOVA, 1966, SCHNITZER, KAHN,

1989). Die Messung der mikrobiellen Biomasse habe ich mit Chloroform Begasungsmethode, nach der Beschreibung von Vance et al. (1987) gemacht. Die fluorescein diacetate hydrolysis Aktivität- Test habe ich nach der Methode von Alef und Nannipieri (1998) verrichtet.

Gemäß der Aggregats Stabilität Messungen haben nur die organischen Ergänzungen eine nachweisbare Abweichung ausgelöst. Von fünf Messungen gab es dreimal einen signifikanten Unterschied, bei denen die Aggregats Stabilität in jedem Fall durch den Einfluss der Erntedünger und Gründungsdünger wuchs.

Die Aggregats Stabilität zeigt nur mit der Menge der mikrobiellen Biomasse Korrelation, im Falle von Messungen aus gleichen Bodenmustern finden wir aber nur eine Korrelation, wonach die Rolle der Mikroorganismen in der Aggregation relevant sein kann.

Der organische Kohleninhalt (SOC) des Bodens zeigt auch in engem Rahmen ein signifikanter Unterschied, wonach die Gründungsdünger in relevanter Maße den organischen Kohleninhalt steigert. Die Menge der SOC zeigt in mehreren Fällen mit der mikrobiellen Biomasse Korrelation.

Die Humusqualität habe ich aus zwei Bodenmustern gemessen, aus denen eine Signifikaten gezeigt hatte ebenfalls nur auf Einfluss organischen Ergänzungen. Laut der Ergebnissen haben sich die Humusqualitäten bei beiden Parzellen mit organischen Ergänzungen im Vergleich zu den nur Kunstdüngung Parzellen verbessert. Die Humusqualität korreliert mehrfach negativ mit den mikrobiellen Biomasse und Aktivitäts- Ergebnissen, wonach der Anwuchs des Anteils der leichter abbauenden kleineren molekulargewichtliche Humusstoffe reduzierte die Menge und Aktivität der Biomasse.

Auf die Menge der mikrobiellen Biomasse haben neben dem Kunstdünger verwendete organische Ergänzungen signifikant eine positive Wirkung ergeben. In den ersten zwei Jahren der Untersuchung habe ich nach dem Einfluss von Naturdünger eine höhere Biomassegröße gemessen, wobei in dem dritten Jahr erwies sich die Erntedünger und Gründungsdünger für effektiver. Die verschiedene N Dosierungen haben keine statistisch vertretbaren Abweichungen betreffend die Biomasse ergeben.

Im Fall der FDA (fluorescein- diacetat) hydrolysis Aktivität habe ich auch nur im Fall mit organischen Ergänzungen einen relevanten Unterschied bekommen. Im Jahre 2015 ergab die Naturdünger, im 2016 die Erntedünger - und die Gründungsdüngerergänzung die höchsten Enzymwerte.

Zwischen der Menge und Aktivität der mikrobiellen Biomasse habe ich in zwei Fällen eine positive Korrelation bekommen, dementsprechend ist das Verhältnis der aktiven und passiven Mikroben konstant.

Die Erntemenge zeigt im Gegensatz zu den anderen untersuchten Parametern eher im Falle von N Dosierung eine bedeutende Abweichung, wo meistens den Stickstoff nicht bekommende, oder auch die 1-er Stickstoffdosierung ergab relevant weniger Ernte. Im Falle von organischen Ergänzungen gab es nur einmal im Jahre 2015 einen signifikant positiver Einfluss auf die Menge der Ernte bei Herbstweizen Indikatorpflanze mit Naturdüngung.

Die geschätzten Mengen der in den Boden gelangende organische Kohleninhalt zeigen neben der Ernte mehrmals Korrelation mit der Menge der mikrobiellen Biomasse und deren Aktivität, jedoch im Gegensatz zu den Erwartungen (Ausnahme einen Fall) nicht nach dem Jahr, indem sie in den Boden geraten sind, sondern den diesem folgenden Jahr eine Beziehung.

Die Verschiedenheiten der Daten können sich aus den Wechselhaftigkeit der umweltbedingten Faktoren und sonstiger Faktoren (der Zeitpunkt der Musterentnahme, der Zustand des Bodens usw.) ergeben, aber weil es sich in dem Fall von einem mehr als mehr Jahrzehnten lang eingestellte Musterforschung handelt, lassen die Ergebnisse darauf folgern, dass neben dem Kunstdünger ist die Verwendung einer organischen Ergänzung (Naturdünger, Erntedünger + Gründungsdünger) unbedingt gerechtfertigt, um den biologischen Zustand unseren Böden, die in deren auffindbaren Humusqualität, sowie die Bodengefüge langfristig verbessern zu können.

## 2. Bevezetés és célkitűzés

A magas terméshozamok érdekében végzett intenzív mezőgazdasági termelés, az ásványi műtrágyák túlzott használata, a nem megfelelő művelési eljárások sok esetben vezettek a talajok degradációjához és leromlott talajegészséghez. Számos kutatás folyik világszerte abból a célból, hogy megkísérelje feltárni, azonosítani a talaj tulajdonságait, azok kölcsönhatásait, a különféle folyamatokat, melyekkel jellemezni tudjuk a talaj funkcióit. A fenntartható talajgazdálkodás nem csupán a helyes termesztési és tápanyagellátási módszerek megválasztását jelenti, hanem a talaj minőségének értékelését, annak javítását és hosszútávon történő fenntartását is. Köztudott, hogy a talaj termékenysége, sok más tényező mellett kapcsolódik a szerkezetéhez, szervesanyag-tartalmához, annak minőségéhez, tápanyagtartalmához, biológiai állapotához és aktivitásához egyaránt. Saját kutatásom során a talaj tulajdonságok egyes paramétereit, illetve azok kapcsolatát vizsgáltam egy trágyázási tartamkísérletben. A hosszútávú tartamkísérletek gyakran színterei a mezőgazdasági kutatásoknak, hiszen az eredmények ok-okozati összefüggéseit könnyebben értékelhetővé teszik. Az ásványi trágyázás, mint napjaink mezőgazdasági gyakorlatának legáltalánosabb eszköze, megbízhatóan növeli a talaj tápanyagtartalmát, ezáltal növekszik a hozam, és így egyúttal a talaj termékenységére is pozitív hatást gyakorol. A szerves trágyákat régóta használják a mezőgazdaságban, de mivel az ásványi trágyákhoz képest hatásuk kevésbé kiszámítható és időben is változó, ezért használatuk háttérbe szorult. A szerves trágyázással történő kiegészítés hatékony trágyázási stratégiát jelenthet a talaj termékenységének, szerkezetének és biológiai sokféleségének javításához, fenntartásához.

A talajok biológiai tulajdonságainak alapjául a talaj fizikai-kémiai állapota szolgál, ennél fogva, ha a talajminőséget javítani szeretnénk, ahhoz optimális talajszerkezet kialakítása szükséges. A talaj szerkezetét szerves és szervesetlen elemi szemcsék, és az összekapcsolódásuk következtében kialakult szerkezeti elemek, az úgynevezett aggregátumok alkotják. Az aggregátumok fontosak a talaj porozitásának és levegőzöttségének fenntartásához, melyek szükségesek a növényi növekedéshez, mikrobiális aktivitáshoz és mikrobiális légzéshez.

A talaj-élettevékenység motorját a szerves anyagok adják, valamint a talajba kerülő növényi és állati maradványok mikroszervezetek által módosított, átalakított formái, a különféle humuszanyagok (BIRÓ, 2018). A humuszminőséget leginkább a trágyázás módja, a talajba kerülő szerves anyagok mennyisége és minősége, a művelés és talajtípus befolyásolja.

A mikroorganizmusok szinte minden, a talajban végbemenő biológiai és kémiai folyamatban fontos szerepet játszanak, valamint élettevékenységük során mérhető változásokat okoznak a talajok szerkezetében és szervesanyag-tartalmában. A mikrobiális biomassza érzékenyen reagál a termesztési és művelési eljárásokra, de nagy szezonális dinamikát és térbeli változatosságot is mutat. A talajban mért enzimaktivitások pedig a mikrobiális aktivitást tükrözik, így felhasználhatóak a mikrobiológiai funkcionális sokféleség indexeként, mely számos anyagcsere folyamatot tartalmazhat.

A fenti paraméterek vizsgálatára számos kutatást találunk a szakirodalomban, azonban tartamkísérletben történő együttes vizsgálatokra már kevesebb a példa. A már megállapított összefüggések mellett, rengeteg a feltáratlan kérdés, valamint a vizsgált területek földrajzi elhelyezkedése is döntően befolyásolja az adatokat. Minél több adat áll rendelkezésünkre remélhetőleg annál árnyaltabb képet kapunk a talajban végbemenő folyamatokról, kölcsönhatásaikról és földrajzi változékonyságukról. A hosszútávú hatások és összefüggések pontosabb ismeretével, jobban kidolgozható a fenntartható szemléletű mezőgazdasági gyakorlat.

## **2.1. Célkitűzés**

Kutatási témám során vizsgálom, hogy a műtrágyázás mellett használt szerves kiegészítések (istállótrágya; szárleszántás+zöldtrágya), illetve a N adagok befolyásolják-e az általam mért fizikai/kémiai jellemzőket és biológiai tulajdonságokat. Illetve a vizsgált paraméterek között keresek összefüggéseket.

Eszerint vizsgálataim céljaként az alábbi fő kérdésekre kerestem a választ:

- Hatással vannak-e a szerves kiegészítések, illetve a N adagok az aggregátum stabilitásra, humuszminőségre és mennyiségre, valamint a mikrobiális biomassza mennyiségére és aktivitására?
- Van-e korreláció az aggregátum stabilitás és a mikrobiális biomasszatömeg között?
- Van-e korreláció a talajban élő mikrobák mennyisége és aktivitása között?
- A szerves anyag minősége és mennyisége befolyásolja-e a mikrobiális biomasszát és az aggregátum stabilitást?
- Van-e korreláció a becsült bekerülő szerves szén mennyisége és a mért paraméterek között?
- A termésmennyiségre hatással vannak-e az alkalmazott kezelések, illetve kimutatható-e bármely vizsgált paraméterrel kapcsolat?



### 3. Irodalmi áttekintés

#### 3.1. A talaj termékenysége, kialakító tényezői, mérése

A talaj egyik legfontosabb funkciója a termékenysége, azaz, hogy képes-e a növények számára termőhelyként szolgálni, és így rendszeresen jó minőségű növényi hozamot előállítani. A talajok természetes termékenysége az adott természeti feltételek, az éghajlat, a talaj meghatározó tulajdonságai és egyéb lokális tényezők hatására alakul ki. A tényleges termékenység azonban az emberi beavatkozások, az agrotechnika eredményeként jön létre. Tehát a talajban sok tényezőnek együttesen kell rendelkezésre állnia a növények szükségleteinek kielégítésére: kedvező vízvezetés, víztárolás, szellőződés, tápanyagok felhalmozása, optimális talajszerkezet kialakítása stb. (KISMÁNYOKY, 1994a).

*Kemenesy (1972) megfogalmazása alapján: „A talajtermékenység a talajnak ama belső, potenciális képessége, amely annak színvonalától függően különböző mértékben hasznosítja az alkalmazott termesztéstechnikai ráfordításokat és egyéb külső befolyásokat.”* Tehát tulajdonképpen akkor nagyobb egy talaj termékenysége minél inkább képes arra, hogy a ráható külső erőket a termés növelésére fordítsa. A talaj termékenységét befolyásoló tényezőket négy csoportra oszthatjuk: fizikai (pl.: kötöttség, talajszerkezet, talajréteg mélysége), kémiai (pl.: tápanyagtartalom, makro és mikro tápelemek), kolloidikai (humusz és agyagásványok), biológiai (mikroflóra és fauna, aktivitás, összetétel) (KEMENESY, 1972).

A talajtermékenység viszonylagos fogalom, hiszen előfordulhat, hogy adott talajon egyik növény jól fejlődik, másik kevésbé, ezen felül pedig az optimális terméshez megfelelő időjárási viszonyok, valamint szakszerű növényvédelem is szükséges. A művelés alá vont talajokat érő kedvezőtlen hatások kiküszöbölésére vagy csökkentésére, illetve a termékenység fokozására számos trágyázási, talajművelési és növénytermesztési eljárás alkalmas. A különféle agrotechnikai eljárások esetében nehéz külön választani a termés növekedését és a talaj termékenységét fokozó eljárásokat, hiszen bizonyos termésnövelő eljárások hosszútávon történő alkalmazása ugyanúgy szolgálja a termékenység fenntartását is.

*Schmidt (2011) szerint a termékeny talaj az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik:*

- mobilizálja a tartalék tápanyagokat,
- a trágyák tápanyagait könnyen felvehető formába alakítja át,
- elegendő erővel köti a könnyen felvehető frakciókat ahhoz, hogy megvédje őket a kimosódástól,

- önszabályozó képessége révén kiegyensúlyozott tápanyagellátást biztosít,
- elegendő mennyiségű vizet tárol és biztosít a növények számára,
- jó víz-levegő arányt tart fenn a gyökerek számára,
- nem köti meg a tápanyagokat nehezen felvehető formába.

A talaj termékenységét komplexitása révén számszerűsítve kifejezni nagyon nehéz, hiszen a tényezők bonyolult kölcsönhatásáról van szó. (KEMENESY, 1972).

A talajtermékenység elemzése során, tulajdonképpen a talajok produkciós potenciálját határozzuk meg. Megkülönböztetünk, különféle termékenységi szinteket, melyek az emberi (antropogén) beavatkozások hatására alakulnak ki:

A **természetes termékenység** ( $F_n$ ) a természetes növénytakaró biomaszátömege, valamint az ősi növénytakaró feltörése után az első kultúrnövény terméseredménye. Hazánkban azonban már nincs sem ősi növénytakaró, sem újonnan művelésbe vont terület, így csak elméleti jelentősége van ennek a meghatározásnak.

Az **alaptermékenység** ( $F_f$ ) a vetésforgó, istállótrágyázás és szántás együttes használatával nyert terméseredményt jelenti. Mintegy két évszázadon keresztül az 1900-as évek elejéig ezzel jellemezték a talajok termékenységét. Az alaptermékenységet gabonaegységben is ki lehet fejezni, a termesztett növények többéves termésátlagai alapján.

Az **aktuális vagy tényleges termékenység** ( $F_a$ ) a jelenleg használt műtrágyaféleségek valamint a talajviszonyokhoz igazított művelési eljárások által elért termések többéves átlaga, száraz vagy öntözéses művelés esetén is.

Az **optimális termékenység** ( $F_o$ ) az összes indokolt és gazdaságosan alkalmazható melioráció (olyan tevékenység, melynek célja a mezőgazdasági területek, talajok javítása) által elért átlagtermés.

A **potenciális termékenység** ( $F_p$ ) az adott viszonyok között a jelenlegi ismeretek szerint eredményesen alkalmazható melioratív eljárások összességével elért többéves termésátlag.

A **maximális termékenység** ( $F_m$ ) pedig az elméletileg elérhető legnagyobb termésátlag, melyet a kultúrnövény és az időjárás határol be.

A **meliorációs számmal** ( $M$ ) az agrotechnika és melioráció által elért terméstöbbletet fejezzük ki gabonaegységben.  $M = F_a - F_f$

A **reagálási szám** (R) megadja az összes agrotechnikával és meliorációval elérhető terméstartalmat gabonaegységben.  $R = Fp - Ff$

A **meliorációs hatásfok** (M%) a meliorációs számnak a reagálási szám százalékában kifejezett értéke,  $M\% = M \times 100 / R$ ,

mely a leginkább kifejezi a gazdálkodás színvonalát és eredményességét, megmutatja, hogy a meliorációs lehetőségeket milyen mértékben használták ki (STEFANOVITS *et al.*, 1999).

A talaj produktív potenciáljának számszerűsítése érdekében egy komplex a környezeti tényezők értékelését is megvalósító földminősítési rendszer szükséges, mely segíti a talajok termékenységének feltérképezését, fenntartását, és lehetővé teszi akár az egyes tényezők egyedi hatásának vizsgálatát is (FAO, 1985). A termékenység becsléséhez, a talajok osztályozásához ismernünk kell tulajdonságait, folyamatait, azok összefüggéseit és eredményeit. Ezen összefüggések rendszerezésével, feltérképezésével hozható létre földminősítési rendszer.

A hazánkban manapság is használatos „első magyar hozadéki kataszteri” (aranykoronás) földértékelési rendszer elavult és a jelenkor környezetvédelmi és agronómiai elvárásainak nem tud megfelelni (TÓTH, 2009).

Egy modern földminősítő rendszernek az alábbi fő szempontnak kell megfelelnie (DEBRECZENI B.-NÉ *et al.*, 2003):

- termőhelyek produktív viszonyait számszerűsítve fejezze ki
- növénycsoportok, fontosabb gazdasági növények külön értékelését lehetővé teszi
- éghajlati hatásokból eredő termékenységi változásokkal számoljon, a termelési kockázat lehetőségét is mutassa
- intenzitási szinteken minősítse a produktivitást

Ezen szempontok maximális figyelembevételével hozták létre a D-e-Meter intelligens földminősítő rendszert a Pannon Egyetem Georgikon Karán (több kutatóbázissal együttműködve). A bemeneti adatokból (vízgazdálkodás, talajfolt tulajdonságok, tápanyagellátottság, domborzati viszonyok, agrotechnikai tényezők) egy algoritmus segítségével két értékszámot képez. Az egyik a főbb növénycsoportokra ad egy jellemző értéket, a másik pedig egy általános földminőségi értékszám. Ez földértékelési rendszer a modern elvárásokat kielégíti, valamint közgazdasági elemzésekhez is alkalmazható.

A talaj funkcióképességét tulajdonságainak összessége határozza meg, mely a talajban végbemenő anyag- és energiaforgalmi, talajképződési és talajpusztulási folyamatok eredménye. Minden egyes talajjal kapcsolatos tevékenység, akár tudatos, akár ismert vagy ismeretlen, kívánatos vagy kedvezőtlen, e folyamatok megváltozását eredményezi. A talajfolyamatok szabályozása a korszerű talajtan és talajhasználat legfontosabb feladata. Bár a kedvezőtlen hatások megelőzése és kivédése egyre nehezebb, ennek ellenére a talajaink minősége, funkcióképessége, termékenysége fenntartható. Ennek elérése azonban állandó és tudatos tevékenységet követel (VÁRALLYAY, 2016).

### **3.2. Művelés és trágyázás hatása a talaj termékenységére**

#### **3.2.1. Vetésforgós talajművelési rendszer**

A régi ugaros művelést a vetésváltó földművelési rendszer követte, melyben nagy áttörést a *Norfolki négyes* vetésforgó megjelenése jelentett a 18. század végén. A rendszer lényege, hogy a termőhelyen két hasonló igényű növény nem követheti egymást, és minden növény az utána következőnek hasznos előveteménye legyen. A jó váltógazdálkodásban a szántóföldön a termesztett növények 50 %-a csak a gabona (MÁRTONFFI, 1864). A klasszikus **vetésforgó**ban a növényeket térben és időben előre meghatározott sorrendben termesztik, így egy növény csak bizonyos idő elteltével kerül vissza ugyanazon helyre. Ezt nevezzük rotációnak. Azonban a gyakorlatban inkább a vetésváltás módszere terjedt el, melynek során agrotechnikai szempontból hasonló vagy különböző növények váltják egymást pár évente. A jó növényi sorrend kialakításához tudnunk kell a különféle növények elővetemény értékét, azaz, hogy az utána következő növényre milyen hatást gyakorol. Az elővetemény értéket több tényező befolyásolja úgy, mint a termőhely, a növény hatása a talajra, a gyomnövényei, kártevői, termése, az alkalmazott növénytermesztési eljárások, a betakarítás és vetés közti idő. Ezek alapján minden növénynek meghatározták az elővetemény igényét, ennek segítségével törekedni kell arra, hogy számára minél előnyösebb növénykultúrát válasszunk (GYURICZA, 2001). A vetésváltás módszere a gyakorlatban a mai napig vitatott a monokultúras termesztéssel szemben, sokszor leginkább gazdasági okok döntenek el a kérdést. *Könnecke* 1969-ben megállapítja, hogy a vetésforgóban alkalmazható kedvező elővetemény hatás, olyan hozamgyarapító tényező, mely plusz anyagi ráfordítást nem igényel, így nem elhanyagolható. Vetésforgóban, kukorica állományban a kontroll parcellák talajának agronómiai szerkezete kedvezőbb volt, mint kukorica monokultúrában (TÓTH, 2001). *Földesi* (2013) agronómiai szerkezetvizsgálat során, kimutatta, hogy a vetésforgó alkalmazásával növekszik a kedvező morzsa frakció aránya, míg a rögfrakció csökken. A pillangós-kalászos vetésváltás jelentősen

emeli a talaj szerves anyagának minőségét és pozitívan hat az aggregátum stabilitásra (CHAN, HEENAN, 1999).

### 3.2.2. Trágyázás

A talajban lévő tápanyag mennyisége időben és térben egyaránt változik. Ezt a tápanyagtartalmat az alábbiak növelik:

- a felhasznált szerves trágyák, műtrágyák és talajjavító anyagok,
- tarló- és növénymaradványok,
- a szabadon élő baktériumok és a pillangós növények által megkötött N mennyisége,
- az atmoszférából talajba jutó terhelés,
- a vetőmagok, növényvédő szerek elemtartalma (ANTOS et al., 2006).

A régi típusú művelési rendszerek egy idő után nem hoztak kellő sikereket a hozamot illetően, egészen addig, míg *Albrecht Thae*r német agronómus trágyázási javaslatai alapján nagyobb figyelmet fordítottak a helyes szerves trágya-kezelésre és kijuttatásra (THAER, 1809-1821).

A trágyázás hatásait már régóta vizsgálták hazánkban is, és már az első magyar mezőgazdasági szakkönyvekben is kitérnek jelentőségére. A hajdani Georgikon egyik tanára majd vezetője *Pethe Ferentz*, így ír 1805-ös *Pallérozott Mezei Gazdaság* című művében: „*Trágyának neveznek a' practicus földművelők minden olyan keveréket, mellyel ők a' plántatermő föld' termékenységét nevelhetik és valósággal nevelik is...*”, „*Az igaz, hogy a' trágya mindenkor meg fogja tartani a' maga jussát hasznos tulajdonságára nézve a' plántanevelésben...*”.

*Nagyváthy János* - aki az első magyar nyelvű mezőgazdasági szakkönyv írója volt- a *Magyar Practicus Termesztő* (1824) című művében így említi a trágyázást: „*Ha a' föld sovány, vagy erejében fogyatkozó, azt tavaszi vetéskor vékonyabban: vagy vastagabban megtrágyázzák.*”

Napjainkban trágyázásnak nevezünk minden olyan tevékenységet, melynek során szerves vagy szervetlen anyagokat viszünk a talaj termőrétegébe, vagy megtermesztjük ott (pl.: zöldtrágya), annak érdekében, hogy a talaj fizikai, kémiai illetve biológiai állapotát javítsuk, kultúrnövényeinknek tápanyagot biztosítsunk.

A földművelés legrégebbi tápanyag-visszapótló tevékenysége a **szerves trágyázás**. Szerves trágyaként a következőket használhatjuk: almos istállótrágya, hígtrágya, zöldtrágya, leszántott

szalma és kukoricaszár, tözeges trágyák, komposzt, fekál, baromfitrágya, városi szemét és szennyvíz, egyéb szerves melléktermékek, mint például az elővetemény tarló- és gyökérmaradványai (KISMÁNYOKY, 1994b).

A szerves trágyák főként a talaj fizikai tulajdonságára, szerkezetére, vízgazdálkodására hatnak és így közvetve a talaj életére. Szén-dioxid képzéssel, a tápanyagok feltárásával és oldásával a növényi tápláláshoz is hozzájárulnak. Tehát összefoglalva az ásványosodás útján javítják: a talajok szerkezetét, vízgazdálkodását, mikrobiológiai életét, pufferkapacitását, a felhasznált műtrágyák hasznosulását és a talajok kultúrállapotát (ANTAL, 2005).

Az **istállótrágya** szakszerű kezelésével és kijuttatásával, jó minőségű, jelentős tápanyagmennyiségű trágya nyerhető. Az istállóból kazalba hordott trágya nagyjából fél év alatt érik be. A hosszan érlelt, komposztálódott trágya jóval ellenállóbb és kevesebb labilis frakciót tartalmaz (HAYNES, NAIDU, 1998). A szarvasmarha trágyát általában szalmával fogják fel, ez a keverék trágyakészítés szempontjából is a legelőnyösebb, mivel a szalma így bomlik legjobban, valamint felszívja az illékony részeket, és így a legértékesebb elemek benne maradnak (KÁDÁR, 2013). Amellett, hogy tápelemeket tartalmaz a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait is kedvezően befolyásolja (KEMENESY, 1972, ANTAL, 2005). Több vizsgálati eredmény is bizonyítja, hogy az istállótrágya pozitívan hat a humuszmerlegre, nagyjából negyed része humifikálódik (GYÖRI, 1984, PATÓCS, 1987, STEFANOVITS 1999). Az istállótrágya hatása nagyon sokoldalú, mindamellett, hogy tápanyagot szolgáltat a növényeknek, baktériumokkal dúsítja a talajt, a talajban és felette is emeli a CO<sub>2</sub> koncentrációt, növeli a talaj humusztartalmát, és pufferkapacitását. Kolloid tulajdonságai révén javítja a talajszerkezetet (a laza talajt kötöttebbé, a túl kötött, hideg talajt lazábbá teszi), növeli az adszorbeált bázisok mennyiségét és csökkenti a talaj savanyúságát (KÁDÁR, 2013). A túlzott istállótrágya kijuttatásnak negatív környezeti hatásai is lehetnek, például a foszfor és nitrát kimosódás, valamint hosszú távon laza talajszerkezethez is vezethet a magas egyatomos kation (Na<sup>+</sup>) tartalma miatt, mely diszpergálószerként hat a talaj felépítésére (BRONICK, LAL, 2005). *Bauer és Prohászka* (1987) műtrágyával kombinált istállótrágya hatását vizsgálta Duna-Tisza közeli lepelhomokon, és megállapították, hogy az istállótrágya hosszú távon is hozamgyarapodást eredményez. Az istállótrágya NPK-n kívül kalciumot, magnéziumot és mikroelemeket is tartalmaz, a tápanyagokon kívül pedig a savanyúságot is enyhíti, valamint javítja a talaj fizikai tulajdonságait, utóhatásával pedig hosszan növeli a mikroorganizmusok számát (ÁRENDÁS, 1998). *Jenkinson* (1991) rothamstedi vizsgálata szerint a műtrágyázott parcellák talajának szervesanyag-tartalma majdnem fele az istállótrágyázott kezeléseknek,

azonban a termésátlagok a műtrágyázás esetében voltak magasabbak. *Asmus* (1983) 21 éves tartamkísérletben (kezelések között hatóanyag azonosság elvét használták) termésadatait vizsgálva azt kapta, hogy a műtrágyahasználat megkétszerezte a termés mennyiségét a kontroll csoporthoz képest, míg a műtrágya és szalma kiegészítés hatására a termés mennyisége nem változott. A legmagasabb hozamot pedig az istállótrágyás kiegészítéssel kapta. A műtrágya + szerves trágya együttes használata 14 %-kal több termést eredményezett a csak műtrágyázott kezeléshez képest. *Hoffmann* (2009) 46 éves tartamkísérletben végzett eredményei szerint az istállótrágya hatékonysága 82 %-os, az ekvivalens hatóanyag tartalmú NPK műtrágyához képest. Hosszútávú tartamkísérletben az NPK műtrágyához adott istállótrágya kiegészítés a hozam növelése mellett, pozitív hatással volt a talaj C és N frakcióira, valamint az aggregátumok méreteloszlására (*MANNA et al., 2007*). *Whalen et al.* (2001) vizsgálatai alapján a hosszútávú istállótrágya használat növelte a könnyen bontható szervesanyag-arányát, és így a potenciálisan mineralizálható N és P tartalmat is.

Ebben a trágyaszerben a N jelentős része szerves formában van jelen, mely csak ásványosodás után hasznosulhat, mivel ez hosszú folyamat, ezért lassúhatású trágyának minősül (*KÁDÁR, 2013*). Az istállótrágya minősége függ annak összetételétől, közvetlen hatását két évre számolják, azonban közvetett hatása több évre is tehető (*ANTAL, 2005*). Az istállótrágya minősítési besorolását és NPK tartalmának hasznosulását a *1. és 2. táblázatok* mutatják be.

**1. táblázat: Az istállótrágya minősítése a beltartalom alapján (ANTAL, 2005)**

<b>Hatóanyag %</b>	<b>Jó</b>	<b>Közepes</b>	<b>Gyenge</b>
<b>N</b>	0,7-1	0,5-0,7	0,3-0,5
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,4-0,7	0,3-0,4	0,2-0,3
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,8-0,7	0,5-0,8	0,3-0,5
<b>Szerves anyag</b>	18-22	15-18	10-15
<b>C:N arány</b>	15-20:1	20-25:1	25-30:1

2. táblázat: Az istállótrágya NPK-tartalmának hasznosulása (ANTAL, 2005)

Hasznosítási idő	Hatóanyag kg/ 10 t		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Első évben	18	20	40
Második évben	12	15	20
Összesen	30	35	60

Az istállótrágya kijuttatására a N-terhelés megelőzése érdekében rendeletben (49/2001. (IV.3.)) előírt mennyiségi korlátozás van érvényben, mely szerint: „Mezőgazdasági területre éves szinten szerves trágyával kijuttatott nitrogén mennyisége nem haladhatja meg a 170 kg ha<sup>-1</sup> értéket, beleértve a legeltetés során állatok által kijuttatott, továbbá a szennyvizekkel és szennyvíziszapokkal kijuttatott mennyiséget is.”

A **zöldtrágyázás** során az e célból vett növényt, még zölden a virágzása előtt célszerű alászántani, így növeli leginkább a talaj szervesanyag-tartalmát és tápanyag-szolgáltató képességét. Ilyenkor már egy hét után ásványi N megjelenését okozza a talajban, így könnyen bomló szerves inputot jelent a következő növény számára (KISMÁNYOKY, 1993). A zöldtrágya használatának olyan gazdaságokban lehet jelentősége, ahol kevés termést adó talajok vannak és az állati trágya használata nem megoldható. Ez főként olyan talajoknál lehet hasznos, melyek laza, szerkezet nélküli, humuszban szegény, homok és kovárányos barna erdőtalajok, vagy kötött agyag-és szikes talajok, valamint sekély termőrétegű erodált és heterogén talajok (KISMÁNYOKY, 1994b).

*Pethe* így ír 1805-ös könyvében a zöldtrágyáról: „*Ez a' trágya az, a' melyet én a Magyaroknak - másnak nem annyira, mint a' Magyar országi Mezei gazdának -, még pedig mindenk felett annak, a' ki kevés erővel sok földet, nagy gazdaságot kíván legkönnyebben pallérozni, minden trágyázásmód felett javasolhatok, 's ez által javasolok*”... „*A' zöldségtrágya' tehetségét theoretice is ki lehet hozni abból, hogy mikor eleven kövér plántát szántuk le: akkor a' plántatápláló eledellekkel együtt, még pedig egymáshoz mérsékelt természeti szerrel adjuk vissza a' földnek, hogy az azokat, az eltemetett plántákból kiszabadítván, más plántákkal közölje, mellyek azokat kívánva várják.*”

A zöldtrágya növények az alábbi módon jellemezhetőek (ANTAL, 2005):

- lágú szárú, nagy levélfelületű és jó talajfelszín-takaró



- mérsékelt vízigényű mind a csírázáskor, mind a vegetációban
- rövid tenyészidejű
- a kelést követően gyors fejlődésű
- dúsán és mélyen gyökeresedő
- jó tápanyagfeltáró és –felvevő képességű
- betegségekkel, kártevőkkel szemben toleráns és ezeknek a vegetatív szakaszban nem gazdanövénye.

A zöldtrágya növényekkel az alábbi pozitív hatások érhetőek el (ARANYI, SZTAHURA, 2018):

- Szél- és vízerózióval szembeni védelem a talaj takarásával;
- A talaj szerkezetének és vízháztartásának javulása;
- A talaj szervesanyag-tartalmának növekedése és humuszképződés;
- A biodiverzitás növelése a hasznos szervezetek számára történő élettér biztosításával;
- Virágzó növényfajok használatával méhlegelő létrehozása;
- Talajélet növelése;
- Tápanyagmegőrzés és -feltárás szerves formában;
- Gyomszabályozás;
- A kémiai növényvédelem támogatása (közvetett módon bizonyos kórokozók és kártevők fejlődési ciklusa gátolható).

A jelenleg vethető növényfajokat a 10/2015. rendelet 3. melléklete tartalmazza. A legfontosabb zöldtrágyanövények: alexandriai here, bíborhere, fehér mustár, homoki zab, meliorációs retek, mézontóffű, négermag, olajretek, pannon bükköny, pohánka, rozs, szöszös bükköny, takarmányrepce, tavaszi bükköny. Minél szegényebb fajban egy vétesforgó, az alkalmazott zöldítés esetében érdemes annál több fajt felhasználni, melyek a vetésforgó egészére előnyös hatást gyakorolnak. A zöldítő keverékek esetében célszerű figyelembe venni a vetőmagok méretbeli különbözőségét is. Jelenleg a leggyakoribb zöldítő keverék a mustár és olajretek (NAGY, 2021).

Magyarország klímája alkalmas arra, hogy széles körben válogathatunk a növények között, hiszen megtalálják életfeltételeiket, de bizonyos fajokat csak nagyon drágán lehet beszerezni a magyar piacon. Ha a zöldítésnél a nyereséges termesztés nem cél, akkor elég olyan fajt választani, ami egyszerűen csak jót tesz a talaj állapotának. Olyan gazdaságokban, ahol nincs állattartás vagy nem áll rendelkezésre istállótrágya, ott érdemes pillangós fajokat is választani,

főleg ha szója sincs a forgóban. A pillangósok a közös kórokozók és kártevők hiánya miatt is hasznosak. Egymással rokonságban álló vagy hasonló kártevőkkel és kórokozókkal jellemezhető fajokat kerülendő egy vetésforgóba tenni. A zöldítő növény kiválasztásának fontos szempontja az is, hogy az adott talaj kémhatásához, sótartalmához és vízviszonyaihoz alkalmazkodni tudjon, mert ha nem képes erre, akkor könnyen kiszorítja a helyi gyomflóra. Figyelembe kell venni továbbá, hogy a zöldítő faj a következő kultúrában, mint kultúrgyom jelenhet meg, rendkívül megnehezítve így a növényvédelmet (NAGY, 2021).

A kutatások megoszlanak a zöldtrágya növényeket illetően. Az eredmények sokszor évjárat függőek is lehetnek. Azt fontos tisztázni, hogy többlet tápanyag nem kerül a talajba a trágyanövények által, csupán a visszamaradó és a mélyebb rétegek tápanyagait akkumulálja, illetve teszi feltárhatóbbá. A zöldtrágyázás használatát továbbá erősen korlátozza az a tény, hogy a termésre gyakorolt pozitív hatása nem bizonyítható egyértelműen, valamint költséges a vetése, különösen főveteményként, másodveteményként használva, pedig akár negatív hatása is lehet a következő kultúrnövény vízfogyasztására (KISMÁNYOKY, 1994d).

Kecskeméti homoktalajon végzett vetésforgó kísérletben a fővetésű zöldtrágyázás még pillangósok esetében is termés kieséssel járt így az veszteséges. A másodveteményként használt szöszös-bükkönyös rozsot valamint somkórót pedig gazdaságosabbnak találták takarmányként hasznosítani és csak a tarló- és gyökérmaradványokat leszántani (BAUER, 1979, BAUER, CSERNI 2002). A zöldtrágyázás hatására nőtt a CO<sub>2</sub> termelés és a dehidrogenáz aktivitás (KARA, PENEZOGLU, 2000). Kovács (2009) vetésforgóban használt mustár köztes veteményről megállapította, hogy a talajba visszajuttatva jelentősen javította annak szerkezetét. Balázs *et al.* (1998) vizsgálataikban arra jutnak, hogy a zöldtrágya és istállótrágya használata előnyös lehet egy homokos talajon lévő vetésforgóban, azonban nem elég, mellette mindenképpen szükséges a műtrágya és meszezés használata. A zöldtrágyázás talajra gyakorolt pozitív hatása egyértelműen kimutatható volt Mikó (2009) vizsgálataiban, ahol rámutatott arra, hogy különösen a nagy és dús gyökérszerű trágyanövények bedolgozásuk után 2-3 hónappal mérhetően javítják a talajállapotot.

Az általam vizsgált kísérletben az alkalmazott zöldtrágya az olajretek, mely talajkímélő keresztesvirágú növény, a termőréteget kiváló fizikai és biológiai állapotban hagyja vissza, a talajba szántva pedig könnyen feltárható forrást jelent. Vetése 2,5 millió csíra (25 kg) ha<sup>-1</sup>, melyet 2-3 cm mélyen vetnek gabona sortávra. Jellemző rá a nematóda gyérítő hatás. Kisebb fagyokat is jól viseli (KOVÁCS CSOMOR, NAGY, 2003). Több kutatás alapján elmondható,

hogy az olajretek leszántásával 10-45 t ha<sup>-1</sup> közötti biomassa mennyiség kerül a talajba (ANTAL, 1999, GYURICZA, 2008, KISMÁNYOKY, 2016). Augusztusi vetéssel vegetatív típusú marad, és 6-7 hét után 80 cm-nél nagyobb szárat nevel. Szeptember végén – október elején virágzik, magot ilyenkor nem érlel (PEPÓ, 2005). Olajretek esetében 10 t biomasszában 48 kg N, 22 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és 43 kg K<sub>2</sub>O kerül a talajba (BIRKÁS, 2006b).

*Tóth és Kismányoky (2009)* háromszakaszos gabonás (kukorica - őszi búza - őszi árpa) vetésforgóban többlettermést mért az őszi árpa tarlójába vett olajretek után, ez azonban nem teljesen elővetemény hatás, mert az őszi árpa tarló- és szármadaradványainak leszántásával többlet N juttatnak ki. A három tényező együttesen 36,6 %-os terméshozadék eredményezett. *Kismányoky (2016)* 5 év adatait vizsgálva, igazolta, hogy a tarlóban maradt többlet N sikeresen mérsékelhető az olajretekkel, hiszen felveszi azt, így megelőzve a kimosódását, majd az ily módon visszakerült N a következő növény számára elérhető lehet. Ezzel csökkenthető a környezetszennyezés, valamint csökkenthető a műtrágyázás költsége. Bár a vetőmag ára költséget jelent, de jóval alacsonyabb befektetést jelent ez, mint a műtrágya hektáronkénti ára, ezen kívül a gyomok és az erózió elleni védekezésben kedvező a hatása, ezért a szerző javasolja a vetésforgóba történő olajretek integrálását.

Az olajretek jó gyomelnyomó is, bizonyos mértékben gátolja a gyomnövények fejlődését, allelopatikus hatása jól érvényesül (NÉMETH *et al.*, 2003).

A **tarló és gyökérmadaradványok** szerepe szintén jelentős a talajok termékenységének növelésében, hiszen rajtuk keresztül nagy tömegű és tápanyagtartalmú szerves anyag kerül a talajba. A talajba vitt trágyákkal szemben nagy előnye, hogy a gyökérszövet egyenesen oszlik el a talajban, így a feltáródó tápanyagok folyamatosan alakulnak. A melléktermék leszántása leginkább a K trágyázást helyettesíti. Hektáronként minden tonna kalászos szemtermés után 10, kukorica után 15, napraforgó kaszat után 60 kg K<sub>2</sub>O hatóanyagot jelent a talajban hagyott melléktermék (KÁDÁR *et al.*, 2011). A szervesanyag-részecskék annál könnyebben hozzáférhetőek a mikroorganizmusok számára, minél kisebb méretűek, ezért tarlómaradványok forgatás előtti zúzása, aprítása javítja lebonthatóságukat. A tarlómaradványok a következő szerves vegyületeket tartalmazzák: szacharidok, fehérjék, humin-és fenolsavak, valamint lignin, azonban az összetevők aránya függ a növény fajtájától és fejlettségi állapotától. A talajba juttatott szerves anyag, melynek bomlása kezdetektől a talajban történik, élénkíti a mikroorganizmusok élettevékenységét, melynek során ragasztóanyagok termelődnek, ennek is köszönhető, hogy az ásványi részek nagyobb aggregátumokká kapcsolódnak össze, valamint nő a stabil aggregátumok száma, és

vízállósága (HUISZ, 2008). *Kakuszi és Birkás* (2014) szerint a talajfelszínen hagyott szármadarványok pozitív hatással vannak a talajszerkezetére, szabályozzák hőmérsékletét és a talajborítással akár 45-60 %-kal kevesebb a vízveszteség. A talaj szerkezetképződése szempontjából hatásukat tekintve a következők szerint alakul a szervesanyagok sora: leghatékonyabb a tarló- és gyökérmadarványok, aztán a zöldtrágya, istállótrágya és végül a komposzt (STEFANOVITS, 1992).

A **műtrágya** vegyi úton előállított szervesanyagokból álló tápsó, vagy bányászott anyag (KCl és foszfátos műtrágyák egy része), mely a növények számára felvehető formában tartalmazza a tápanyagokat. A műtrágyák fő hatóanyagai a nitrogén, foszfor és kálium, de napjainkban már számos tápelemet tartalmazó összetett műtrágya létezik (KISMÁNYOKY, 1994b). A műtrágyák elnevezése mesterséges szintézissel történő előállításukra, illetve nyersanyagokból való feltárásukra utal, de nem természetidegen anyagokról beszélünk (SÁRDI, 2011).

A műtrágya gyártása hazánkban az 1800-as évek végén indult. Az akkor hosszú ideje stagnáló terméseredményeket dinamikusabban emelni kezdte, és a mezőgazdasági gyakorlatnak azóta is töretlenül része. Az intenzív mezőgazdasági gyakorlattal kivonjuk a nitrogént és egyéb tápelemeket a helyi körforgásból, ami gyakorta nem kerül vissza oda, ahonnan származik. A hiányzó elemeket pedig műtrágyával igyekszünk pótolni (GYULAI, 2012). A műtrágya használata mellett szőlő könnyű gépesíthetősége, a termésre gyakorolt hatása pedig már az adott gazdasági évben megmutatkozik. A talaj termékenységére és a környezetre hosszú távon azonban lehetnek kedvezőtlen hatásai (PATÓCS, 2015). Szakszerű műtrágya használatnak számos pozitív eredménye is van, hiszen a zöld növényi produkciót növeli, így csökkenti a légkör szén-dioxid tartalmát, valamint a talaj vízgazdálkodására is pozitív hatással lehet, hiszen amennyiben a növény számára megfelelő mennyiségben állnak rendelkezésre a tápanyagok, úgy kevesebb vizet vesz fel a talajból. Ha azonban szakszerűtlenül és túlzottan kerül használatra, úgy súlyos környezeti károkat okozhat. A nitrogén könnyen kimosódhat mely a természetes vizekbe kerülve eutrofizációt okoz, a kutakban és ivóvízben pedig növeli a nitrát tartalmát. A túlzott ásványi trágyahasználat hosszú távon a talaj elsavanyodásához is vezet, mely számos talajparamétert megváltoztat. A túlzott műtrágyázás a termesztett kultúrnövény beltartalmi értékét kedvezőtlenül befolyásolja (KEREKES, 2007). Egy debreceni hosszútávú tartamkísérletben (2007-2009-ben végzett vizsgálatok alapján), mono-, bi- és trikulturában, öntözéses és öntözés nélküli kezelésekből az optimális műtrágyázás (N120, P90, K90) egyaránt pozitív hatással volt a termésre (DÓKA, SZABÓ, 2014). Viszont a magasabb műtrágyaadag (N240, P180, K180) kijuttatása a nagy környezeti terhelés mellett,

hozamcsökkentő hatással is bírt (SHI et al., 2007, DÓKA, SZABÓ, 2014). A kizárólagos műtrágyakezelés csupán csak arra elegendő, hogy a már stabilizálódott humusz-szintet fenntartsa, de már csak a szár- és gyökérmaradványok leszántásával humusznövekedést érhetünk el (SARKADI, 1991). Nyírségi homoktalajon 50 éve vizsgált tartamkísérlet eredménye szerint az NPK műtrágyázás során csökkent a talaj pH értéke, hidrolitos aciditás értéke nőtt, és a talaj elsavanyodása a 20-40 cm-es mélységben is megfigyelhető volt (Ca-trágyázással visszafordítható volt). A műtrágyázott talajokon nőtt a nitrát-N mennyisége, a szuperfoszfátból származó szulfát és foszfát, valamint a K és Mg mennyisége is (KÁDÁR et al., 2011). Kátai (1999) vizsgálatai alapján a mikroorganizmusok számának gyarapodására valamint a mikrobiális folyamatok fokozására a műtrágya és szerves trágya együttes alkalmazása hat a legjobban, a kizárólagos műtrágya használat kisebb értékeket mutat, míg a túlzott műtrágya adagok csökkenést is okozhatnak.

### 3.2.3. Talajművelés és talajtermékenység

Talajművelés alatt olyan fizikai beavatkozásokat értünk, melyeket azért végzünk el a talaj felső rétegén (szükség szerint mélyebben is), hogy a természeteni kívánt kultúrnövény vetőmagjának biztosítsuk a csírázás, kelés, gyökeresedés, majd később a vegetáció során az optimális termésképzés feltételeit. Hosszabb távon pedig óvja a talaj szerkezetét és felszínét, javítja a talajéletet és a talaj nedvesség- és levegőforgalmát (SCHMIDT, 2011).

Az első talajművelési mód a tarlóhántás, melyre a betakarítás után kerül sor. A növényi maradványokat a talajba keveri, segíti a talaj hő- és vízháztartását, mikrobiológiai tevékenységét, irtja a gyomokat, kártevőket és kórokozókat, megkönnyíti a következő művelési eljárást.

A következő művelési mód az alapművelés, melynek legelterjedtebb és egyik legrégebbi módja a szántás (KISMÁNYOKY, 1994c)

*Nagyváthy (1824) így ír Magyar Practicus Termesztő című művében: "A' szántásnak három nevezetes hasznai vagynak, u.m.*

- 1. Az a' földnek keménységét, és sűrűségét megkissebbíti.*
- 2. A' haszontalan füveket, és gyökereket kiirtja.*
- 3. Az alólfekvő földet felfordítván, azt a' Levegő ég, Napfény, Esső, Hó, és a Fagy alá kiteszi. Az a' föld a' melly minden esztendőben megforgattatik: egészen más*

*természetet és színt öltözik magára. Míg az felül nem fordul: kemény, vad, és sovány, 's nem terem.”*

Nagyváthy óta rengeteget fejlődött az agrotechnika, így megállapításai nem minden esetben helytállóak, de hazánkban még többnyire hagyományos szántáson alapuló művelés folyik.

A szántás legjellemzőbb művelete a forgatás, mely idő- és energiaigényes folyamat. Az őszi szántás a leggyakoribb, melynek célja a tavaszi vetésű növények számára optimális talajállapot biztosítása. Segítségével a téli csapadékot könnyebben befogadja és raktározza a talaj, valamint a tavaszi vetőágy készítést megkönnyíti. Az alapművelés végezhető lazítással is, mellyel hasonló eredményeket lehet elérni, mint a forgatásos műveléssel, előnye lehet, hogy az alacsonyabb termékenységű mélyebben fekvő talajok nem keverednek a felsőbb rétegbe, nem alakul ki „eketalp betegség”, a talaj kevesebb nedvességet veszít és nem utolsó sorban kevesebb az energiaigénye. Az alapművelés utáni elmunkálásra, illetve ápolásra akkor kerül sor, ha a vetés csak hónapokkal (1-2 vagy akár 5-6 hónap) később történik.

A következő művelet a vetőágy előkészítése, melyet sekélyen végeznek, olyan módon, hogy vetőágy laza talajú legyen, melyben a gyökérzet és a csíranövény fejlődését a megfelelő víz- és levegőháztartással biztosítja. Vetés után pedig elmunkálás történik, amikor a vetőágy lezárásra kerül, és kialakul a megfelelő talajfelszín. A sekély művelésű tarlóhántásra a nyáron betakarított növények után kerül sor (KISMÁNYOKY, 1994c).

Ezen fejezetben kitérnék a talaj és környezetkímélő művelési eljárásokra is, melynek több irányzata, változata is kialakult már. Ezen változásokat követve többször is módosították a talajművelés feladatait, a cél azonban csak fontosság szerint változott, hisz a talaj védelme került előtérbe (SCHMIDT, 2011). *Manninger* már az 1900-as évek elején több művelési kísérletet folytatott, és a szántás helyett a felületi talajművelés bevezetését szorgalmazta. Úgy gondolta, hogy az esőálló, morzsás talajszerkezet a mikroorganizmusoknak köszönhető, ezért műveléssel a lehető legkevésbé szabad károsítani. Ezért főként tárcsát és kultivátort alkalmazott, de kiemelte, hogy a sekély művelés mellett időnként szakszerű mélyművelést is alkalmazni kell, és törekedni kell a jó vetésforgó kialakítására, valamint a szervestrágyázás alkalmazására (MANNINGER, 1957). Számos tartamkísérletet állítottak be e művelési eljárások kutatásának céljából, és bár az eredmények megoszlanak, mégis rengeteg előny és pozitív eredmény szól ezen eljárások mellett. Hazánkban az új módszerek elfogadását, a talaj védelmére kidolgozott talajművelési eljárások elterjedését erősen befolyásolják a hagyományok. Az új módszerek megismerése helyett inkább ragaszkodnak a régi

munkafolyamatokhoz és az ekétől különböző eszközöket inkább elutasítják (BIRKÁS, 2002). *Birkás* (2006a) szerint a forgatás hiánya többségében nem befolyásolja negatívan a növénytermesztést. A hagyományos műveléssel szemben a talajvédő művelési és vetési rendszerben 50 %-kal kevesebb a talaj el-és lesodrása (BIRKÁS, 2006a), vetés után pedig a talajfelszín 30 %-a tarlómaradványokkal borított (DICKY et al. 1994, JASA et al. 1999, BIRKÁS, 2005). Ha elegendő a növényi maradvány a talajon és mellé talajkímélő művelést alkalmazunk, azzal növelhető a talaj nedvességtartalma és csökken az erózió (UNGER et al., 1991). *Kismányoky* (2010) úgy véli, hogy a talajtermékenységet megőrző és kevesebb energiaigényű talajművelési rendszereket mindenképp fejleszteni szükséges a kemikáliákat és mesterséges energiát túlzottan fogyasztó jelenlegi gyakorlat helyett, mert csak ez fenntartható. Amiért lassan terjed a kímélő rendszer, hogy sok esetben a művelés elhagyása illetve a tavaszi sekélyművelés következtében megnő a gyomborítottság, és ez főként a vegetatívan szaporodó gyomfajokra igaz, mert a talajvédő művelési rendszerek megváltoztatják a gyomfajok összetételét (RADICS, 1989, FENYVES, 1996, BÁRBERI, CASCIO, 2001). Azonban fontos megjegyezni, hogy az esetek többségében nem a szántás okozza a talajok nehezen visszafordítható talajállapot-hibáit, hanem bármely művelési eljárás okozhatja, amennyiben azzal nem alkalmazkodnak a talaj állapotához, illetve túl gyakran túl sok műveletet hajtanak végre (BIRKÁS, 2005)

### **3.3. A talaj szerves anyagai**

A talaj-élettevékenység motorját a szerves anyagok adják, valamint a talajba kerülő növényi és állati maradványok mikroszervezetek által módosított, átalakított formái, a különféle humuszanyagok. Ezek nélkül a talaj csupán egy ásványi anyagokból álló szubsztrát „váz” lenne. A talajban az önálló növénytáplálás a szerves humuszanyagok és az azokat felhasználó, hasznosító élőlények által valósulhat meg. A stabil szerves humuszanyagokat nem növelhetjük a végtelenségig, csak az adott talajra jellemző határok között változhat (BIRÓ, 2018). A humuszanyagok oly módon változtatják meg a talaj szerkezetét, hogy biztosítják a kedvezőbb vízforgalmat, javítják a hőháztartást, valamint elősegítik a levegőt igénylő folyamatokat is (BIRÓ, 2020).

A humusz mennyiségileg és minőségileg sem egységes, különféle fizikai és kémiai tulajdonságú anyagok keverékét jelenti.

*Stefanovits* (1975) az alábbiak szerint osztotta fel a humuszt alkotóelemei alapján:

- nem humuszanyag: fehérjék, aminosavak, lignin, szénhidrátok és egyéb növényi állati maradványok
- új képződmények: poliuronidok és enzimek. Tulajdonképpen a mikroorganizmusok élettevékenysége során keletkezett anyagok, melyek az elhalt mikroszervezetek után maradnak a talajban. A tápanyagok körforgásában jelentős szerepet töltenek be.
- humuszanyagok: melyek lehetnek: fulvosavak, huminsavak, humin és humuszszen.

A fulvosavak kis molekulájú, sav jellegű vegyületek, melyeket 0,5 %-os NaOH oldattal kinyerhetünk a talajból, és savanyítás után is oldatban maradnak. Egyes elemek talajban való mobilitásában van szerepük. Leginkább a savanyú és biológiailag inaktívabb talajokra jellemző, ahol szélsőséges esetben akár 70 %-át is alkothatja a humuszanyagoknak. A jó minőségű csernozjom talajok esetében ez 15-20 %.

A huminsavak nagy molekulású, polimerizált vegyületek, melyeket szintén ki tudunk oldani NaOH-dal, azonban savanyításkor kicsapódnak. Polimerizációs fok és molekulásúly alapján a következő sorrendet állíthatjuk fel a legkisebbtől a legnagyobb felé haladva: himatomelánsav, mely tulajdonképpen a huminsav képződés átmeneti terméke, aztán a barna huminsav, mely a barna erdőtalajokban található nagyobb mennyiségben és szürke huminsav, ami ott található legnagyobb mennyiségben, ahol aktív a mikrobiológiai tevékenység.

A humin és humuszszen lúgos oldással nem oldhatók ki a talajból.

A talajokban jellemzően mindegyik humuszanyag megtalálható, csupán arányaik változnak. A művelésbe vont talajok humusztartalma nagyon lassan változik (KISMÁNYOKY, 1993). A humusz minősége függ a trágyázástól, a talajba jutó szerves anyagok mennyiségétől és minőségétől (SONG *et al.*, 2014), a műveléstől (ARANDA *et al.*, 2011), talajtípustól és éghajlattól. A humusz mennyiségére általánosan elfogadott mérési módszerek vannak, azonban a minőségi meghatározásnak számos módja lehetséges. Az eljárásokhoz lehet használni kémiai frakcionálást, aktív és passzív humusz frakciók elméleti modelljét, vagy fizikai méréseket, melyek lehetnek UV vagy IR spektroszkópiai mérések. Számos spektrofotometriás módszert kidolgoztak már, melyek számos ponton eltérhetnek egymástól: extrahálószer, hullámhossz, bemérési tömeg és az előkészítés módja. Ilyen gyakorta használt egyszerű spektrofotometriás módszer az általunk is használt E4/E6 módszer.



### 3.4. A talaj mikroorganizmusai

#### 3.4.1. A talaj mikroorganizmusainak jelentősége és indikátorként való használhatósága

A mikroorganizmusok szinte minden, a talajban végbemenő biológiai és kémiai folyamatban fontos szerepet játszanak. Szaporodásuk és anyagcsere-folyamataik eredményeképpen mérhető változások következnek be a talajok szerkezetében és szervesanyag-tartalmában. Kis mennyisége ellenére a mikrobiális biomassza alapvető szerepet játszik a szervesanyag-dinamikában, tápelemek körforgalmában, toxikus anyagok lebontásában és a talajszerkezet kialakításában. *Jenkinson (1977)* gyakran idézett mondása szerint a mikrobiális biomassza olyan, mint a tű foka, amelyen minden talajban levő szerves anyagnak át kell menni.

A következőkben röviden kitérnék pár fontos biokémiai folyamatra, melyet a mikroszervezetek végeznek, vagy amelyek részesei a talajban.

A **szén** minden szervezet építőköve, így annak **körforgása** az egyik legalapvetőbb folyamat. Ebben a bonyolult körforgásban a mikroszervezetek legfontosabb szerepe a légköri széndioxid állandóságának fenntartása. A mikrobák légzési és erjedési folyamataik során szerves vegyületeket bontanak, majd a szén CO<sub>2</sub> formájában visszakerül a légkörbe. Egy-egy mikroszervezet általában csak egy szűkebb körben specifikus, de mivel számtalan ilyen élettani csoportja van a mikrobáknak, így gyakorlatilag nincs olyan szerves anyag, melyet ne tudnának lebontani. Gyors szaporodóképességük, még inkább fokozza intenzív lebontó képességüket (*BUDAY, 1976*).

A mikroszervezetek legjelentősebb szerepe a **nitrogén körforgásában** van, hiszen a légkörben található elemi nitrogén megkötése általuk történik. A nitrogén megkötésére számos talajmikroba-csoport képes: legfontosabbak az *Azotobacter* fajok, aztán az egyszikűekkel asszociációban élő *Azospirillum*, *Herbaspirillum* fajok, valamint a pillangósokkal szimbiózisban élő *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* fajok). A szabadon élő nitrogén-kötők, mint például az *Azotobacterek*, 2-6 kg nitrogént képesek megkötni egy évben egy hektár területen, míg az asszociatív szimbionták évi 50-60, az obligát szimbionták 200-300 kg-ot. Tehát így a nitrogén fixálás során a szerves kötésbe került nitrogén egy magasabb rendű élőlény építi be, majd annak pusztulása után a talajba kerülve ismét a mikrobák szabadítják fel ammonifikáció útján, mely, ha optimális a talaj levegőzöttsége, akkor nitrifikáció útján nitráttá alakulva a növények számára újból felvehető lesz. A nitrifikáció

során az ammóniát nitritté a leggyakrabban *Nitrosomonas*, fajok alakítják, a nitritet nitráttá pedig a *Nitrobacter* fajok (SZABÓ, 2008).

A **foszfor átalakítását** baktériumok, sugárgombák és gombák egyaránt végzik. A foszfor különféle organikus és ásványi vegyületek formájában van jelen a talajban, melynek szerves vegyületté bontását hidrolízissel végzik a különféle mikroszervezetek, így a növények is képesek felvenni (BUDAY, 1976).

A **kálium mineralizáció** immobilizációs folyamatában is részt vesznek a mikroorganizmusok, hiszen a bomló szerves anyagból kikerülő káliumot beépítik, majd pusztulásuk után a talajoldatba kerülve válik felvehetővé a növények számára.

A makroelemeken kívül számos mikroelem forgalmában van még szerepe a mikroorganizmusok aktivitásának: **kén, vas, kalcium, magnézium, mangán**, valamint a **cellulóz és lignin** bontásában (SZABÓ, 2008).

Ezen kívül a mikroorganizmusok szerepe környezetvédelmi szempontból is igen jelentős, hiszen a talajba került szennyező anyagokat is képesek bontani, használatuk ezért egyre inkább terjed e téren is (BIRÓ, 2006).

A Föld különböző helyeiről származó talajmintákat vizsgálva globálisan többé-kevésbé egyenes arányosság írható fel a talaj szervesanyag-tartalma és a talajban élő mikrobiális biomassza tömege között (FIERER et al., 2009). A szerves szénvegyületek túlnyomó része a növények közreműködése révén kerül a talajba, így természetes körülmények között a növényzet mennyisége - pontosabban a föld feletti biomassza tömege - alapvetően befolyásolja a mikrobaközösség nagyságát (ZAK et al., 1994). Erdei és füves területek talajaiban a mikrobiális biomassza szén az összes szerves szén 5 %-a is lehet, szántóföldi művelésbe vont talajoknál ez 2,5 % alatti értékekre becsült (KALLENBACH, GRANDY, 2011). Magyar közlemények alapján mezőgazdasági talajainkban a mikrobiális szén mennyisége 0,1–1,0 g kg<sup>-1</sup> között van és rendszerint az összes szerves szén 1–3 %-át teszi ki (SZILIKOVÁCS, TÓTH, 2006).

Szerves anyag természetes körülmények között a növényekből jut a talajba, a szántóföldön ehhez még hozzáadódhat a különböző eredetű szerves trágyákban és kiegészítésekben található szerves szén.

A talaj szerves anyagainak (elsősorban a humusz) mennyisége nagymértékben meghatározza a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait, mezőgazdasági szempontból a talaj termékenységét. A mezőgazdasági művelés általában csökkenti a talajok szervesanyag-tartalmát (SOM) és rombolja a talajszerkezetet. A szervesanyag-csökkenés visszafordításához, a hosszútávon is fenntartható gazdálkodáshoz szükség van a szerves anyagok és mikroorganizmusok közötti kölcsönhatások megismerésére és az ismeretek gyakorlati alkalmazására.

Ezek a változások rövidtávon nehezen mérhetőek a magas kiindulási készlet és a talajok heterogenitása miatt, ezen kívül a talaj humusztartalma lassan és kismértékben változik, a mérést viszont a nagy háttérérték és a talajok heterogenitásából adódó magas szórás érték is nehezíti. A változás korai előrejelzésére a labilis, könnyen mineralizálódó szervesanyag-frakciók alkalmasabbak lehetnek, az összes szerves anyag mérése helyett.

Az ilyen labilis szervesanyag-frakciókat különböző oldószerek használatával kinyerhetjük a talajból (vízoldható, forróvízoldható szén), a gyorsan mineralizálódó frakciót lehet számolni inkubációs kísérletekből, a talajszemcsékhez kötött szén (*particulate organic carbon*) mennyiségének méréséből, és ilyen labilis szervesanyag-frakciónak tekinthető a talaj mikroorganizmusainak széntartalma is (MBC).

Az MBC érzékenyen reagál a termesztési és művelési eljárásokra, de nagy szezonális dinamikát és térbeli változatosságot is mutat. Mennyiségét a talajokban alapvetően a szerves szén mennyisége határozza meg (FIERER *et al.*, 2009; KALLENBACH, GRANDY, 2011).

*Powlson et al.* 1987-ben javasolták a mikrobiális biomasszában levő szén (MBC) használatát a talaj szerves széntartalom változásának korai előrejelzésére. Cikkükre a *Science Direct* szerint több mint félezer közlemény hivatkozott az 1996-tól napjainkig. *Sparling* (1992) szerint a mikrobiális biomasszára jellemző gyors időbeli változás és az érzékenység a környezeti feltételek megváltozására és zavaró hatásokra, nagyon jól használható indikátorává teszi a szerves anyagok változásának és a tápanyagdinamikának. Ugyanakkor jobban használhatónak tartja a MBC arányát a talaj összes szerves széntartalmának százalékában kifejezve ( $C_{mic}/C_{org}$ ).

A talaj mikrobiális közösségének főbb jellemzőit a következők szerint foglalhatjuk össze (SZILI-KOVÁCS, TAKÁCS, 2008): a biomassza, az aktivitás, összetétel és diverzitás (genetikai és funkcionális), reziliencia (tolerancia és adaptáció), és a növény-mikroba kölcsönhatások. Ezekhez mind rendelhetünk indikátorokat, melyeknek kidolgozott módszerei vannak.

A talaj fizikai és kémiai tulajdonságai (víztartalom, szervesanyag-tartalom, kötöttség, pH) és a mikrobiológiai aktivitás, valamint a talajtermékenység között szoros kapcsolat mutatható ki. A talajok fenntarthatósága és működőképessége szempontjából, különösen fontos a mikrobiális tevékenység és aktivitás, valamint a fajok sokfélesége, melyeket a talajok megfelelő víz- és tápanyagellátásával fokozhatunk. A természetes talajok szervesanyag-tartalmának csupán 1-2 %-a bomlik le évente, de intenzív és gyakori művelési eljárásokkal ez jelentősen megemelkedik, mivel az aerob mikrobiális tevékenység jóval fokozottabb lesz (BIRÓ, 2005).

### 3.4.2. A mikroflóra szervezetei

Az edafon a talaj élővilágának összesége (FRANCÉ után, 1913). Az edafon méret szerint csoportosítva: mikroflóra, mikrofauna, mezofauna, makrofauna, megafauna. Legfontosabb élőlényei a mikroflóra szervezetei. Biró (2005) hangsúlyozza a körfolyamatokban való nélkülözhetetlen szerepét a mikro-, mezo- és makroméretű élőlényeknek. A legfontosabb folyamatok: a növényi részek aprítása és a talajszemcsékkel való keverése, talajszemcsék stabilizálása (nyálkaanyagok), mikrobák enzimatikus aktivitása által meghatározott ásványosítási, dekompozíciós folyamatok. A növények gyökérváladékaikkal (jelmolekulák) fokozzák a mikroszkópikus lények rhizoszférában történő elszaporodását, ezért számuk ebben a régióban a legnagyobb. Az élő mikrobák biomasszájában elraktározott tápanyagok számos úton elérhetővé válhatnak a növények számára a magasabb rendű fogyasztók, protozonok (ostorosok, amőbák, csillósok) illetve fonalférgek segítségével, melyek a rhizoszférában tárják fel (megemésztett, kiürített salakanyagaikkal) a biológiai úton kötött tápanyagokat. Ez a „precíziós” biológiai trágyázás legoptimálisabb módja. (BIRÓ, BARANYAI, 2018).

A 3. táblázat a mikroflóra szervezeteinek mennyiségi adatait mutatja be.

3. táblázat: Mikroorganizmusok a talaj 0-15 cm-es mélységében (HOORMAN, ISLAM, 2010 nyomán)

Mikroorganizmusok	Egyedszám/g talaj	Biomassza (g/m <sup>2</sup> )
<b>Baktériumok</b>	10 <sup>8</sup> – 10 <sup>9</sup>	40 – 500
Actinomyceták	10 <sup>7</sup> – 10 <sup>8</sup>	40 – 500
<b>Gombák</b>	10 <sup>5</sup> – 10 <sup>6</sup>	100 – 1500
<b>Algák</b>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>	50
<b>Protozoák</b>	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup>	változó
<b>Nematódák</b>	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>3</sup>	változó

A mikroflóra szervezetei egy hektár talaj felső 0-15 cm-es rétegében 25 000 kg biomasszatömeggel bírnak. Mennyiségük a talajszinteken lejjebb haladva csökken, valamint összetételük az aerob, anaerob viszonyok alapján változik. A felső 0-2 cm-es tartományban a mikroszervezetek száma az UV sugárzás, illetve a gyakori környezeti ingadozások miatt nem számottevő (4. táblázat).

4. táblázat: A baktériumszám alakulása a talajmélységgel (STEFANOVITS et al.(1999) nyomán)

Rétegmélység	Baktériumszám g <sup>-1</sup> talaj		
	aerob	anaerob	összesen
<b>2-5 cm</b>	2 500 000	1 300 000	3 800 000
<b>30 cm</b>	1 150 000	1 800 000	2 950 000
<b>60 cm</b>	800 000	2 000 000	2 800 000
<b>90 cm</b>	500 000	900 000	1 400 000
<b>120 cm</b>	60 000	100 000	160 000
<b>150 cm</b>	6000	2000	8000

A **baktériumok** talán a legjelentősebb élőlények a talaj mikroflóráját illetően, hiszen ezek fordulnak elő legnagyobb számban, valamint funkciójukat illetően is rendkívül sokfélék. 1 gramm talajból akár több mint 1 milliárd baktériumot is kitenyészthetünk. A jelenlegi módszerekkel 100 baktériumból nagyjából 5-öt sikerül megszámolni, tehát nagy mennyiségekről van szó. Azonban fontos megjegyezni, hogy a talajélőlények 70 % dormans (alvó) állapotban van, mivel azok az élőlények melyeknek nem kedvezőek a viszonyok inaktív állapotba lehetnek. A baktériumok elsősorban a könnyebben felvehető kis molekulású szerves savakkal és fehérjékkel táplálkoznak, mely a szerves anyag lebontásának kezdeti folyamatát jelenti (BIRÓ, 2020). A talajba jutó szerves anyagokat pár nap alatt képesek feldolgozni, mivel saját tömegük több-százszorosát képesek egy nap alatt lebontani. A legfontosabb talajbaktériumok az következő családokba tartozhatnak: *Bacillus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Cytophag*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter* és *Spirochaeta* (STEFANOVITS et al., 1999). Egy szerkezetileg és szerves anyagaiban degradált (lepusztult) talajban a baktériumok dominálnak, ebből az állapotból az „érettség” felé való továbblépést a gombák felszaporodása jelenti (BIRÓ, BARANYAI, 2018). A baktériumok a legrugalmasabb anyagcserével rendelkező élőlények, ami azt jelenti, hogy a hirtelen bekövetkező nagyobb környezeti változásokhoz is gyorsan tudnak

alkalmazkodni. Ha azonban a káros hatás hosszútávon fennmarad, úgy jelentősen csökken a diverzitásuk. Az olyan mikróbák melyek sikeresen képesek adaptálódni a kedvezőtlen körülményekhez, a növényeket is képesek segíteni a nehezebb körülmények között (BIRÓ, 2020).

Sejtfelépítés alapján a baktériumok és telep morfológiájuk alapján inkább a mikroszkópikus gombákhoz soroljuk a **sugárgombákat** (*Streptomyces* és *Actinomyces*), melyek a nehezen bontható összetettebb szerves anyagokat (pl.: kitin) képesek bontani. Aerob körülmények között magasabb a számuk. Ezen kívül a pH is nagyban befolyásolja szaporodásukat, lúgos körülmények között számuk jelentősen megemelkedik. Számuk 1 g talajban 45 millió (STEFANOVITS et al. 1999). A sugárgombák tipikusan domináns talajmikróbák. Fontos szerepük van a talajban lévő szén, nitrogén, foszfor, kálium és számos más elem körforgásában (HILL et al., 2011). Szaprofitaként különféle extracelluláris hidrolitikus enzimeket állítanak elő, amelyek képesek lebontani a különféle állati és növényi polimereket, mint a lignin, cellulóz, kitin és más szerves vegyületek. Az *Actinomyces* nemzetség egyes tagjai gyökérszimbionták, melyek az élő fás kétszikűek gyökerébe épülnek be (EISENLORD, ZAK, 2010).

A mikroszkópikus **gombák** hifákból álló micéliumokkal telepednek meg, illetve szövük át az élő vagy elhalt, növényi és állati szöveteket. Számuk 1g talajban 50-100 000 körüli. Főként savanyú talajokban dominánsak. A sugárgombákhoz hasonlóan összetettebb vegyületek bontását végzik. Legfontosabb fajai: *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* és *Rhizopus*. Ha a gombafélék a növény gyökerével szimbiózisba kerülnek, akkor úgynevezett *mikorrhizát* hoznak létre (STEFANOVITS et al. 1999). Egy jó állapotú talajban főként a gombák vannak túlsúlyban. Azonban a mezőgazdasági gyakorlatban sokszor alkalmazott bolygatásra ezek a szervezetek a legérzékenyebbek. A nem vagy mérsékelten bolygatott talajokban felszaporodásukkal elősegítik a talaj önálló tápanyag-szolgáltató képességét. A gombák szerepe nélkülözhetetlen és nagyon sokrétű. A baktériumok által nem vagy csak nehezen lebontható gyakori szerves polimereket, mint a cellulóz és lignin, képesek bontani (enzimek segítségével), biztosítva ezzel geokémiai körforgásukat, valamint a növények táplálását. A gombafonalak átszövük a talajmorzsákat, így azok stabilabbak, ellenállóbbak a romboló hatásokkal szemben. Fonalakkal távolabbi és mélyebb rétegekből is képesek vizet biztosítani a növényeknek, valamint az ásványi elemeket is képesek szállítani (BIRÓ, BARANYAI, 2018). Vannak olyan gombák is, melyek a növényekben élnek (endofiták), így segítve azokat.

Például toxinokat termelnek a növényevők ellen, vagy kiszorítanak más kártékony gombákat, valamint olyan hormonokat termelhetnek, melyek a növényi génkifejeződést módosítva növelik ellenállóképességét a stresszhatásokkal szemben, a gazdanövény pedig elengedhetetlen szerves asszimilátumokat biztosít a gombáknak (KAPOOR, 2008). Anaerob viszonyok között (levegőzöttség hiányában) a fermentációra képes gombák szaporodnak el, melyek erjesztés során a nitrátból is képesek oxigént felvenni, ezek az élesztőgombák. A gombák által uralt ökoszisztémákban a bejutó nagy szénvázás polimer szerves vegyületek bontása jóval gyorsabban végbemegy (BIRÓ, 2018). A talajban élő baktériumok és gombák arányát tekintve a 2:0 aránytól a 0:2 arányra érdemes törekedni, melyhez a talaj nagyobb szervesanyag-ellátottsága szükséges. Ennek érdekében a gombák által bontható nagy cellulóztartalmú anyagok (növényi anyagok, mulcsok, szármaradványok, takarónövények) biztosítása szükséges (BIRÓ, 2020).

A **cianobaktériumok** (zöld algák, kék algák) a Föld legősibb szervezetei közé tartoznak. Fotoszintetizálni képesek, ezért számuk a talaj felső rétegében a legmagasabb, de 15-20 cm mélyen is megtalálhatóak. A légköri N<sub>2</sub>-t képesek megkötni, ez főként az elárasztásos gazdálkodás során jelentős a növénytáplálás szempontjából (pl.: rizsföldek) (KÁTAI, 2011). Ezek a pionír szervezetek teremtik meg az életfeltételeit a heterotróf élőlényeknek, valamint az összes többi organizmus is ezekre épül, melyek nem a producensek (termelők) számát növelik, hanem fogyasztóként, dekomponálóként (lebontó) és predátoroként (ragadozó) (BIRÓ, BARANYAI, 2018).

Az **algák** főként a talaj felső szintjében fordulnak elő, hiszen tulajdonképpen kisméretű autotróf növények, melyek képesek asszimilálni a légköri széndioxidot, és ennek folyamán oxigént bocsájtanak ki, ezért a talaj levegőzöttségét nagyban segítik (STEFANOVITS et al., 1999).

Vizsgálatok szerint a különféle mikroorganizmusok szerepe összeadódhat a talajokban (pozitív szinergizmus), például a foszfor-mobilizáló mikorrhiza gombák, a N-kötő *Azospirillum* baktériumok és a szerves anyagok bontásában részvevő egyéb rhizoszféra baktériumok együttes jelenléte többszörösen hasznos (BIRÓ, 2020). Néhány fontosabb mikrobacsoport szerepét és hatását az 5. táblázat mutatja be.

5. táblázat: A talajegészséget jelző néhány kulcsfontosságú mikrobacsoport és szerepük (BIRÓ, BARANYAI, 2018 nyomán)

Mikrobatípusok	Szerepük	Hatásuk	Jelzi
<b>Nitrogénkötő baktériumok</b>	biológiai N – ellátás, növénytáplálás	műtrágyák kiváltása vagy csökkentése	a tápanyaghiányt és/vagy túlsúlyt, a N műtrágyapótlási képességet
<b>Foszforoldó spórák baktériumok</b>	foszfor felvehetővé tétele	műtrágyák kiváltása, csökkentése, jobb tápelemarány, növényi beltartalom	a foszfor jelenlétét vagy hiányát, a pótlás lehetőségét és szükségességét
<b>Foszforoldó gombák, ekto- és endo- mikorhizza</b>	növénytáplálás, mikroelemek pótlása	funkcionális éhezés elleni kezelések, biológiai növényvédelem	
<b>Cellulóz bontó baktériumok és gombák</b>	tápanyagfeltárás, növénytáplálás	javuló talajszerkezet és felvehető tápanyagok, biológiai sokféleség	a teljes feltáró képességet vagy annak hiányát
<b>Sziderofor termelő baktériumok és gombák</b>	nehezen felvehető vas megszerzése	a talaj eredetű patogén mikrobák távoltartása	a talaj patogénelnyomó – képességét vagy hajlamát
<b>Antagonista biocid tulajdonságú sugárgombák</b>	a kórokozók távoltartása	gyors növekedés, biocid hatás, élettér betöltése a talaj eredetű kórokozók előtt	

A talaj mikroorganizmusainak eloszlása csomópont szerű mintázatot mutat („biological hotspots”). Ezek a régiók a következők (BEARE *et al.*, 1995):

- detrituszoszféra: bomlásban lévő állati és növényi eredetű holt anyag
- driloszféra: földigiliszták nyálkás járatai, melyek szénben és tápanyagban gazdagok
- póruszoszféra: aggregátumok közötti víz és csatornák



- aggregátumszféra: makroaggregátumokon belül és a mikroaggregátumok közötti hézagok
- rizoszféra: növényi gyökerek, gyökér exkrétum

### 3.4.3. Mikrobiális biomasszát befolyásoló tényezők

A talajok gyökérszónája (rizoszféra) megfelelő életteret jelent a mikroszervezetek számára, azonban számos folyamatot befolyásolhatnak előnyösen vagy akár hátrányosan a környezeti tényezők (ökológiai faktorok). Ezeket a környezeti tényezőket három csoportra oszthatjuk: abiotikus, biotikus, illetve antropogén hatások.

**Abiotikus** tényezők alatt olyan élettelen, de nélkülözhetetlen tényezőket értünk, melyek részint biztosítják a populációknak az optimális feltételeket, részint viszont alkalmazkodniuk kell az adott feltételekhez. Ezek közül a talajban élő mikroszervezetek szempontjából fontosabb: **edafikus** tényezők: a talajfizikai (pl.: szerkezet, rétegződés, alkotórészek, porozitás, levegő- és vízellátottság, kappillaritás, kolloidok, pórusok mérete, redoxipotenciál, felületi feszültség stb.), talajkémiai (pl.: pH, sótartalom stb.); **fény, hőmérséklet, levegő, víz, tápanyagok, orografikus tényezők** (helyrajz: tengerszint feletti magasság, lejtés stb.) (HELMECZI, 1994).

A **biotikus** tényezők a fajon belüli, illetve fajok közötti hatásokat, kölcsönhatásokat jelenti. Ez a kapcsolat lehet egymás számára, közömbös, kölcsönösen hasznos vagy kölcsönösen káros, nélkülözhetetlen és ezek különböző fokozatai és változatai (pl.: neutralizmus, kommenzalizmus, protokooperáció, mutualizmus, szimbiózis, kompetíció, parazitizmus, predáció, amenzalizmus). A biotikus tényezőkhöz tartozik a növényzet is.

Tágabb értelemben az **antropogén** tényezők is a biotikus tényezők közé sorolhatók. Minden olyan hatást értünk alatta, mely emberi tevékenység következtében alakult ki (pl.: talajművelés, tápanyaggazdálkodás, növényvédelem stb.). Az antropogén tényezők erőteljes hatást gyakorolnak a mikrobiális diverzitásra és aktivitásra egyaránt, melyek sok esetben funkciókiesést, valamint a diverzitás csökkenését okozzák (CARDINALE *et al.*, 2012).

Az eddigi kutatások eredményeként széles körben elfogadott, hogy a mikroorganizmusok növekedését legnagyobb mértékben a talajban található szerves szénvegyületek mennyisége korlátozza, de a víz és foszfor mennyisége is lehet limitáló (PAUL, 2007, TRESEDER, 2008, KALLENBACH, GRANDY, 2011). Ezt a szoros összefüggést ki lehet mutatni a mikrobiális biomasszatömeg és a talaj szerves szén tartalma között globálisan (FIERER *et al.*, 2009) és

kisebb-nagyobb földrajzi területeken is (USSIRI, LAL, 2013). A mikrobák növekedését ezen kívül számos tényező befolyásolja a talajban, ilyenek pl.: a rendelkezésre álló tápanyagok, növényzet, éghajlat, kémhatás, a talaj fizikai és kémia összetétele. A szakirodalmi közlemények nagyobb részében leírtak szerint a trágyázás, főként a szerves trágyázás pozitívan befolyásolja a talajban a mikrobiális biomasszatömeget (IBRAHIM, 1971, HELMECZI, 1983, MÜLLER, 1991, KÁTAI, 1999, KÁTAI, 2006, SZILI-KOVÁCS, 2012). Ennek a már szinte tankönyvi tételnek a magyarázata, hogy a trágyázás hatására növekszik a növényi biomassza (a gyökereké is), és ez közvetlen (a talajba kerülő többlet szerves anyag miatt) kedvez a mikroorganizmusok szaporodásának is. Közvetlen hatást általában a szerves trágyázással kapcsolatban mutatnak ki. Egy kanadai tartamkísérlet (repce – árpa – búza vetésciklus) eredményei szerint, az istállótrágyázás 26, a műtrágyázás 20-64 %-al növelte az MBC-t (LUPWAY *et al.* 2005). A szerves trágyázás akár két- háromszorosára növelheti a talajban élő nitrogénkötő baktériumok számát. A növényi maradványok, istállótrágya, komposzt és szennyvíziszap egyaránt pozitív hatással vannak a cellulózbontó organizmusok mennyiségére, a talaj biológiai aktivitására és a termésre is. A hosszú távú kizárólagos műtrágya használat a talajok elsavanyodásához vezethet, mely negatívan befolyásolja a talaj biológiai állapotát (GODÓ, 2011).

Az ásványi részekhez nem kötött szerves anyagokat a talaj aerob szervesanyag-bontó mikrobái teszik védetté a dekompozícióval szemben, mert aprítják azokat, így később ásványi anyagokkal kapcsolódhatnak, valamint az aprózódás során ragasztóanyagok szabadulnak fel, melyek elősegítik a szerves-ásványi komplexek kialakulását (HUISZ, 2012).

*Kátai* (2006) kutatásaiban azt is kimutatta, hogy a trikultúra és öntözés kedvező hatású a mikrobiológiai folyamatokra. A talaj sótartalma is fontos tényező, hiszen nagyobb sótartalom mellett a legtöbb mikroszervezet mennyisége csökken, különösen a nitrogénkötőké, azonban a sugárgombák száma különösen megnő (BIRÓ *et al.*, 2002). Több kutatás is bizonyította, hogy a talajok meszezése növeli a talajok MBC tartalmát és a mikrobiális aktivitást (NEALE *et al.* 1997, CHAGNON *et al.* 2001, SOON, ARSHAD, 2005).

A mikroorganizmusokat erősen befolyásoló tényező a talaj levegő/víz aránya. Ez akkor a legkedvezőbb, ha a pórusok fele-kétharmada vízzel telített, ha huzamosabb ideig megnő a víztartalom, akkor az aerob mikrobák életműködése lecsökken (TROEH, THOMPSON, 2005).

A mikrobiális folyamatokra bizonyítottan hatással vannak a makro- és mikroklimatikus tényezők, és ezek szezonális változásai (ANDERSON *et al.*, 2004).

A kutatási eredmények szerint a műtrágyázás többféle úton fejtheti ki hatását a talaj mikrobaközösségére (PEACOCK *et al.*, 2001, TRESEDER, 2008, LUO *et al.*, 2015). A pozitív hatás elsősorban a műtrágyázással elért nagyobb növényi biomasszatömeg. Kátai (1999) tartamkísérletben végzett vizsgálatában azt találta, hogy a kis- és közepes műtrágya adagok pozitívan befolyásolták a mikroorganizmus csoportok dinamikáját és biológiai aktivitásukat. A nagyobb adagok nem fokozták tovább a pozitív hatás, sőt sok esetben negatív hatásúnak bizonyultak.

GAUTAM *et al.* (2020) tartamkísérlet vizsgálati adatai azt mutatták, hogy a magasabb arányú szerves trágya alkalmazása a talaj felső 10 cm-ben jelentősen növelte a mikrobiális enzimaktivitást és a talaj mikroba közösség foszfolipid zsírsav biomasszáját a kontrollkezeléshez képest. Az ásványi műtrágyás kezelések azonban nem mutattak eltérést a kontrollhoz képest. A szerves trágya és a műtrágya használata is jelentősen megváltoztatta a baktérium közösség szerkezetét. A szerves-kiegészítések alkalmazása többnyire olyan mikroba csoportokat stimulált, melyek gyakran vesznek részt a foszfor szolubilizációban, nitrogén mineralizációban, metán és bonyolult szerves vegyületek lebontásában. Tehát a hosszútávú szervestrágya-kijuttatás hasznosnak bizonyult a talaj biokémiai és biológiai mutatóinak javításában.

#### 3.4.4. A talaj mikroorganizmusainak aktivitása

A mikroorganizmusok természetben való elterjedését vizsgálva egyértelművé válik, hogy az egyik legjobb biotóp számukra a talaj. Nekünk pedig azért jelentős a talajban végzett tevékenységük, mert a számunkra szükséges táplálék termelésének is ez a színtere (BUDAY, 1976).

Az élő sejtek katalizátorai az enzimek, melyek kémiai reakciókat katalizálnak biológiai rendszerekben. Tulajdonképpen az anyagcsere és az energiaforgalom szabályozásáért felelősek. Ezek az enzimek szubsztrátokat transzformálnak, és csak meghatározott reakciókat képesek katalizálni (enzimspecifitás). Bármely talajnak akár 1 grammjában is több ezer mikróbasejt lehet jelen a saját enzimek készletével. Egy sejt egyszerre több enzim számtalan molekuláját működteti. A talajenzimek eredetük szerint nagyon sokfélék lehetnek, lokalizáció szerint (BURNS, 1982):

1. Szaporodó, túlnyomóan Gram-pozitív mikroorganizmusok, valamint növényi és állati eredetű sejtek intracelluláris enzimeik.

2. Osztódó Gram-negatív mikrobák periplazmatikus enzimeit.
3. A mikrobák és a növényi gyökérváladékban az élő sejtek felszínén található enzimek.
4. Gram-pozitív baktériumok, gombák vagy növényi gyökerek extracelluláris kis molekulatömegű enzimeit (osztódás, sejtnövekedés során képződnek). Fő funkciójuk a nagyobb molekulatömegű oldhatatlan szubsztátok hidrolízise, exogén mérgegyanyagok bontása, tápanyag-szolubilizáció stb.
5. Nem szaporodó élő sejtek (pl.: gombaspóra, endospóra, növényi magvak) enzimeit.
6. Elhalt sejtek maradványaihoz kapcsolódó enzimek. Az enzimaktivitás jelentős hányadát adják ezek az enzimek, mivel az élettelen szerves anyag képződése folyamatos a talajban.
7. Még élő vagy már lizált sejtek intracelluláris enzimeit, melyek még rövid ideig aktívak.
8. Enzim-szubsztát komplexben asszociált enzimek.
9. Agyagásványon adszorbeálódott enzimek, szilikátok rétegei között lévő enzimek.
10. Humuszképződés során keletkező, a humuszkolloidokhoz kapcsolt enzimek, melyek aktivitásukat hosszabb ideig megőrzik.

Az 5-10. csoportokat együttesen az akkumulálódott, 9-10. immobilizált, 4-10. pedig abiotikus enzimeknek nevezzük.

A mikrobiális anyagcsere elmélete szerint az enzimtermelés növekszik, ha az egyszerűbben felvehető tápanyagok kevésnek bizonyulnak, viszont a komplex tápanyagok bőségesen rendelkezésre állnak. Azonban az erőforrások korlátozása az enzimtermelést is korlátozza. *Allison és Vitousek* 2004-ben ezeket a hipotéziseket tesztelték, eredményeik alapján a komplex vegyületek önmagukban nem voltak elegendőek az enzimtermelés kiváltására. Az egyszerű és összetett tápanyagok kombinációja esetében az enzimtermelés leginkább az enzimszintézishez rendelkezésre álló szén és nitrogén mennyiségétől függött. Bár az enzimszintézis megköveteli, az elegendő elérhető szén és nitrogén mennyiséget, önmagában ez sem stimulálja az enzimműködést. Tehát, ha a források rendelkezésre álltak, akkor is alacsony maradt a mineralizáció, ha csak nem adtak komplex szubsztátumot a talajhoz.

A vízi és a szárazföldi rendszerekben egyaránt enzimeket használnak a tápanyagkörforgás indikátoraként. Szénciklus szempontjából a legfontosabb enzimek: glükózidáz, amiláz, celluláz, lipáz, xilanáz, invertáz; a nitrogén ciklus esetében: proteáz, amidáz, ureáz és deamináz enzimek; foszfor esetében a foszfatáz, kén esetében az aril-szulfatáz (TRASAR-CEPEDA et al., 2012).

*Makoi és Ndakidemi (2008)* több kutató eredményeit felülvizsgálva kilenc enzimet emelt ki, melyek a mezőgazdaság szempontjából jelentősebbek. Ezekről röviden:

Az **amiláz** egy keményítőt hidrolizáló enzim, mely lehet  $\alpha$ -amiláz és  $\beta$ -amiláz. Előbbit a növények, állatok és mikroorganizmusok is szintetizálják, és ez glükózzá vagy más oligoszacharidokká bontja a keményítőt. Utóbbit főleg növények szintetizálják, és maltózzá alakítja a keményítőt. Aktivitását a növényzet, a talajtípus, a környezet és az agronómiai tevékenység befolyásolja leginkább.

Az **aril-szulfatáz** aromás szulfát észtereket hidrolizál. A növények számára a kén, általában csak közvetett formában van jelen, szerves vegyületekbe kötötten. Az enzim aktivitását tehát a szerves anyagok elérhetősége befolyásolja. A vegyületek hidrolízise során melléktermékként szulfát szabadul fel, mely a növények számára már felvehető.

A  **$\beta$ -glükozidáz** gyakori és domináns enzim a talajokban. Nagyon fontos a szerepe, mert részt vesz a növényi törmelék hidrolízisének és biodegradációjának katalizálásában. A hidrolízis végterméke a glükóz, mely fontos C forrása a talajmikróbáknak. A vizsgálatok szerint abiotikus enzimek, melyek vagy a talajoldatba választódnak ki vagy a humusz és agyagásványokhoz kötődnek. A  $\beta$ -glükozidáz a talajminőségnek hasznos indikátora, mely tükrözi a múlt biológiai aktivitását, utal a talaj szervesanyag-stabilizáló képességére. Ez az enzim nagyon érzékeny a pH-ra (talajsavanyodás) és a talajkezelési beavatkozásokra. Aktivitását gátolja a nehézfém szennyezés.

A cellulóz a leggyakoribb szerves vegyület a bioszférában, a biomassa csaknem 50 %-át teszi ki. A mikroorganizmusok növekedése és túlélése a legtöbb mezőgazdasági talajban attól a CO<sub>2</sub> forrástól függ, mely a cellulózban található. Ahhoz, hogy ez a szén felszabaduljon **celluláz** enzim szükséges, mely glükózzá, cellobiózzá és nagy molekulatömegű oligoszacharidokká bontja a cellulózt. Aktivitását számos tényező befolyásolja, a hőmérséklet, pH érték, víz és oxigéntartalom, a szerves anyag kémiai szerkezete, és helye a talajprofilban. A fungicidek gátolják az enzim aktivitását (ARINZE, YUBEDEE, 2000).

A **kitináz** és más kitinolitikus enzimek a kitin lebontásáért és hidrolíziséért felelős kulcsfontosságú enzimek. Fő strukturális alkotóelemei sok gomba sejtfalának, mely a hiperparazitizmus mechanizmusát használja a kártévők és kórokozók ellen. Ezt az enzimet növények és mikroorganizmusok egyaránt képesek előállítani. A növényeknél például, mikrobiális fertőzés esetén kitináz enzim indukálódik, mely részt vesz a fertőzés elleni

védekezésben. A talajban terjedő betegségek ellen hatékony védekezést jelent. A legtöbb kórokozó biológiai kontrolljaként egyre népszerűbbek a kitinolitikus enzimek, melyek végeredményben segítik a növények növekedését és növelik a hozamot.

A leggyakrabban a **dehidrogenáz** enzimaktivitást alkalmazzák a talaj biológiai aktivitásának indikátoraként. Ez az enzim az intakt sejtek szerves részeként létezik, de extracellulárisan nem halmozódik fel a talajban. A dehidrogenáz enzimről ismert, hogy a talaj szerves anyagait oxidálja, proton és elektronátvitellel a szubsztrátról az akceptorokhoz. Ezek a folyamatok a mikroorganizmusok légzési útvonalaikat képezik, melyek szorosan függenek a talajtípustól, levegő és vízháztartástól. Az enzim vizsgálata azért fontos, mert képet ad a talaj azon biokémiai folyamatairól, melyek termékenységének fenntartásához elengedhetetlenek. A talaj víztartalma és hőmérséklete redox állapotának változtatásával közvetetten befolyásolja a dehidrogenáz aktivitást. A dehidrogenáz enzimet gyakran használják szennyezés okozta károk kimutatására is.

A **foszfatázok** az enzimek egy széles csoportja, észterek és anhidrinek hidrolízisét katalizálják, melynek a végterméke a foszforsav. Ezek az enzimek kulcsfontosságú szerepet játszanak a P-ciklusokban. A talaj termékenységének jó mutatói. Kapcsolatot mutattak ki az alacsony foszfátszint és az enzim szekréció növekedése között. Ha a növény számára kevés a foszfor a gyökerekből savfoszfátot választ ki, ezáltal segítve a növényt a foszfor-stresszes állapot leküzdésében. A kutatások kimutatták, hogy a különféle növény fajok és fajták, eltérő mennyiségű foszfátot választanak ki, például a hüvelyesek többet, míg a gabonafélék kevesebbet. Ennek az a magyarázata, hogy a hüvelyeseknek a szimbiotikus nitrogén megkötési folyamatokhoz magasabb foszfor mennyiség szükséges. A talaj pH értéke ennek az enzimnek a szintézisét is nagyban befolyásolja.

A talajban lévő **proteázok** jelentős szerepet játszanak a N mineralizációjában, mely a növények rendelkezésre álló N mennyiségét befolyásolja, így a növények növekedését is. Ez az enzim a talajban általában szerves vagy szervesetlen kolloidokhoz kapcsolódik. Az aktivitására számos biotikus és abiotikus tényező hatással van, például az alacsony koncentrációja, semlegesített huminsavak gátolják, míg a huminsav-karboxil csoportok stimulálják.

Az **ureáz** enzim felelős a karbamid hidrolíziséért, mely  $\text{NH}_3$  és  $\text{CO}_2$  felszabadulással, és egyidejűleg a talaj pH értékének növekedésével jár. Ez viszont gyorsan a légkörbe párolgó nitrogént jelent. Sok növénykultúrában a karbamid a fő N forrás, például az árasztásos rizs

vagy az öntözött kukorica termesztésénél. Ezért létfontosságú az enzim működése karbamid trágyázás után, hiszen szabályozza a növények N ellátását. Azonban fontossága ellenére sokan mégis alacsony hatékonyságáról számolnak be, a jelentős légköri N veszteség miatt. Az enzim főként a növényekből és mikroorganizmusokból származik, és egyaránt lehetnek intra- és extracellulárisak. Az ureáz enzim stabilitását is számos tényező befolyásolja, például a termesztett növények, szervesanyag-tartalom, talaj mélysége, talajművelés, nehézfém szennyezés, hőmérséklet. Az enzim szerves-ásványi komplexekben stabilabb, mint a talajoldatban. A humusz-ureáz komplexek ellenállnak a denaturáló ágenseknek, például az extrém hőmérsékletnek.

A talajokból ez idáig számtalan enzim aktivitását kimutatták már, azonban olyan módszerrel, mellyel 1-1 enzim aktivitását teljesen külön mérhetnénk, nem áll rendelkezésünkre. Az azonos funkciójú enzimek totális aktivitását azonban mérhetjük. Ehhez az élő sejtek lízise szükséges, mely az endocelluláris enzimek felszabadulását segíti elő (SZABÓ, 1986). A vizsgálatok többsége nem adott enzimek kivonásával és tanulmányozásával történik, hanem az enzim működéséhez szükséges szubsztrát csökkenéséből, vagy a termék koncentrációjának növekedéséből következtethetünk rá. A talajban található legtöbb enzim izodinámiás, eltérő szervezeteiktől származik, és különféle enzimek is katalizálhatnak ugyanolyan reakciót. Adott enzim vizsgálata során teljes aktivitást, azaz a reakciót katalizáló összes enzim működésének eredményét mérjük. Az enzimaktivásra a vizsgálati körülmények is hatnak, általánosságban elmondható, hogy az idő és a tárolási hőmérséklet növekedése csökkenti az aktivitást (ANTON, 1985).

A talajban mért enzimaktivitások a mikrobiális aktivitást tükrözik, így felhasználhatóak a mikrobiológiai funkcionális sokféleség indexeként, mely számos anyagcsere folyamatot tartalmazhat (pl.: tápanyagok körforgalma, bomlása). Mivel rengeteg anyagcsere folyamat létezik, ezért olyan reprezentatív enzimaktivitás vizsgálatokra van szükség, melyek a legfontosabb anyagcsere útvonalakat mutatják. Az enzimaktivitás mérésére általánosan alkalmazott, hatékony módszerek a fluorometriai módszerek. A vizsgálat olyan szubsztrátokon alapszik, melyek enzimaktivitás hatására fluoreszkálnak, így mérni lehet a keletkező termék mennyiségét (FREEMAN *et al.*, 1995).

A fluoreszcein észterek használhatóságát először *Kramer és Guilbault* (1963) írták le a lipáz enzimek aktivitásának mérésében. *Swisher és Carrol* (1980) demonstrálták, hogy a fluoreszcein diacetát (FDA) hidrolíziséből származó fluoreszcein mennyisége közvetlenül

arányos a mikrobaközösség nagyságával és mérésére használható laboratóriumi eljárást írtak le. Az FDA hidrolízisre való képesség széleskörűen elterjedt a mikroorganizmusok körében, ez lehetővé teszi használatát a mikrobaközösségek aktivitásának jellemzésére. Az FDA aktivitás mérés előnye, hogy egyszerű, gyors és érzékeny eljárás. A módszer külföldi elismertsége mellett egyre jobban terjed a hazai gyakorlatban a mikrobiológiai aktivitás jellemzésére (VILLÁNYI *et al.*, 2006; SZILI-KOVÁCS *et al.*, 2009). Az FDA hidrolízisét számos enzim végzi, például az észterázok, proteázok és lipázok. Ezért az FDA széles körben elfogadott módszer a teljes mikrobiális aktivitás, és közvetve a talaj minőségének és egészségének meghatározásához (ELBL *et al.* 2019). Az FDA talajból történő meghatározása pufferrel és FDA –val történő inkubálással kezdődik. A fluoreszcens színeképződés és színintenzitás a minta mikrobiális közösségének enzimikus aktivitására utal, melyet spektrofotométerrel mérünk. A standard görbével való összehasonlítás után megkapjuk a relatív aktivitást (PATLE *et al.*, 2018).

### **3.5. Talajszerkezet jellemzői, különösen az aggregátum stabilitás és szerepe**

A talajok biológiai tulajdonságainak alapjául a talaj fizikai-kémiai állapota szolgál. Ebből adódik, hogyha a talajminőséget javítani szeretnénk, ahhoz megfelelő talajszerkezet kialakítása szükséges (BIRÓ, 2020). A talajszerkezet a mezőgazdasági termelés kulcskérdése, hiszen a természetben kívánt növénynek, illetve a terület adottságainak leginkább megfelelő szerkezet kialakítása nélkül elképzelhetetlen az optimális gazdálkodás. A talajszerkezet határozza meg, hogy a kultúrnövények gyökere meddig jut el a talajban, a talaj levegő és vízháztartását, valamint a talaj fauna tevékenységét (CAMERON, 1993, LANGMAACK, 1999, PAGLIAI *et al.* 2004).

Talajszerkezetre több definíciót találunk a szakirodalomban:

*Zsoldos* (1967) alapján, a talaj szerkezetén (struktúráján) a talajnak azt a tulajdonságát értjük, hogy egyes darabja magától vagy enyhe nyomásra, feszítésre a talajra jellemző szerkezeti elemekre esik szét. *Lal* (1991) megállapítása szerint a talaj szerkezetét tulajdonképpen a szerves és szervetlen elemi szemcsék, és az összekapcsolódásuk következtében kialakult szerkezeti elemek, az úgynevezett aggregátumok alkotják. *Schmidt* (2011) definíciója alapján a talajszerkezet a talajnak az az állapota, amelynek képződése folyamán az elsődleges ásványi részecskék összetapadása után nagyobb méretű többé-kevésbé ellenálló másodlagos, harmadlagos halmazok, aggregátumok jönnek létre. Az aggregátum olyan primer részecskék



csoportja, amelyek erősebben tapadnak egymáshoz, mint a környező talajrészecskékhez (MARTIN et al., 1955, KEMPER ÉS ROSENAU, 1986). A 0,25 mm alatti aggregátumokat mikroaggregátumoknak nevezzük, az ennél nagyobbakat pedig makroaggregátumnak.

Az aggregátumok stabilitása indikátora a talaj szerkezetének (SIX et al., 2000).

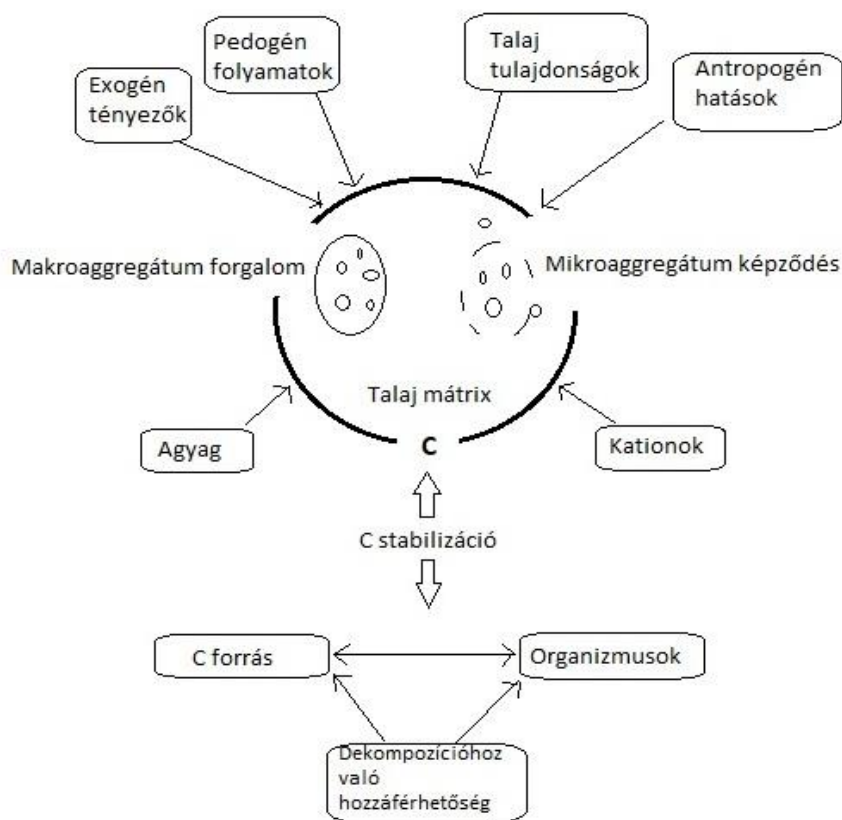
Az aggregátumok kialakulásáról számos elmélet született:

- Az egyik megközelítés, a „*hierarchikus szemlélet*” alapján a folyamat ásványi szemcsék flokkulációjával indul, amikor is az elsődleges ásványi szemcsék szerves- és szervesetlen kötőanyagok segítségével képeznek mikroaggregátumokat, majd ebből makroaggregátumokat. Az ásványi és szervesanyag-összetételtől függően különféle kapcsolódási módok alakulhatnak ki (HERNÁDI et al., 2017).
- A „*mérettartomány szerinti aggregátum elmélet*” alapján a mikroaggregátumok összekapcsolódásával jönnek létre a makroaggregátumok, és a mikroaggregátumok belső kötése erősebbek, mint a makroaggregátumokban lévők. A mikroorganizmusok a szervesanyag-bontás közben termelt ragasztóanyagaikkal tovább erősítik, valamint ellenállóbbá teszik a makroaggregátumot, azonban ha a makroaggregátumban található szerves anyag lebomlik, akkor elveszti stabilitását, majd idővel szétesik, és a jóval ellenállóbb mikroaggregátumok felszabadulnak belőle (HUISZ, 2007).
- A „*körkörös aggregátum elmélet*” alapján mikroaggregátumok közötti tapadást elsősorban a baktériumok és gombák által termelt ragasztóanyagok biztosítják. Ezek a ragasztóanyagok, melyek nagy molekulatömegű természetes polimerek (exopoliszacharidok), biztosítják a baktériumok gyökéren történő megtapadását is, ott kolóniákat hoznak létre, melyek hosszabb ideig képesek megtartani a vizet, mint környezetük, ezzel is az aggregációt segítve. Az aggregátumokat gombafonalak is átszövik, melyek tovább erősítik azt, valamint egyes gombafajok glomalint termelnek, mely szintén segíti a tapadást. A mikroaggregátumok stabilitását a bennük lévő szerves anyag szemcsék is befolyásolják, hiszen ezek szolgálnak tápanyagul a baktériumoknak. A mikroaggregátumokból álló makroaggregátumokat leginkább a növényi gyökerek és gombafonalak tartják össze. Egy erős aggregátum stabilitással bíró talaj heves esőzés esetén is képes a vizet elnyelni, egy gyengébb esetében viszont szétesnek az aggregátumok és elmosódnak. Az erős aggregáltság leginkább a talaj humusz, agyagásvány, vas-oxid és szénsavas mész tartalmától, valamint a mikrobák ragasztóanyagainak mennyiségétől és minőségétől, és ezek kölcsönhatásaitól függ (VARGA, 2020). *Bronick és Lal* (2005) szerint a makroaggregátumok a

mikroaggregátumok felhalmozódásával vagy szerves anyag vagy „bakteriális mag” körül keletkeznek.

- *Lynch és Bragg* (1985) úgy vélik, az aggregátumokat elsősorban fizikai erők alkotják, míg a stabilizálást számos más tényező, mint a szerves anyagok, vas- és alumínium – oxidok, mikroorganizmusok stb. végzik. Véleményük szerint az aggregátum képződés és a stabilizáció két folyamata egyidejűleg történhet a talajban és a stabilizáló anyagok egymással kölcsönhatásban működnek. Az egyik legfontosabb stabilizáló szerepet a mikroorganizmusoknak tulajdonították.

Az aggregátumok kialakulása és bomlása számos folyamat együttes eredménye. A talaj aggregációját befolyásoló tényezők csoportjait az 1. ábra szemlélteti. Ezen tényezők közül néhány fontosabb: környezet, talajművelés, növényzet, mikrobiológiai aktivitás, talajnedvesség (fagyás, száradás), a talaj ásványi összetétele, szervesanyag-tartalma, a kicserélhető ionok mennyisége, tápanyagkészlet (BRONICK, LAL, 2005). A talajok összes szerves C tartalma (*soil organic carbon*, SOC) jelentős tényező a talajaggregátumok kialakulásában és azok stabilizálásában (SIX *et al.*, 2002).



1. ábra: A talaj aggregációját befolyásoló tényezők (BRONICK, LAL, 2005 alapján)

A jó talajszerkezet alapvető létfontosságú az optimális terméshozamok eléréséhez, valamint a mezőgazdasági termelés szinten tartásához, fenntarthatóságához. Ezen felül a jó szerkezetű talajok jóval ellenállóbbak a talajpusztító tényezőkkel szemben (TÓTH, 2001). A talaj minőségét nagyban befolyásolja annak szerkezete, valamint az abban változást előidéző intenzív mezőgazdasági művelés, melynek során jóval kitettebb lesz a talaj az erózióknak, deflációknak, tömörödésnek, elsivatagosodásnak stb. (DEXTER, 2002). A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a talaj aggregátum stabilitása, művelt területek esetében jóval alacsonyabb, mint a természetes talajokban. A természet miatt a talaj szerves szén tartalma és annak minősége is csökken. A természetes talajokban nagyobbak az agyagrészecskék, alacsonyabb mennyiségű a diszpergálószer, alacsonyabb a talaj térfogatsűrűsége, magasabb a víztartó képessége és több a kicserélhető kationok száma is. A gyakori talajműveléssel romlik a talaj minősége, így talajerózió is intenzívebben károsítja a talaj szerkezetét, és nő a mechanikusan diszpergált agyag mennyisége is (BARTLOVA et al., 2014).

*Schmidt* (2011) vizsgálatai alapján a talaj szervesanyag-tartalmának növelésével javul a talaj szerkezete, mely javítja a művelés minőségét, hatásidejét és emeli a talaj hordképességét. *Blanco-C.* és *Lal* (2007) egy tartamkísérletben végzett aggregátum stabilitás vizsgálat alapján megállapította, hogy a felső 20 cm-es talajréteg aggregátum stabilitását nagyban befolyásolta, hogy növényi maradvánnyal borított volt-e, ahol igen, ott nőtt az 5 mm vagy annál nagyobb méretű aggregátumok aránya. *Huisz* (2008) kukorica és búzaszalma és ezek kombinációja talajba forgatásának hatását vizsgálta az aggregátum stabilitására. Eredményei szerint a két növényi talómaradvány kombinációjának hatására nőtt leginkább a nagy makroaggregátum frakció, ezt követte a kukorica, majd a búzaszalma. A mikroaggregátumok mennyisége minden esetben csökkent. Az aggregátumok vízállósága szempontjából a kukoricaszár+búzaszalma stabilizáló hatása volt magasabb.

A talajszerkezet számszerűsítésére számos javaslat van, legtöbbjük a különböző méretű aggregátumok mennyiségének és stabilitásának meghatározásán alapul, ilyen pl. a *Six et al.* (2000) által javasolt egységes aggregátum-stabilitási mutató. A hazai szakirodalomban *Huisz* (2012) határozott meg egységes aggregátum-stabilitási mutatót. Vizsgálatainkban egy egyszerűbb mutatót használtunk, a vízálló 250 µm-nél nagyobb méretű aggregátumok (makroaggregátumok) mennyiségének százalékos arányát.

### 3.6. Hosszútávú trágyázási tartamkísérletek jellemzői, fontossága

A tartamkísérletek hosszú ideig tartó szabadföldi kísérletek, melyek jelentősége vitathatatlan, hiszen alkalmasak a talajban zajló folyamatok kutatására, használhatóak oktatásban és szaktanácsadási tevékenységben is, hiszen a végbemenő változások hosszabb időt igényelnek (CSATHÓ et al., 2005, DEBRECZENI, 1994, KÖRSCHENS et al., 1998). Jolánkai et al. (2009) így fogalmaz: „A tartamkísérletek lényegében egyszerre élő laboratóriumok és közgyűjtemények. A tartamkísérletek ennek megfelelően nemcsak valamilyen tudományos kuriózumok, megbecsülést érdemlő természettudományos múzeumi relikviák, hanem elsősorban olyan nagy értékű, megszüntetésük, avagy szüneteltetésüket követően újból elő nem állítható, többéves folyamatok hatásait őrző élő ökológiai modellek, amelyek állandó, dinamikus adatbázisként segítségünkre vannak tudományos problémák megoldásában.” A talajban lezajló folyamatok vizsgálatára számos lehetőség adódik, de ezek közül az egyik legfontosabbat a hosszútávú trágyázási tartamkísérletek jelentik (RICHTER et al., 2007). A világon legrégebben beállított és jelenleg is üzemeltetett szerves- és műtrágyázási tartamkísérletek már több mint 170 éves múltra tekintenek vissza, melyet 1843-ban Rothamstendben állított be J. B. Lawes és J. H. Gilbert (NÉMETH, 1994). Szerencsére számos agrárkutató jutott hasonló felismerésre, és a tartamkísérletek száma növekedni kezdett. Néhány a legrégebbi kísérletek közül: Grignon (1875), Morrow Plots (1876), Halle (1878), Sanborn Field (1888), Old Rotation (1896), Moszkva (1912), Longerenong (1916). Ezek közül sok kísérlet a mai napig működik, néhol a modern kor elvárásaihoz igazítva, továbbra is értékes adatokat szolgáltatva. A régi kísérletek esetében azonban gyakori nehézség, hogy statisztikailag nehezen értékelhetőek, a randomizálás hiányában, később azonban olyan kezeléseket állítottak be, ahol fokozatosak a trágyaadagok (KÖRSCHENS, 2006). Nehezítő tényező még, hogy az idő haladtával a paraméterek és az analitikai módszerek változnak. A legtöbb tartamkísérletet az alábbi paraméterek vizsgálatának céljából hozták létre: vetésforgó, monokultúra, szerves- és műtrágyahatás, mikroelemek, meszezés, talajművelési eljárások, vízháztartás, növényvédelem, rezisztencia, új fajták vizsgálata, illetve több tényező együttes hatásának vizsgálata (KISMÁNYOKY, JOLÁNKAI, 2009).

Napjainkban több mint 600 tartamkísérlet tartanak számon világszerte, ebből Európában több mint 400 található (KÖRSCHENS et al., 2013). A 6. táblázat az európai tartamkísérletek országonkénti nyilvántartását mutatja be a 2003-as évben. Azóta ezek a számok változtak, de mindenképpen kiemelkedő szerepet tölt be hazánk a tartamkísérletek terén.

6. táblázat: Hosszútávú tartamkísérletek Európában ( KÖRSCHENS, DEBRECZENI, 2003)

Ország	10-20	20-50	50-100	>100 év	Össz.
Ausztria	1	6	2		9
Belorusz	2				2
Belgium		3	2		5
Bulgária		6			6
Csehország	3	12			15
Dánia		5		3	8
Észtország	1				1
Finnország		1			1
Franciaország		3		2	5
Németország	6	70	22	2	100
Nagy Britannia		6	2	11	19
<b>Magyarország</b>	<b>5</b>	<b>75</b>	<b>2</b>		<b>83</b>
Olaszország	1	2			3
Moldva		4			4
Hollandia		8	7		15
Norvégia			3		3
Lengyelország		11	5		16
Románia	1	13			14
Oroszország		32	30		62
Szerbia	1		1		2
Szlovákia		5			5
Szlovénia	2				2
Spanyolország	1				1
Swédország		13	3		16
Svájc		5	1		6
Ukrajna		12	1	2	15
<b>Összesen</b>	<b>24</b>	<b>292</b>	<b>81</b>	<b>20</b>	<b>417</b>

Hazánkban, az 50-es években még inkább a szerveztrágyázásra összpontosító tartamkísérletek indultak, elsősorban a magasabb hozam elérésének érdekében (GRÁBNER, 1956, GYÖRFFY, 1960). Az egyik legjelentősebb hazai kísérleti hálózat az Országos Műtrágyázási Tartamkísérlet (1967), mely a különböző hazai földrajzi egységek és főbb talajtípusok trágyázási hatékonyságának vizsgálatát teszi lehetővé, de eredményeit az EU klímaprogramjához is felhasználták (DEBRECZENI, 1994). Emellett számos olyan kísérlet van még hazánkban, mely része országos, Kárpát-medence régióit illetve több országot is átívelő hálózatnak. Ezek közül néhány: Keszthely-Nyitra, Látókép-Nyíregyháza-Livada, Nagyhorcsók-Eszék (JOLÁNKAI, 2008). További kísérletek még, a martonvásári, őrbottyáni, nyírlugosi, később a szegedi és szarvasi tartamkísérletek. Jelentős, országhatárokon átívelő kísérlethálózat az IOSDV (Internationale Organische Stickstoff-dauerdüngungsversuch,

nemzetközi szerves- és nitrogéntrágyázási tartamkísérlet). A kísérlet első állomásait 1983-ban állították be, Magyarországon (Keszthely) is ekkor alapították.

A Keszthelyen ma is működő tartamkísérletek 1960-tól kerültek beállításra. Az itt működő kísérletek tudományos értéke jelentős, hiszen a több évtizedes adatsorokból a hosszú távú hatások és az évjáráthatás is értékelhető.

Röviden néhány keszthelyi tartamkísérletről:

Az első kísérletet 1963-ban állították be, mely szerves- és műtrágyák hatását vizsgálja a termésre és talajtermékenységre lucernás és lucerna nélküli vetésforgókban. A szerves- és műtrágyák összehasonlítását célzó kísérletet 1960-ban állították be, melyben a szerves- és szervetlen trágyával azonos mennyiségű hatóanyagot juttatnak ki, és vizsgálják hatását a termésre és különböző talajparaméterekre. Szintén 1960-ban alakult a szerves anyag utánpótlását különböző szármaradványokkal végző kísérlet, mely a keletkezett növényi melléktermékek üzemen belüli felhasználását vizsgálja. 1963-ban a foszfor és a kálium hatását és utóhatását célzó kísérleteket hoztak létre. Szintén 1963-as kísérlet a minimális talajművelési mód vizsgálata dikultúrában, melynek célja idő- és energiatakarékos módszerek kidolgozása. 1980-ban a nitrogén-műtrágyázás hatását vizsgáló kísérletet állítottak be. 1969-ben kukorica, 1976-ban búza, monokultúrás műtrágyázási kísérlet létesült. 1983-ban pedig a korábban már említett IOSDV kísérletet állították be, melynek részletesebb ismertetésére később sor kerül (KISMÁNYOKY, 1996).

Néhány a kutatáshoz kapcsolódó eddigi eredmény az IOSDV tartamkísérletekből:

Az IOSDV Berlin-Dahlemi kísérletében a szárleszántás+zöldtrágya szerves kiegészítés esetében mérték a legmagasabb mikrobiális C és N értékeket,  $C_{mic}/C_{org}$  hányadost, valamint dehidrogenáz aktivitást, ami lényegesen jobbnak bizonyult az istállótrágyás és a csak műtrágyázott kezelésekhez képest (OBERDOERSTER et al. 1997). Kautz et al. (2004) eredményei alapján is a szárleszántás és zöldtrágya növelte a mikrobiális biomassza mennyiségét és a dehidrogenáz aktivitást egyaránt. Ehhez képest az istállótrágya kiegészítéses kezelésnek gyengébb hatása volt, mely a ritkább kijuttatás és az eltérő minőségű szerves anyagok talajba kerülésével magyarázható. A csak ásványi trágyázás nem befolyásolta az MBC tartalmat és a dehidrogenáz-aktivitást sem. A celluláz aktivitás szintén a szalma+zöldtrágya hatására nőtt leginkább, az ásványi trágyázás hatására csak kismértékben növekedett.

Speyerben beállított IOSDV kísérletben azt találták, hogy szerves szénforrás nélkül a trágyázás nem okozott mikrobiális növekedést. Az eredményeik alapján a mikrobiális aktivitást leginkább a C/N arány befolyásolta, így ahol magasabb N adagok voltak ott gyengébb volt az aktivitás, ahol nem volt vagy csak kevés a N trágyázás ott magasabb enzimaktivitást mértek. (BONKOWSKI, 2018).

A talaj szerves C mennyiségét vizsgálták a ljubjanai IOSDV kísérletben. Az eredmények a várakozásnak megfelelőek voltak, hiszen ahol nem volt más csak ásványi N trágyázás, ott 15 év alatt csökkent vagy a kezdeti szinten maradt a  $C_{org}$  tartalom, viszont a szerves kiegészítések a széntartalom növekedését okozták. A legmagasabb szerves szén mennyiséget a szárleszántás+zöldtrágya kiegészítés és legmagasabb N adagot kapó kezelésben mérték, mely a kontrollhoz képest évi 0,012 %-os növekedést jelentett (TANŠEK *et al.*, 2013).

Észtországi IOSDV kísérletben mérték a csak ásványi és az istállótrágyás kezelések vízálló stabil aggregátum %-át. A N adagok növelése általában az aggregátum stabilitás csökkenésével járt, az istállótrágya használata pedig az esetek többségében szignifikánsan magasabb stabilitást eredményezett (ARE *et al.* 2018).

Keszthelyi IOSDV-ben végzett aggregátum-stabilitás vizsgálatok azt mutatták, hogy szárleszántás és zöldtrágya növény alkalmazása fokozta leginkább a stabilitást, 9 %-kal magasabb stabilitási értékkel, mint a szerves-kiegészítésben nem részesülő parcellák. Az istállótrágya stabilitást fokozó hatása a várthoz képest elmaradt (DUNAI, TÓTH, 2015).

Az alábbiakban megemlítek még néhány a kutatási témával kapcsolatos tartamkísérletekben kapott vizsgálati eredményt az utóbbi két évtizedből:

Talajrészecskék és baktériumok asszociációjának vizsgálata, azt az eredményt mutatta, hogy nemcsak a biomasza mennyiségét, de a közösségek szerkezetét is jelentősen befolyásolta a részecskeméret, mivel a kisebb méretű frakcióknál nagyobb diverzitást mértek. A magasabb biomasza mennyiség az iszap és agyag frakciókban nem a jobb kolonizációnak volt köszönhető, hanem a magasabb diverzitási rátának. Ennek az is az oka, hogy a finomabb méretű részecskék pórusai egyfajta védőhelyként is szolgálnak a mikroorganizmusoknak a ragadozók ellen, mivel a pórusméret kizárja ezeket a predátorokat (pl.: protozoák). A mikrofaunai ragadozás szelektív nyomást jelentett a közösség szerkezetére homok frakcióban is. A szerves anyagok és mikroorganizmusok finomabb frakciókban történő feldúsulása az aggregátum képződés és a szervesanyag-részecskék dekompozíciójának következménye. A homok frakcióban főként a korlátozott tápanyagkörülményekhez alkalmazkodott, illetve a mélyebb rétegek szubsztrátjait hasznosítani tudó baktériumfajok szaporodnak el pl.:

proteobaktériumok, *Rhizobium* baktériumok. Vizsgálataikban azt is kimutatták, hogy az agyag részecskében található kis rések inkább az anaerob mikrobáknak kedveznek, pl.: *Clostridia* (SESSITCH et al., 2001.)

Csitári és Hoffmann (2005) keszthelyi tartamkísérletben megállapította, hogy a szerves trágyázás hosszú távon kedvezően hat a talaj fizikai-kémiai tulajdonságaira (pl.: szerkezet, víztartó képesség, szervesanyag-tartalom). Eredményeik alapján a mikrobiális közösségek metabolikus diverzitása nagyobb volt a trágyázott parcellákon, azonban szignifikáns különbség nem mutatkozott a szerves és szervesetlen trágyázás között. A műtrágya hatóanyag mennyisége és a talaj biológiai paraméterei között szignifikáns korrelációt nem mutattak ki, azonban a magasabb dózisok általában növelték a mikrobiális biomasszát, dehidrogenáz és invertáz aktivitást. Rámutattak arra is, hogy a talajon folytatott mezőgazdálkodás csökkenti a diverzitást, mivel a réti talajból vett mintákban mérték a legmagasabb metabolikus diverzitást és heterotróf aktivitást.

Takács és Vörös (2006) két magyarországi műtrágyázási tartamkísérletben vizsgálta a N adagok hatását az arbuskuláris endomikorhizára, kukorica jelzőnövényen. A mikkorhizáltság magas volt és nem különbözött számottevően a kezelésekből, az arbuskulák mennyisége - melyek a szimbiózis hatékonyságát mutatják - a N adagok emelésével csökkent.

Cseh vetésforgós trágyázási tartamkísérletekben 5 évig vizsgálták, az ureáz és nitrogénáz aktivitást és az *Azotobacter* spp. számot. Az istállótrágya és a műtrágya+istállótrágya kombinációja adta a magasabb enzimaktivitást és *Azotobacter* spp. számot. Megállapításuk szerint a szerves trágyázás javítja a talaj termékenységét és fokozza a biológiai aktivitását (MIKANOVÁ et al., 2009).

Shujie et al. (2009) 28 éves hosszútávú trágyázási kísérletben arról számolt be, hogy a szervesetlen műtrágyák is javították a talajszerkezetet a trágyázatlan kezelésekhöz képest. Az istállótrágya használata magasabb szénhidrát koncentrációt eredményezett a talajban, ez pedig hozzájárult a makroaggregátumok képződéséhez. A kizárólagos szerves trágya-alkalmazással a makroaggregátum frakció szignifikánsan magasabb volt a csak NPK kezelésekhöz képest, mivel a műtrágya megváltoztatja a talaj pH értékét és elektrolit koncentrációját, ami negatív hatással van az aggregációra. Mikrobiális vizsgálatokat is végeztek, melyek szerint az istállótrágya esetében volt magasabb a baktériumok respirációs rátája, a gombák esetében azonban csak a szerves trágya biztosított kielégítő körülményeket a szaporodásukhoz. Az összesített aggregátum frakció és mikrobiális légzés eredményeinek összefüggéseit vizsgálva



arra a következtetésre jutottak, hogy a baktériumok és gombák kulcsszerepet játszanak az aggregátum képződésben.

*Szili-Kovács et al.* (2009) hat magyarországi tartamkísérletben végzett mikrobiológiai vizsgálatokat. Eredményeik azt mutatták, hogy a homoktalajokon volt kisebb az MBC mennyisége, míg vályog talajokon magasabb, azonban a leginkább meghatározó tényező a humusztartalom, illetve a könnyen felvehető szerves- C tartalom volt. A mikrobiális aktivitás megállapítására alaprespirációs vizsgálatot használtak. Az eredmények itt jóval változékonyabbak voltak, mint a biomassza esetében, valószínűleg azért, mert a mikroorganizmusok aktivitása nagyban függ környezetüktől, valamint az elérhető szubsztrátok mennyiségétől.

Az istállótrágyában szervesen kötött N lassan szabadul fel, az 1. évben csak a kevésbé kötött formák, később az erősebben kötöttek válnak hozzáférhetővé. A folyamatosan ismételt, évenkénti trágyázással felhalmozódnak a talajban a nem mobilis formák, ezáltal hatásuk összegződik, így az istálló műtrágyaegyenértéke idővel nőhet, melyet az 50-60 éves martonvásári tartamkísérletekben tapasztaltak (KÁDÁR, SARKADI, 2010).

Görbeházi 25 éves műtrágyázási tartamkísérlet 21- és 22. évében, *Káta et al.* (2014) talajfizikai, kémiai és mikrobiológiai vizsgálatokat is végeztek, ahol 5 növekvő műtrágyadag hatását vizsgálták, monokultúrában. Eredményeik szerint a talaj fizikai tulajdonságaiban nem történt jelentősebb változás, az AL-oldható foszfor és a nitrátmennyiség növekedett a trágyázott kezelésekben. A talaj CO<sub>2</sub> kibocsájtása valamint a MBC és a szacharáz aktivitásnál mértek még jelentősebb növekedést. A MBC és MBN (mikrobiális biomassza nitrogén) aránya, valamint az MBC és OC (szerves szén) aránya a kontroll parcellákban volt a legalacsonyabb, ami azt mutatja, hogy a növekvő műtrágya dózisok pozitív hatással voltak a C-ciklus és a N-ciklus paramétereire is.

*Hartmann et al.* (2015) organikus és hagyományos gazdálkodás összehasonlító vizsgálatában azt kapta, hogy a két rendszer hosszú távú alkalmazása eltérő mikrobiomokat eredményez a talajban. Tanulmányuk azt mutatta ki, hogy a trágyázási rendszer, azon belül a szerves trágyák alkalmazása és minősége a fő meghatározója a mikrobiális sokféleségnek. A peszticidek kijuttása alárendelt tényező, bár lehetnek olyan hatások, melyek ennek a tényezőnek tulajdoníthatók.

*Gao et al.* (2018) hosszútávú tartamkísérletben kimutatták, hogy a zöldtrágya növény használata megváltoztatta a talaj oldott szervesanyag-összetételét, mely stabilabb és komplexebb lett.

Nyíregyháza melletti homoktalajon beállított tartamkísérlet eredményei azt mutatták, hogy a különböző trágyázási alternatívák (zöldtrágya, erjesztett és nem erjesztett szalma, istállótrágya, műtrágya), mind növelték a talaj szerves C tartalmát a trágyázatlan kontrollhoz képest. Ez a növekedés a műtrágya+istállótrágya és a zöldtrágya+műtrágya kombinációban volt a legmagasabb. A szerves anyaggal történő trágyázás hozzájárult a magasabb mikrobiális paraméterek kialakulásához (MBC, szacharáz, dehidrogenáz, foszfatáz aktivitás). Egy másik tartamkísérletben (Debrecen mellett), csernozjom talajon, az organikus és az intenzív gazdálkodás okozta változásokat vizsgálták. Az organikus parcellák szén-dioxid termelése és szacharáz aktivitása lényegesen alacsonyabb volt az intenzívhez képest, ezzel szemben az MBC, a foszfatáz és dehidrogenáz aktivitás a biogazdálkodási rendszerekben volt szignifikánsan magasabb (KÁTAI *et al.*, 2018).

Marhatrágya és szervesetlen trágya összehasonlító tartamkísérlet eredményei szerint a műtrágyás kezeléshez képest az istállótrágya-adagolás általánosan növelte az ureáz- és  $\beta$ -glükózidáz aktivitást, valamint a C és N frakciókat is. Ezen kívül a szerves trágya-adagok emelése is növelte ezeket, amit a szervesetlen trágya esetében nem figyeltek meg. Arra a végkövetkeztetésre jutottak, hogy a szerves trágya alkalmazása befolyásolja a SOC és N képződését, tárolását és forgalmát, valamint az enzimdinamikát és a talaj mikroökológiáját (OZLU *et al.*, 2019).

Amerikai tartamkísérletek 16 éves értékelése alapján a hosszútávú istállótrágya kijuttatás növelte a talaj szervesanyag-mennyiségét. A szerves trágya-kijuttatás jelentősen megnövelte a talaj vízdoldható C és N tartalmát is, mely arra utal, hogy az istállótrágya szerves anyagában több a vízdoldható szerves frakció. Mivel az istállótrágya növelte a talaj C tartalmát, így növelte a mikrobiális biomassza mennyiségét is, valamint fokozta az aktivitást is, mivel a szén az egyik fő szubsztrátja az enzimaktivitásnak. Például a  $\beta$ -glükózidáz enzimaktivitás több mint kétszeresére nőtt a kontroll kezeléshez képest. A csak műtrágyás kezelések változó eredményeket mutattak, egyes vizsgálatok szerint a szervesetlen trágyák használatával csökkent az MBC, de ezzel ellentétes hatásokat is megfigyeltek, ahol a szervesetlen trágyázás is magasabb MBC-t eredményezett. A szerves trágya hozzáadása jelentős hatással volt a mikrobiális közösségek szerkezetére, méretére és sokféleségére is (GAUTAM *et al.*, 2020).

## 4. Anyag és módszer

### 4.1. Kísérleti terület talaja

Az IOSDV (Internationale Organische Stickstoff-dauerdüngungsversuch, nemzetközi szerves- és nitrogéntrágyázási tartamkísérlet) kísérleti terület talajtípusa homokos löszön kialakult Ramann-féle barna erdőtalaj, a WRB-féle osztályozás alapján Eutric Cambisol; fizikai félesége homokos vályog, az Arany-féle kötöttségi szám értéke 36-37. A kísérleti terület talaja humuszban és foszforban gyengén, káliummal közepesen ellátott. Talaj térfogattömege:  $1,53 \text{ g cm}^{-3}$ . Frakciók megoszlása:  $<0,2 \mu\text{m}$ : 26, 8 %; 2-6,3: 10,8 %; 6,3-20: 10,8 %; 20-63: 51,6 %. Természetes állapotú agrokémiai paraméterek: humusztartalom 1,6-1,7 %,  $N_{\text{org}}$ : 0,142 % az ammóniumlaktát oldható  $P_2O_5$  tartalom 60-80  $\text{mg kg}^{-1}$ , a  $K_2O$  tartalom 140-160  $\text{mg kg}^{-1}$ ,  $pH_{\text{KCl}}$  6,8-7,0.

A kísérleti hely talajviszonyai:

A szint (0-20 cm között): homokos-vályog, tömődött, kismértékben morzsás, gyökérrel gyengén átszőtt, jól levegőzött, jó vízátbocsátó és víztartó képességű, vízháztartása megfelelő, de elhúzódó szárazság esetén a növényi növekedés akadályozott, fokozatos az átmenet az AB szintbe.

AB szint (20-35 cm): gyengén humuszos, homokos vályog, tömődött, kismértékben rögös struktúra, gyökerekkel gyengén átszőtt, jól levegőzött, biológiailag gyengébben tevékeny, vízháztartása az előző szinthez hasonló, gyors átmenet a következő szintbe.

BC szint (35-55 cm): homokos vályog, közepesen tömött, finom rögös, elszórtan gyökérszálak, jól levegőzött, csekély biológiai tevékenység, vízháztartása az előző szinthez hasonló, folyamatos átmenet a következő szintbe

C szint (55-95cm): homokos vályog, nincs gyökérzet, biológiailag inaktív, a többi megegyezik az előző szinttel

C<sub>2</sub> szint: vályogos finom homok, struktúrátlan laza szerkezet, gyors vízvezetés, mélyebb rétegekben kismértékű glejesedés és rozsdásodás

(Pannon Egyetem, Georgikon Kar- Földműveléstani Csoport vizsgálatainak közlése alapján)

## 4.2. Éghajlat, időjárási jellemzők a kísérlet évei alatt

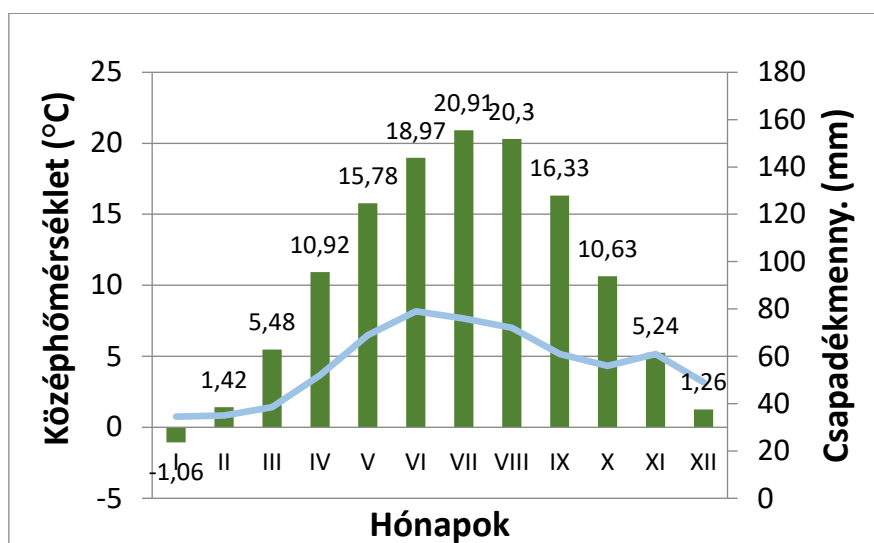
Az évente átlagosan lehullott csapadék mennyisége: 683 mm (1901-2000 között), az átlagos évi középhőmérséklet: 10,5 °C.

Az 1. ábrán Keszthely 100 éves havi középhőmérséklet és csapadékmennyiség adatait mutatom be, 2., 3., és 4. ábrán pedig a vizsgálati évek időjárási adatait.

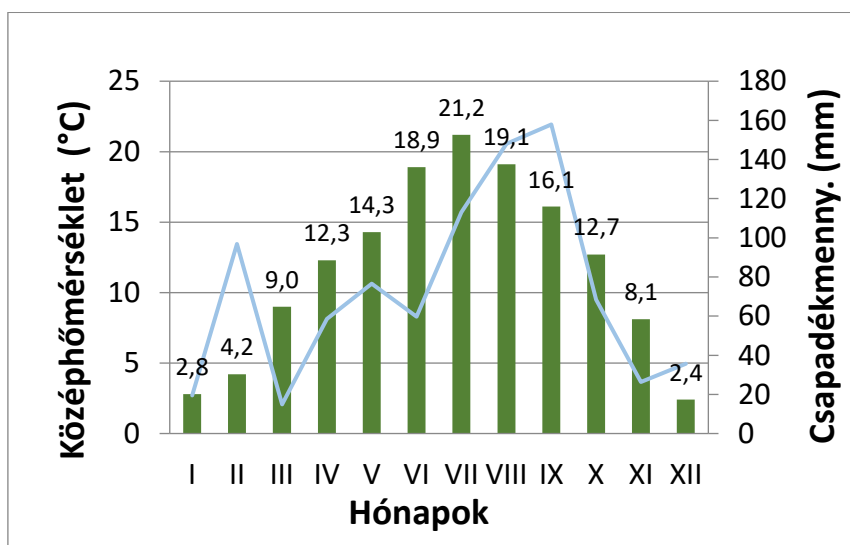
A százéves átlaghoz képest a **2014**-es év jóval melegebb volt. Szinte minden hónapban pozitív anomáliát kapunk. Március havi átlaga 3,52 °C-kal magasabb volt a sokévi átlagnál, de jóval melegebb volt január, február és november is. Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai szerint 2014-ben volt a 3. legmelegebb tél, a 7. legmelegebb tavasz és az 5. legmelegebb ősz 1901 óta. A 2014-es év volt a 9. legcsapadékosabb év hazánkban 1901 óta. A 100 éves átlagcsapadékhoz (683 mm) képest 22 % esett több csapadék Keszthelyen. Az átlagnál jóval melegebb és csapadékosabb július már-már trópusinak volt nevezhető (az elmúlt 120 év legcsapadékosabb júliusa volt). Az OMSZ adatai szerint az országosan mért napsütéses órák száma 2014-es évben az átlaghoz közeli volt, március és június volt derültebb az átlagnál.

A **2015**-ös év országosan jóval melegebbnek bizonyult az előzőhöz képest, ugyanis a 3. legmelegebb év volt 1901 óta. Három kivétellel az összes hónap melegebb volt az átlagnál. A legnagyobb anomália augusztusban volt, 2,3 °C – kal volt melegebb a normálhoz képest. Az éves csapadékösszeg 598,8 mm volt, ami csaknem 88 % a sokéves átlagnak. Az április, a június és a decemberi hónapok jóval szárazabbnak bizonyultak az átlaghoz képest, októberben pedig az átlag csapadékhoz képest 63 % - kal hullott több. 2015-ben is az átlagnak, megfelelő volt a napsütéses órák száma, július és április volt a legderűsebb.

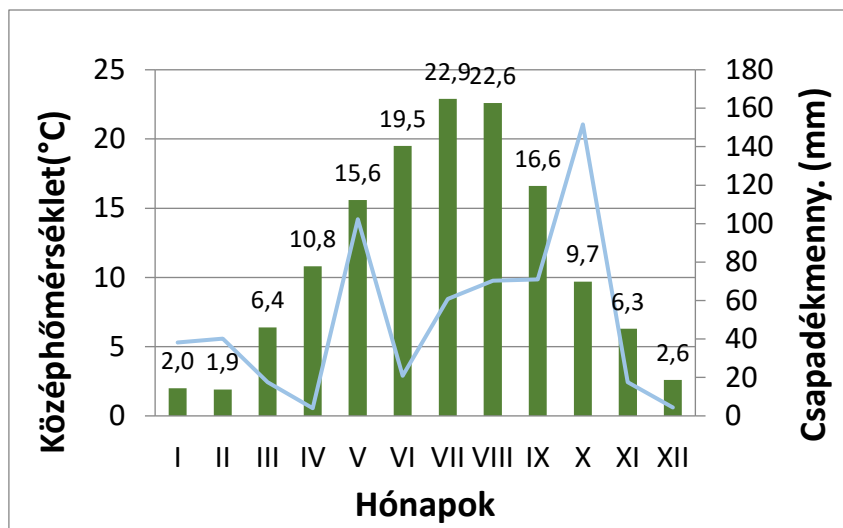
A **2016**-os év középhőmérséklete (12 °C) szintén meghaladta a sokévi átlagot. A Keszthelyen mért adatok alapján december kivételével minden hónap melegebbnek bizonyult az átlagnál. Különösen meleg a február és a szeptember volt, de a nyári hónapok is melegebbek voltak a normálnál. A százéves átlaghoz képest 96 mm-el hullott több csapadék. Február és a nyári hónapok voltak jóval csapadékosabbak. Szeptemberben (24 %) és decemberben (8 %) viszont rendkívül kevés csapadék hullott az átlaghoz képest. A napsütéses órák száma 18 %-kal meghaladta az átlagot, csak októberben és februárban volt az átlag alatt, decemberben viszont kétszer annyi volt.



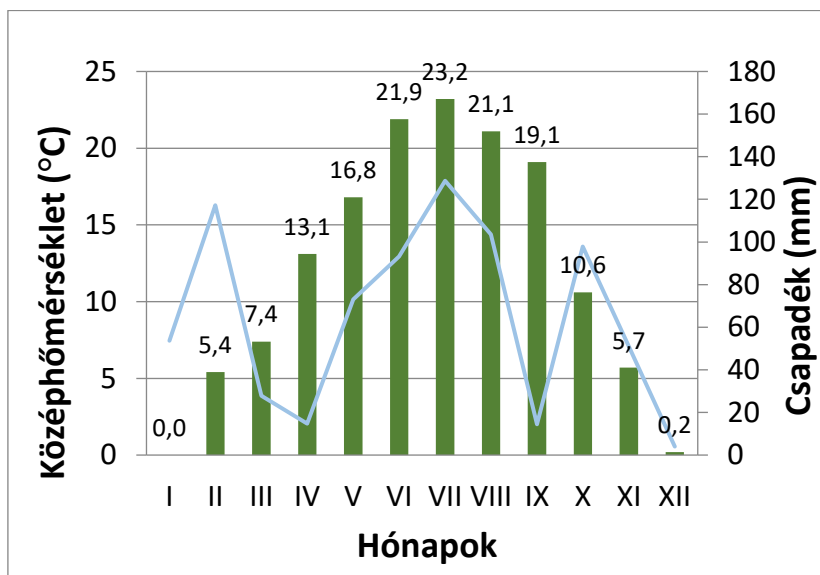
2. ábra: Keszthely havi középhőmérséklet és csapadékmennyiség adatai 100 éves átlagban (1901-2000)



3. ábra: Keszthely havi középhőmérséklet és csapadékmennyiség adatai a 2014-es évben



4. ábra: Keszthely havi középhőmérséklet és csapadékmennyiség adatai a 2015-ös évben



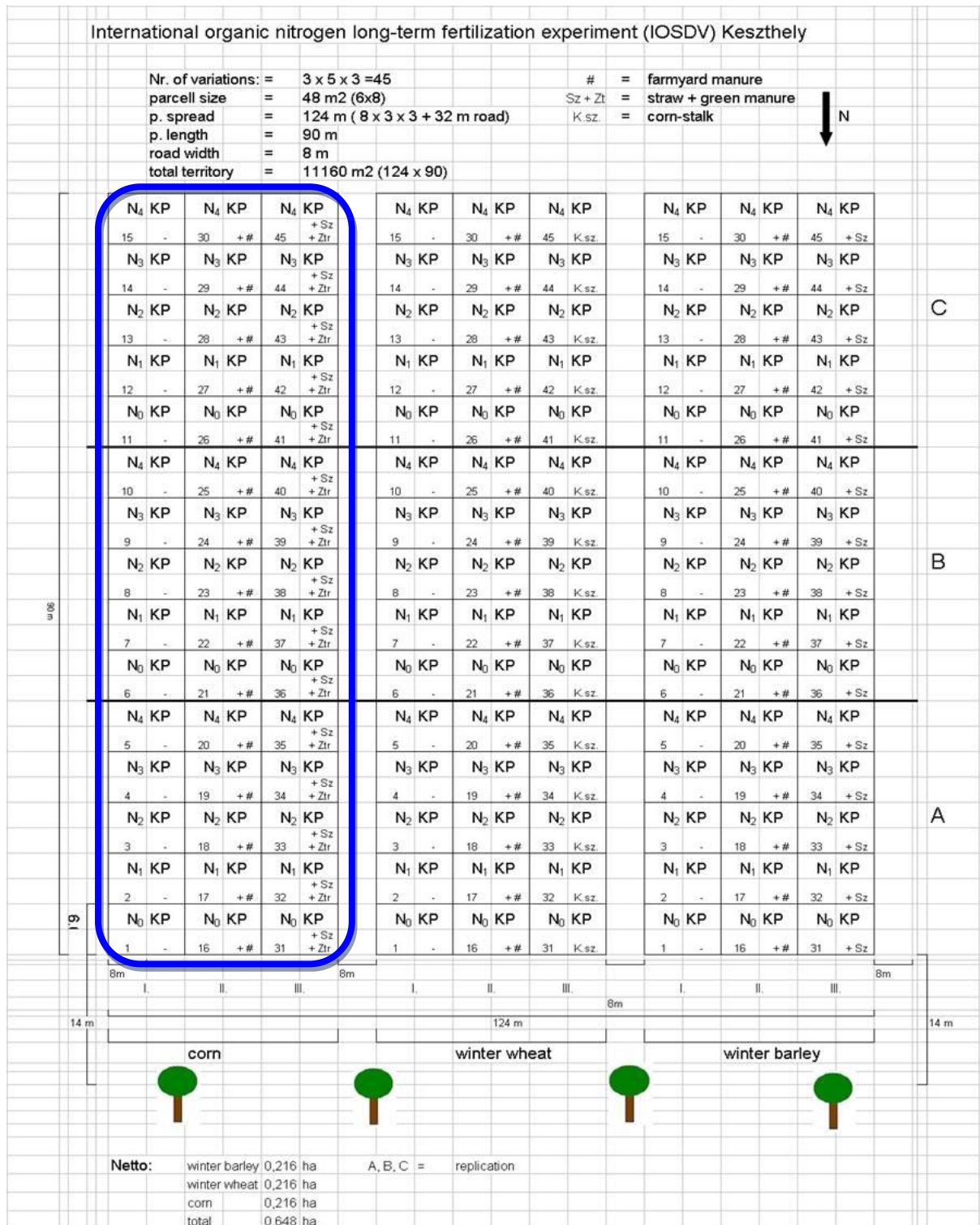
5. ábra: Keszthely havi középhőmérséklet és csapadékmennyiség adatai a 2016-os évben

Saját vizsgálataimat tekintve úgy gondolom, hogy a 2013, 2014 és 2015-ös évek jellemzően sok aszályos időszaka az általam mért paramétereket is befolyásolta. Gondolok itt kiváltképp arra, hogy ezek a száraz időszakok a mikrobiális tevékenységet is korlátozták, így a talajba kerülő szerves anyagok feltáródása is elhúzódhatott. Bár a 2016-os év szintén a sokéves átlagnál melegebb volt, az átlagosnál több csapadék enyhített ezen.

### 4.3. IOSDV kísérlet és kezeléseinek leírása

Az IOSDV jelű kéttényezős sávos elrendezésű gabonás vetésforgó tartamkísérlet növényi sorrendje: kukorica - őszi búza – őszi árpa; ismétléseinek száma: 3. Parcelláinak bruttó mérete: 48 m<sup>2</sup>. A kísérlet tényezői között a növekvő N műtrágya adagok és a kiegészítésként kijuttatott különböző szerves trágyák szerepelnek. A műtrágyázást tekintve minden kísérleti parcella (a N kontroll is) egységesen 100 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és K<sub>2</sub>O hatóanyag tartalmú alapműtrágyázásban részesül, míg a N kijuttatása a vetésforgóban szereplő növényektől függően 5 egyenlően növekvő adagban történik (N0, N1, N2, N3, N4). A N hatóanyag adagok kukorica esetében: 0-70-140-210-280 kg ha<sup>-1</sup>, őszi búza esetében: 0-50-100-150-200 kg ha<sup>-1</sup>, őszi árpa esetében: 0-40-80-120-160 kg ha<sup>-1</sup>. A műtrágya (NPK) önmagában történő kijuttatása (szervestrágya-kiegészítés nélküli kontroll) mellett műtrágya+istállótrágya (NPK+IST) és műtrágya+szármaradvány+zöldtrágya (NPK+SZ+ZT) változatok szerepelnek. Az istállótrágyás kezeléseknél az istállótrágya kijuttatása 35 t ha<sup>-1</sup> adagban a rotáció során (három évenként) egy alkalommal a kukorica előtt történik. A szármaradványok visszapótlása esetében minden 1 t szármaradványra számítva 10 kg N hatóanyag kiegészítés is történik hektáronként. A szármaradvány visszapótlási változatokban a rotáció során egy alkalommal az őszi árpa tarlójába vetett másodvetésű olajretek zöldtrágya növény (*Raphanus sativus* var. *Oleiformis*) alászántása is megtörténik (KISMÁNYOKY, BALÁZS, 1996). Az istállótrágya kijuttatása 2013 novemberében, az őszi mélyszántáskor történt. A tartamkísérlet segítségével jól vizsgálható három különböző gazdálkodási forma hosszútávú hatása a talaj állapotára. Az első gazdasági modell esetében csak műtrágyázással történik a tápanyagszolgáltatás, illetve a melléktermékek is elszállításra kerülnek, a második modell egy olyan gazdálkodásról ad projekciót, mely esetében állattartás is történik, vagy megoldott az istállótrágyázás, a harmadikban pedig a melléktermék, azaz a gyökér- és szármaradvány leszántásra kerül, illetve a hároméves vetésforgó során egy alkalommal zöldtrágyát is alkalmaznak.

Vizsgálataimat a kiterített vetésforgós kísérlet első sávjában végeztem. 2014-ben vettem az első mintát, ekkor kukorica jelzőnövény volt a kísérleti területen. A kísérlet elrendezését a 6. ábra szemlélteti.



**6. ábra: A nemzetközi szerves és műtrágyázási kísérlet (IOSDV) keszthelyi kísérletének területi elrendezése (Kékkel jelölve a saját vizsgálatokban résztvevő sáv)**



#### **4.4. Mintavételi időpontok, minták tárolása**

A laborvizsgálatokhoz szükséges mintákat a talaj felső 20 centiméteréből vettem, minden parcellánál három helyről. A mintavételek az alábbi időpontokban történtek (zárójelben jelzem, hogy az adott mintavételből, milyen vizsgálatokat végeztem):

- 2014. május 23-án, a kukorica kelése után, amikor a növény a BBCH skála 14-16-os fenológiai fázisában volt (4-6 leveles állapot). (LANCASHIRE *et al.*, 1991) (MBC, ;
- 2014. szeptember 9-én, a kukorica aratása előtt (MBC, humuszminőség);
- 2015. április 30-án, a *Zadock* (1974) féle fenológiai kódrendszer alapján a búza 37-es (a zászlóslevél éppen látható) állapotában, szárazabb talajállapotban (~ 6 % nedvességtartalom) (MBC, aggregátum stabilitás);
- 2015. július 22-én, a *Zadock* (1974) féle fenológiai kódrendszer alapján a búza 89-es (teljes érés) állapotában, száraz talajállapotban (aggregátum stabilitás);
- 2015. október 27-én az őszi árpa vetése előtt alacsony nedvességtartalmú talajállapotban (~15 % nedvességtartalom) (MBC, FDA, aggregátum stabilitás,);
- 2016. április 13-án, a *Zadock* (1974) féle fenológiai kódrendszer alapján az őszi árpa 47-es (a zászlóslevél hüvelye megnyílik) állapotában, szárazabb talajállapotban (~ 7% nedvességtartalom) (MBC, FDA, aggregátum stabilitás);
- 2016. október 29-én az őszi árpa aratása után, nedvesebb talajállapotban (~18 % nedvességtartalom) (MBC, FDA, aggregátum stabilitás, humuszminőség).

A humuszmenyiség meghatározása 2013-as mintavételből történt.

A mintavétel után a talajokat teljesen le nem zárt nylon zacskókban, hűtőszekrényben tároltam 4-6 hétig.

#### **4.5. Mérési módszerek**

##### **4.5.1. Talajfizikai mérés**

##### **A talaj aggregátum stabilitásának mérése**

A mintákat légszáraz állapotban a Retsch AS200 Digit szitarázón átszitáltam. Majd nedves szitálásos módszerrel az Eijkelkamp Agrisearch Equipment (Hollandia) által forgalmazott, „Wet Sieving Apparatus” nevű nedves szitarázóval vizsgáltam tovább. Ebben 8 darab, 250

mikronos lyukméretű, műanyag házú, fémszövetes szita található. A készülék 34/perces ütemmel, 13 mm-es teljes lökethosszal működik.

Ennél a készüléknél a sziták a talajmintával együtt mozognak, a vizes fázis pedig álló helyzetben marad. A minták előkészítéséhez *Kemper és Koch* (1966) módszerét alkalmaztam, tehát 1 és 2 mm között átszitált frakciót használtam a méréshez. A minták 250 mikronos szitákba kerültek, majd a készüléket öt percig járattam. Aztán a mintákat főzőpohárba átmostam, 105 °C-on szárítottam. Az ezt követő visszamérés után 0,1 M Na-pirofoszfáttal kezeltem a mintákat, és újból a szitákba mostam őket, így csak a 250 mikronnál nagyobb frakció (homok) maradt fenn. Megint szárítottam és így megkaptam a homok frakció tömegét, majd a stabil aggregátum %-os meghatározásához a következő számítást végeztem el:

Stabil aggregátum % =  $\{[\text{stabil frakció (g)} - \text{homok frakció (g)}] / \text{bemért talaj (g)} - \text{homok frakció (g)}\} \times 100$  (DUNAI *et al.*, 2012)

#### **4.5.2. Talajkémiai mérések**

##### **Szerves szén (humusz) mennyiség mérése**

A talaj humusztartalmát az *MSZ 08-0452:1980: Szervesanyag-tartalom meghatározás talajban* szabvány szerint történt. A káliumos-bikromátos kénsavas oxidációjával a talajok összes szervesanyag-tartalma határozható meg, és abból számítható 1.724 szorzófaktorral a talaj humusztartalma. A méréseket 2013-ban végezték az általam vizsgált kísérleti terület talajmintáiból, újabb mérések azóta nem történtek, vizsgálatom során ezért ezeket az adatokat használtam.

##### **Szerves szén (humusz) minőség, E4/E6 módszer**

A humuszminőség méréseire az E4/E6 módszert használtam (KONONOVA, 1966, SCHNITZER, KAHN, 1989, KIM, 2003, ENEV, 2014). 5 g talajból 200 ml 0,5 %-os NaOH oldattal kioldottam a humuszanyagokat, majd ülepités után a felülúszók fényelnyelését mértem 465 és 665 nm hullámhosszknál (Hitachi U-1100 spektrofotométer). A két abszorpció hányadosa az E4/E6 érték, amely a humuszanyagok érettségét mutatja. Ha a kapott érték 7 vagy annál nagyobb, akkor a kis molekulájú fulvo- és huminsavak dominálnak, ha az érték 3-5 vagy alacsonyabb, akkor a nagyobb molekulájú, jobb minőségű huminsavak vannak túlsúlyban.

### 4.5.3. Talajbiológiai mérések

#### Talaj mikrobiális biomassza mérése kloroform fumigációs módszerrel

A mikrobiális biomassza mérését *Vance et al.* (1987) leírása alapján végeztem. Röviden: A talajmintákat kettéosztottam, egyik részt fumigáltam kloroformmal 24 órán keresztül vákuum exszikkátorban, a másik részt nem. A szerves szenet 0,5 M kálium-szulfát oldattal extraháltam ki és kénsavas kálium-dikromátos roncsolás után a fumigált és fumigálatlan mintákban egyaránt megmértem. A különbségekből a mikrobiális biomassza széntartalma egy korrekciós faktorról (kEC) meghatározható. A különböző talajok vizsgálata alapján *Vance et al.* (1987) által javasolt érték (kEC= 0,38) széleskörűen elfogadott.

#### Talaj mikroorganizmusok aktivitásának mérése FDA módszerrel

A fluoreszcein diacetát (FDA) bontó aktivitás mérést *Alef és Nannipieri* (1998) módszere szerint végeztem. Röviden: a természetes nedvességtartalmú talajból mintánként 1g-ot mértem be, 20 ml 7,6 pH értékű tri-nátrium foszfát puffert hozzáadtam, majd 10 µg FDA/ml végkoncentrációra állítottam be FDA-oldattal. A talaj szuszpenziót egy órán keresztül rázattam szobahőmérsékleten (23 °C) 120 rpm-n. Az enzimreakciót 20 ml aceton hozzáadásával állítottam le, úgy hogy az aceton végkoncentrációja 50 % (v/v) legyen. A mintákat 12 percig centrifugáltam 4000 rpm-n, majd a tiszta felülúszó fényelnyelését 490 nm-en mértem (Hitachi U-1100 spektrofotométer).

A méréseket 3 ismétlésben végeztem el.

### 4.6. Talajba kerülő szerves szén becslése

Az eltérő kezelések során talajba kerülő szerves anyagok szén mennyiségét nem mértem, viszont a szakirodalmi adatok alapján becsléseket végeztem. Az adott évre becsült bekerülő összes szerves szén hatását a következő évekre vizsgáltam. A szén mennyiségeket az alábbi módokon becsültem.

A szár és szalma széntartalmát a következő módokon számoltam (a szalma és szár mérése a betakarításkor megtörtént, így ez az adat rendelkezésemre állt):

- Árpa esetében a szár 0,95 %-os N tartalmából (KÁDÁR, 2012) 90:1 C:N aránnyal számoltam (TERBE, 2019 a kalászos tarlómaradvány C:N arányát 50-200:1 határozza meg, de 80:1 arányszámot is találtam (BALLWEG et al., 2020), ezért 90:1-es arányt használtam).

- Kukorica esetében a szár 1 %-os N tartalmából (KÁDÁR, 2012), 45:1 C:N aránnyal (ANTAL, 2005) számoltam.
- Búza esetében 360 mg g<sup>-1</sup> C tartalommal számoltam (YAN et al., 2015).

A gyökér és rizodepozit szén mennyiségét a  $k_{rec}$  koeficiens segítségével számoltam, mely alapján: gyökér C + rizodepozit C =  $k_{rec}$  x (termés C + föld feletti részek C). A  $k_{rec}$  értéke búzára, kukoricára és árpára egyaránt 0,60 (JOHNSON et al., 2006). Ehhez a termések széntartalmát a következő módokon számoltam:

- Árpa: szemtermés N tartalma: 2,41 % (KÁDÁR, 2021) melyből, 20,3:1 C:N aránnyal (RADERSCHALL, GEBHARDT, 1990) számoltam.
- Kukorica: 465 g kg<sup>-1</sup> (MA, DWYER, 2000)
- Búza: 330 mg g<sup>-1</sup> (YAN et al., 2015).

Az istállótrágya széntartalmát a következők szerint határoztam meg. 10 t közepes minőségű istállótrágya 35 kg N-t tartalmaz, 20-25 közötti C:N aránnyal. A köztes 22,5 aránnyal számolva a kijuttatott 35 t istállótrágya 2756,25 kg szerves szenet jelent (ANTAL, 2005). Mivel azonban az istállótrágya feltáródása több éves folyamat, így az alábbi megoszlás szerint számoltam: 1. év: 55 %, 2. év: 30 %, 3. év: 10 % (KALOCSAI et al., 2007).

Az olajretek széntartalmát *Kismányoky, Tóth* (2006) IOSDV kísérletben 1997-2002 között végzett olajretek mérési adataiból számítottam. Mivel az adatok az általam vizsgált kísérletből származnak, így az általuk mért olajretek N tartalmak alapján, 12:1 C:N aránnyal számoltam (BALLWEG et al., 2020).

#### 4.7. Eredmények statisztikai értékelése

A mérési eredményeket SPSS Student Version 15.0 statisztikai programmal, valamint Microsoft Office Excel programmal értékeltem ki az alábbi statisztikai módszereket használva:

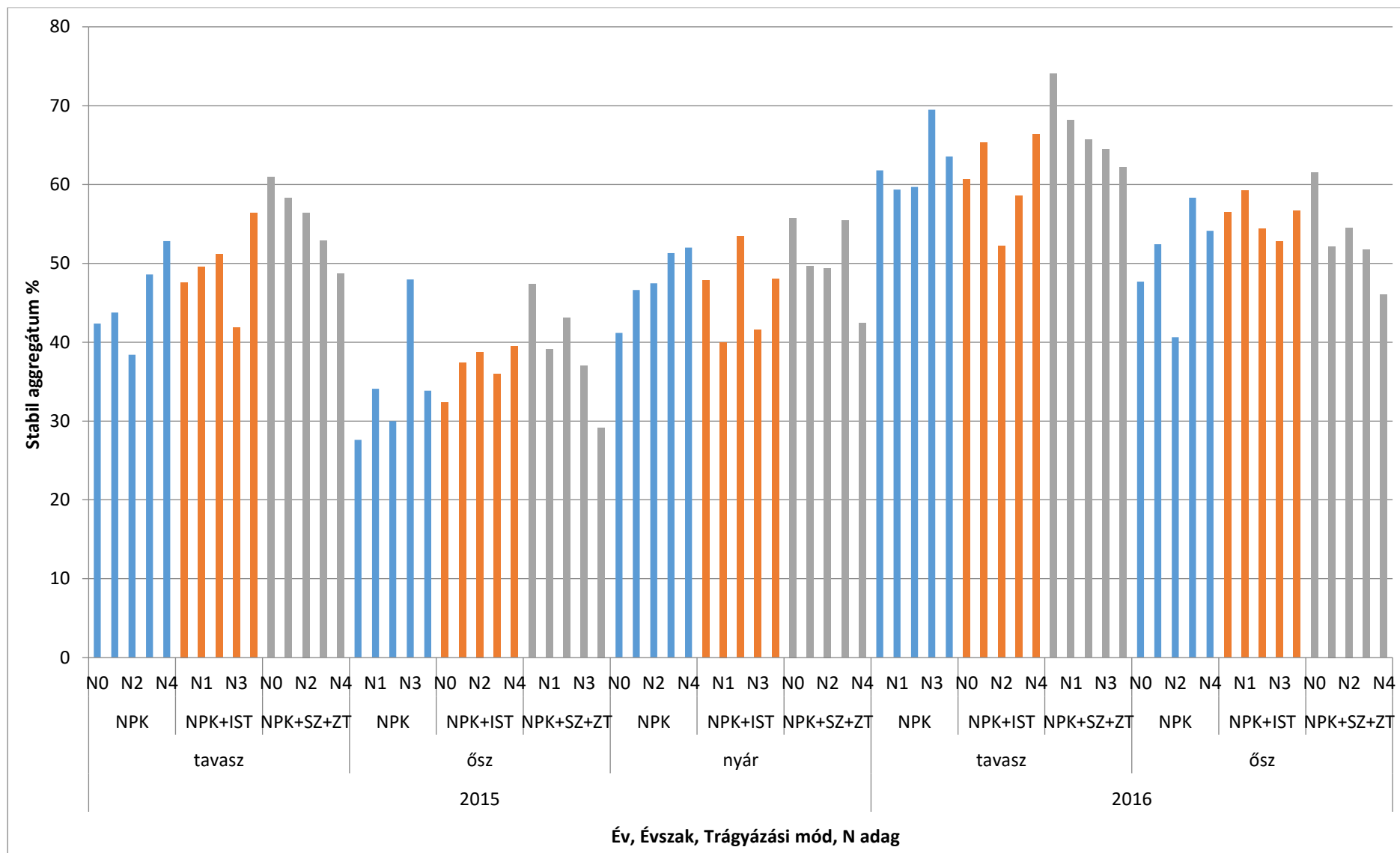
- varianciaanalízis (kettő-, három- és négytényezős),
- variációs koeficiens érték (CV),
- Duncan teszt
- korrelációanalízis

## **5. Vizsgálati eredmények**

### **5.1. A talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak változása**

#### **5.1.1. Aggregátum stabilitás**

Az aggregátum stabilitás 5 mintavételének összesített átlagértékeit a 7. ábra szemlélteti. A stabil aggregátum %-os értéke jóval egyenletesebben alakult a 2 év során, mint a mikrobiális biomassza változása. Több esetben is látszik a szerves kiegészítés talajszerkezetre gyakorolt pozitív hatása, azonban a csak műtrágyás változat is több esetben mutat magasabb átlagértékeket. A legnagyobb aggregátum stabilitási % átlagértékek a szárleszántás+zöldtrágya szerves kiegészítés esetében adódtak. A nitrogén adagok hatása nagy változatosságot mutat.



7. ábra: Aggregátum stabilitás átlageredményei (2015-2016)

### **Az aggregátum stabilitás átlagértékei**

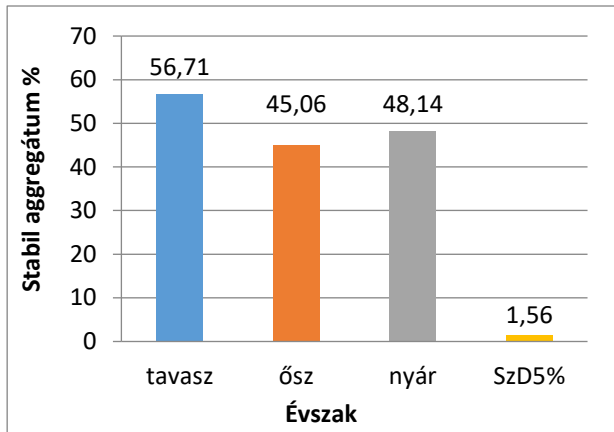
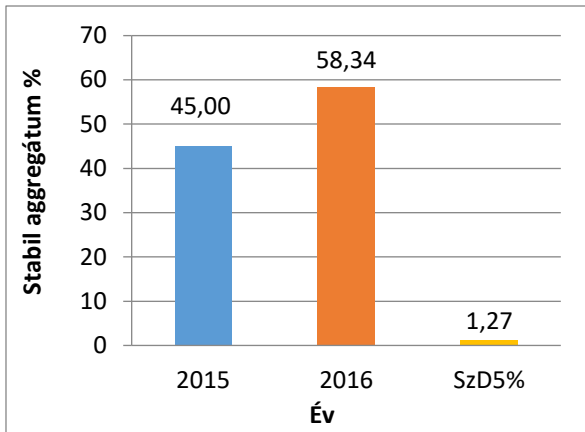
A két év stabil aggregátum % mérési eredményei szignifikánsan eltérnek egymástól, 2016-ban átlagosan 23 %-kal magasabb értékeket mértem. Az aggregátum stabilitásra az évszakhatás is jelentősnek mondható, tavasszal mértem a legmagasabb értékeket, ennél 16 %-kal kevesebb átlagértéket mértem nyáron, és 21 %-kal kevesebbet ősszel (8.a. ábra).

Az öt mérés átlagát vizsgálva csak a szárleszántás+zöldtrágya szerves kiegészítés hatására volt releváns különbség. A csak műtrágyázott változathoz képest 9 %-kal, az istállótrágyás változathoz képest 6 %-kal nőtt a stabil aggregátumok aránya (8.b. ábra 1. diagram). Az összes mintavételi időpont átlagában a N műtrágya adagnak nem volt szignifikáns hatása az aggregátum stabilitásra (8.b. ábra 2. diagram).

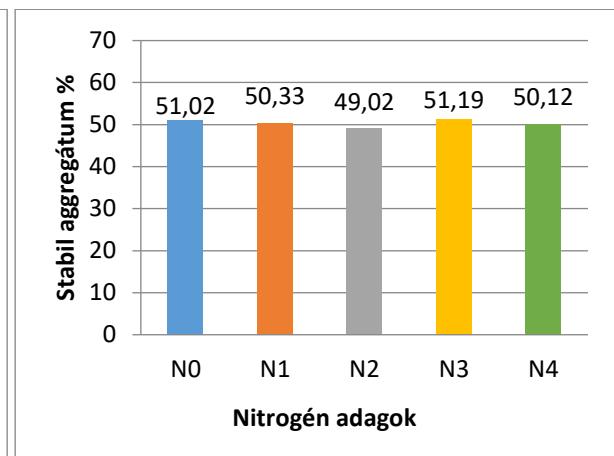
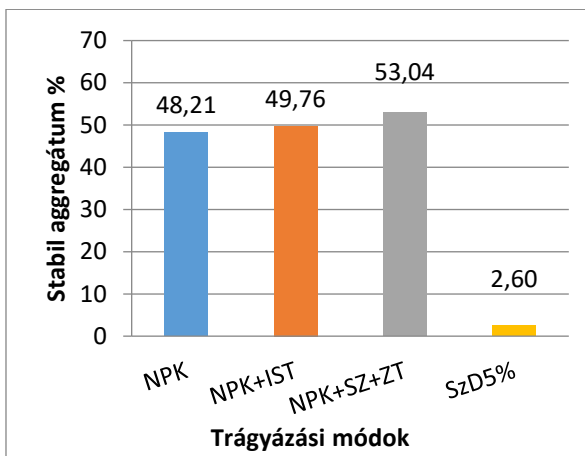
A 8.c. ábra első diagramján látható, hogy a mintavétel időpontja jelentős eltéréseket okozott a stabilitás értékekben. A 2015-ös év tavaszi és nyári stabilitás értékeit kivéve, az összes többi statisztikailag igazolhatóan eltér egymástól.

Aggregátum stabilitás kezelések szerinti átlagértékei láthatóak a 8.c. ábra második diagramján. Bár több alacsony értéket mértem a csak műtrágyás kezelések esetében, mégis az N3 adag a második legnagyobb stabilitási értéket adta (55,13 %). Valamivel magasabbak az értékek az istállótrágyázás hatására. Itt az N3 nitrogén adag adta a legalacsonyabb aggregátum stabilitás értéket, melynél a N4 adag volt szignifikánsan magasabb és egyben az istállótrágyázásos kezelések legmagasabb stabilitás értéke. A legmagasabb aggregátum stabilitást (59,93 %) a N0PK+SZ+ZT kezelésben mértem, mely az összes többi kezeléstől szignifikánsan különbözik. A szárleszántás+zöldtrágya pozitívan befolyásolja az aggregátum stabilitást, azonban a csak műtrágyázott N4 nitrogén adag (55,13 %) esetében mégis szignifikánsan magasabb stabilitást mértem, mint a legtöbb SZ+ZT kezelésnél. Az N1, N2 és N3 értékék között az SZ+ZT trágyázási kiegészítésnél nem volt lényeges különbség.

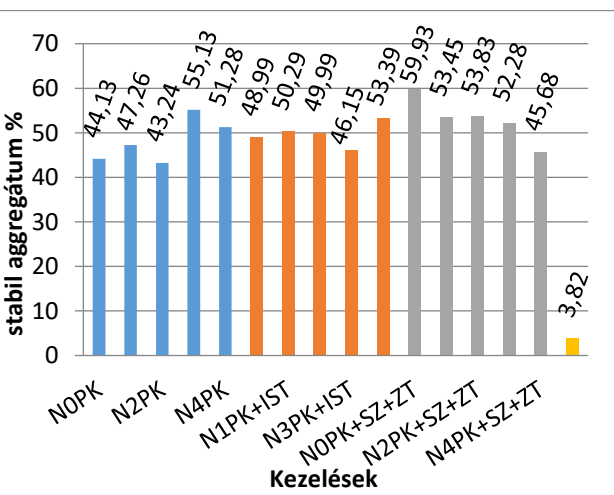
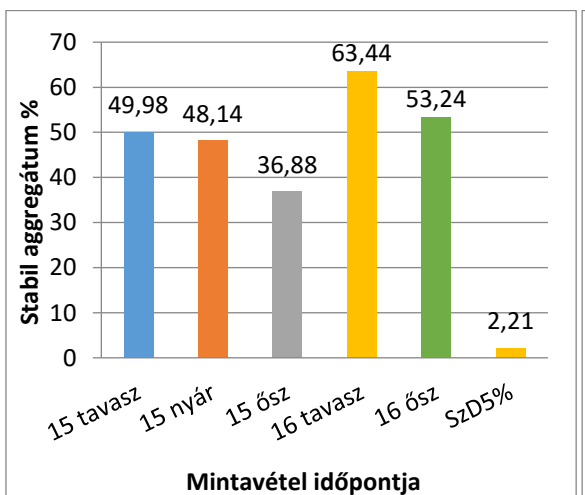
A mintavételi időpontok (év, évszak) szignifikáns hatása miatt az aggregátum stabilitás értékeit a továbbiakban mintavételi időpont szerinti bontásban is vizsgálom.



a. Mintavétel évei és évszak szerint (2015-2016)



b. Szerves kiegészítés és N adagok szerint (2015-2016)



c. Mintavétel időpontja és kezelések szerint (2015-2016)

8. ábra: Az aggregátum stabilitás átlagértékei (2015-2016)



### **Az aggregátum stabilitás átlagértékei trágyázási módok szerint**

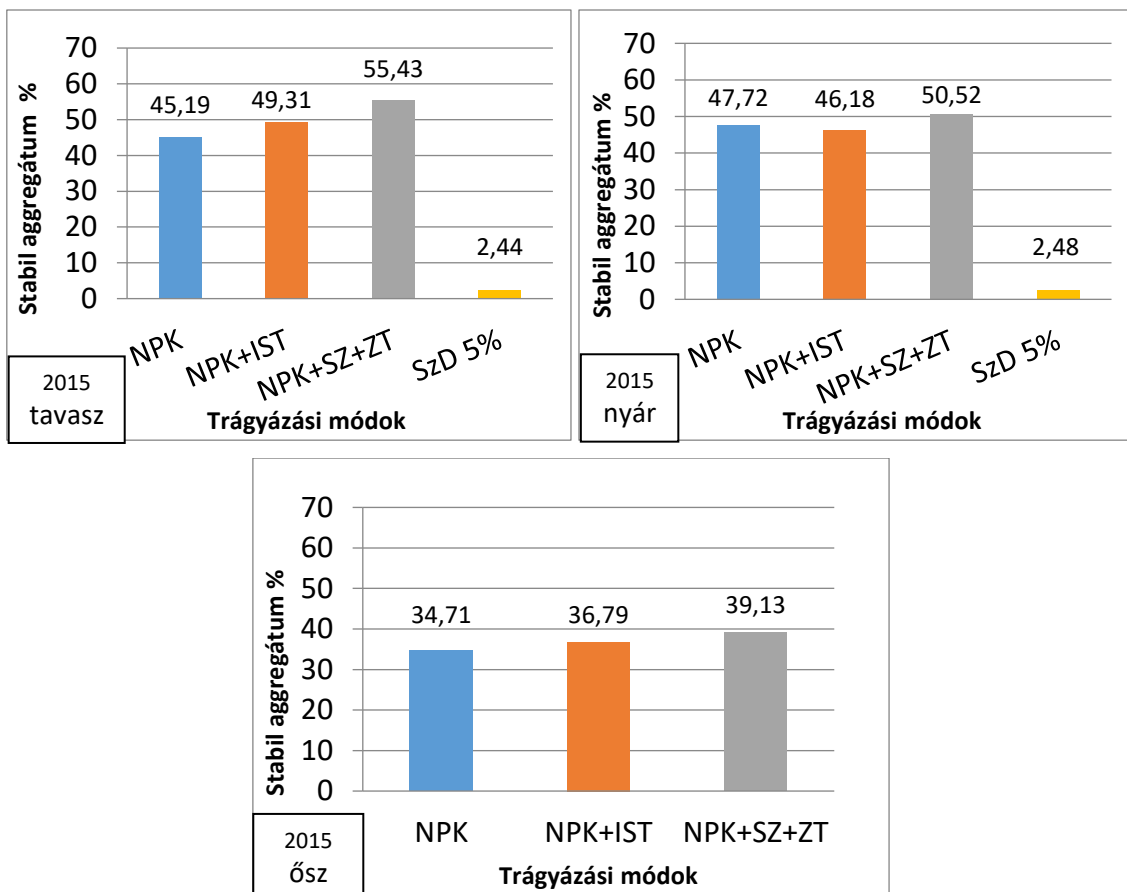
A 2015-ös tavaszi mintavétel vizsgálati eredményei azt mutatták, hogy a szerves kiegészítések pozitív hatással voltak a stabil aggregátum % értékekre. Az NPK kezelésekhez képest az istállótrágya alkalmazása 8,6 %-kal, a szárleszántás+zöldtrágya 18,5 %-kal eredményezett magasabb aggregátum stabilitást.

A 2015-ös nyári mintavétel esetében egyedül az NPK+SZ+ZT kezelés eredményezett a többinél szignifikánsan nagyobb stabilitást. Az NPK és NPK+IST között csekély eltérést mértem, ahol az NPK kezelés magasabb stabilitást mutatott.

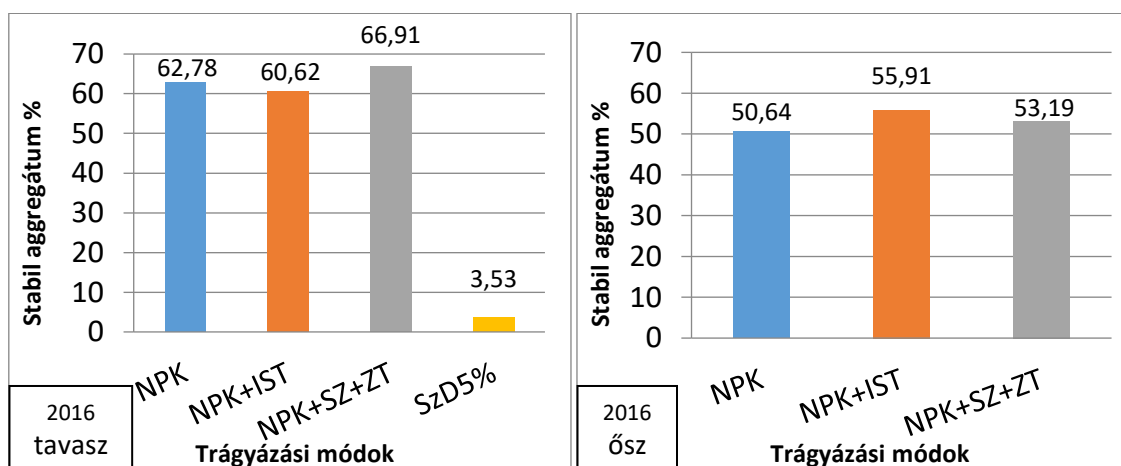
A 2015-ös év őszi mintáinak aggregátum stabilitás értékei a szerves kiegészítések hatására sem mutattak szignifikáns eltérést, de egy enyhe emelkedő tendenciát láthatunk (9. *ábra*).

A 2016-os év tavaszi mérései a 2015-ös nyári eredményekhez hasonló tendenciát mutatnak, de magasabb stabilitási átlagértékekkel. Egyedül a szárleszántás+zöldtrágya szerves kiegészítés volt szignifikánsan pozitívabb hatással a stabil aggregátum % értékekre. Az NPK+IST változatnál 10 %-kal, az NPK változatnál 6 %-kal volt itt magasabb a stabilitás értéke. Érdekes, hogy az istállótrágyás kiegészítés alacsonyabb stabilitást mutat, mint a csak műtrágyázott változat, bár a különbség nem jelentős.

A 2016-os őszi aggregátum stabilitás eredményeknél ismét nem találtam szignifikáns eltérést, érdekes azonban, hogy az istállótrágya kiegészítés átlagértékei lettek a legmagasabbak (10. *ábra*).



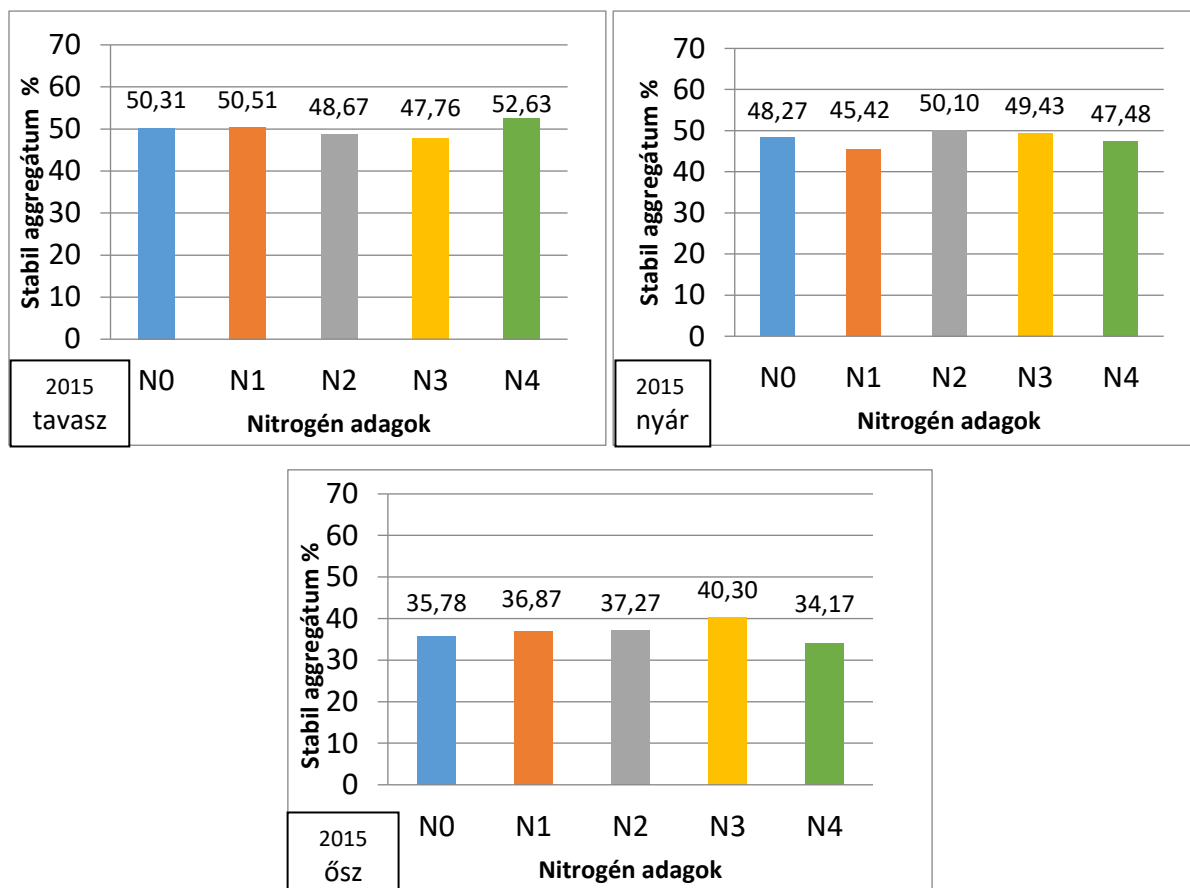
9. ábra: Aggregátum stabilitás átlagértékei trágyázási módok szerint (2015 tavasz, nyár, őszi)



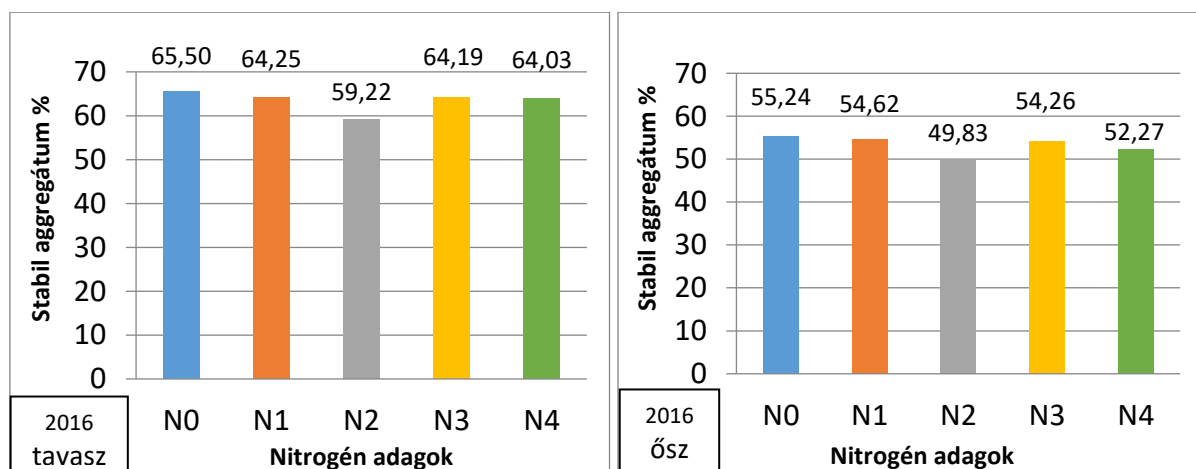
10. ábra: Aggregátum stabilitás átlagértékei trágyázási módok szerint (2016 tavasz, őszi)

### Az aggregátum stabilitás átlagértékei nitrogén adagok szerint

A nitrogén adagok egyik vizsgálat során sem befolyásolták statisztikailag is igazolható módon az aggregátum stabilitást. Az azonban megfigyelhető, hogy az esetek többségében az N2 nitrogén adagnál mértem a legkisebb stabil aggregátum %-ot (11.,12. ábra).



11. ábra: Aggregátum stabilitás átlagértékei nitrogén adagok szerint (2015 tavasz, nyár, ősz)

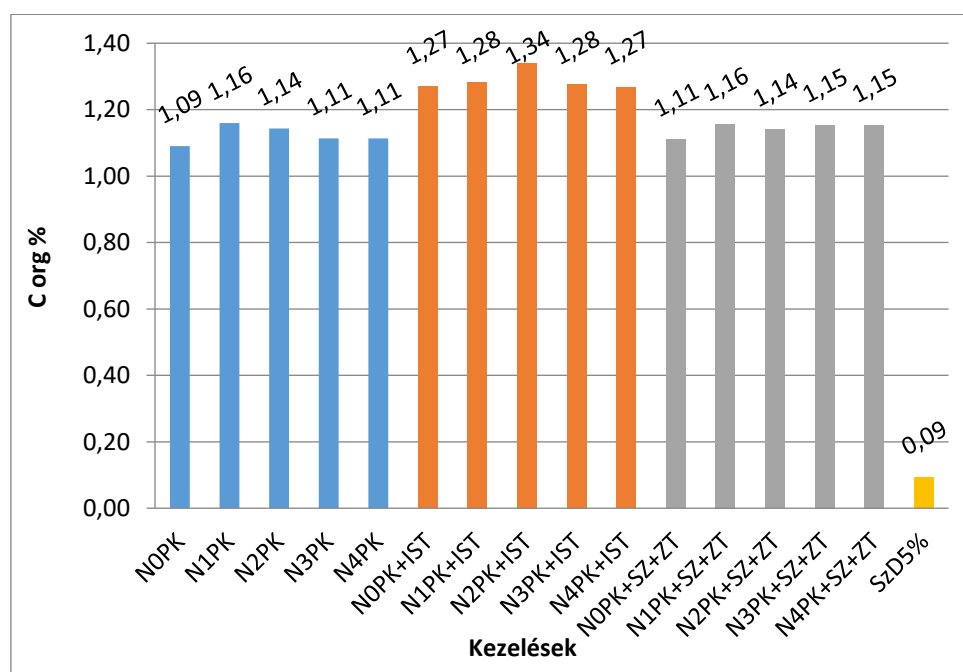


12. ábra: Aggregátum stabilitás átlagértékei nitrogén adagok szerint (2016 tavasz, ősz)

## 5.1.2. Talaj szerves szén tartalma

### A talaj szerves szén tartalmának átlagértékei kezelések szerint

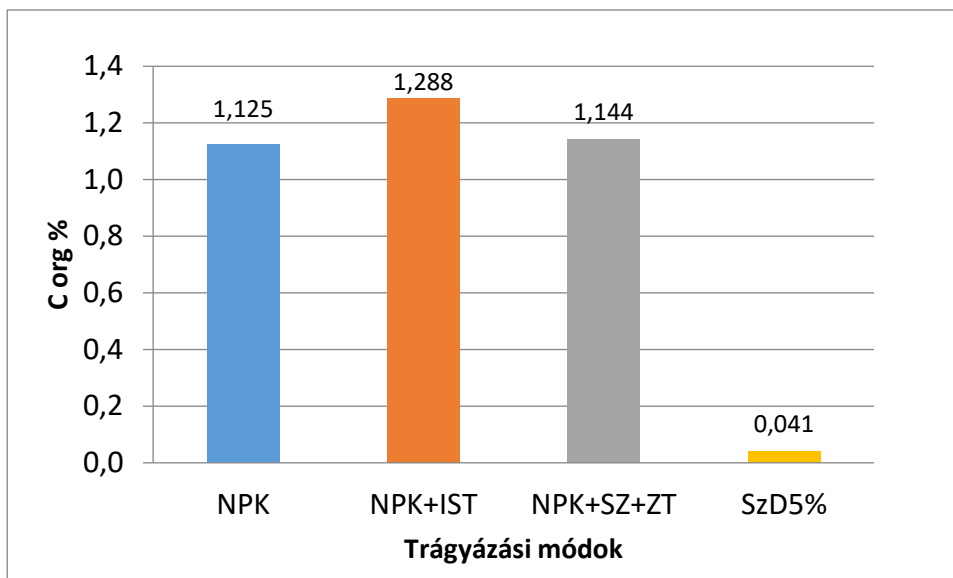
A trágyázási tartamkísérlet kezeléseinek statisztikai értékelése alapján az istállótrágyás szervesanyag-kiegészítés szignifikánsan pozitív hatással volt a talaj szervesanyag-tartalmára, míg a többi kezelés között statisztikailag nem mutatható ki eltérés. A legmagasabb szerves széntartalmat az istállótrágyázott közepes nitrogén adagú kezelés átlaga (N2PK+IST) adta, mely 15 %-kal több a legalacsonyabb értéknél (N0PK). Az azonos trágyázást kapó kezelések között szignifikáns különbség nem mutatható ki. (13. ábra)



13. ábra: Szerves széntartalom átlagértékei kezelések szerint (2013)

### A talaj szerves szén tartalmának átlagértékei trágyázási módok szerint

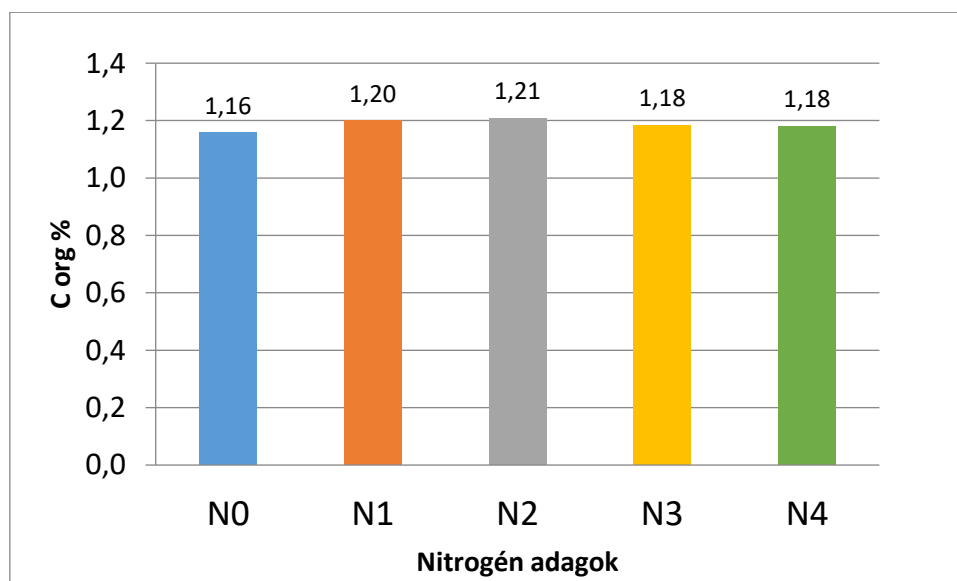
A szervestrágya-kiegészítést kapott kezelések talajában az átlag 1,29 %, szignifikánsan magasabb a kiegészítést nem kapott (1,13 %) vagy alászántott kezelések (1,14 %) átlagánál. Az NPK és NPK+SZ+ZT parcellák átlagai között nincs jelentős különbség (14. ábra).



14. ábra: Szerves széntartalom átlagértékei trágyázási módok szerint (2013)

#### A talaj szerves szén tartalmának átlagértékei nitrogén adagok szerint

A műtrágya adagnak nem volt szignifikáns hatása a talaj szerves széntartalmának mennyiségére. Tendenciaszerűen látszik, hogy a műtrágyát nem kapott kezelés (N0) átlagánál (1,16 %) a nagy műtrágyaadagok (N3, N4) átlaga (1,18 % és 1,18 %) és a kisebb műtrágyaadagú kezelések (N1 és N2) átlaga is magasabb (1,20 % és 1,21 %) (15. ábra).

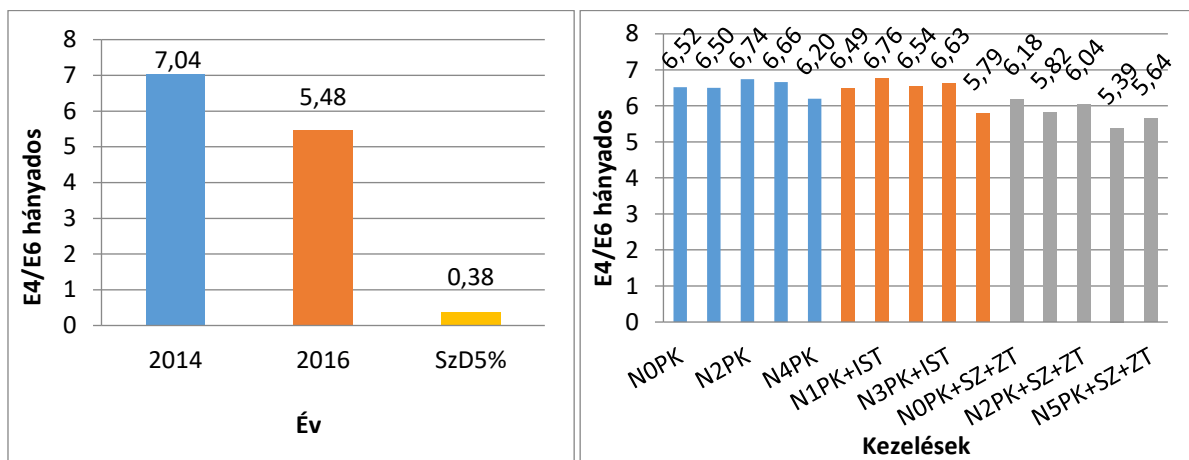


15. ábra: Szerves széntartalom átlagértékei N adagok szerint (2013)

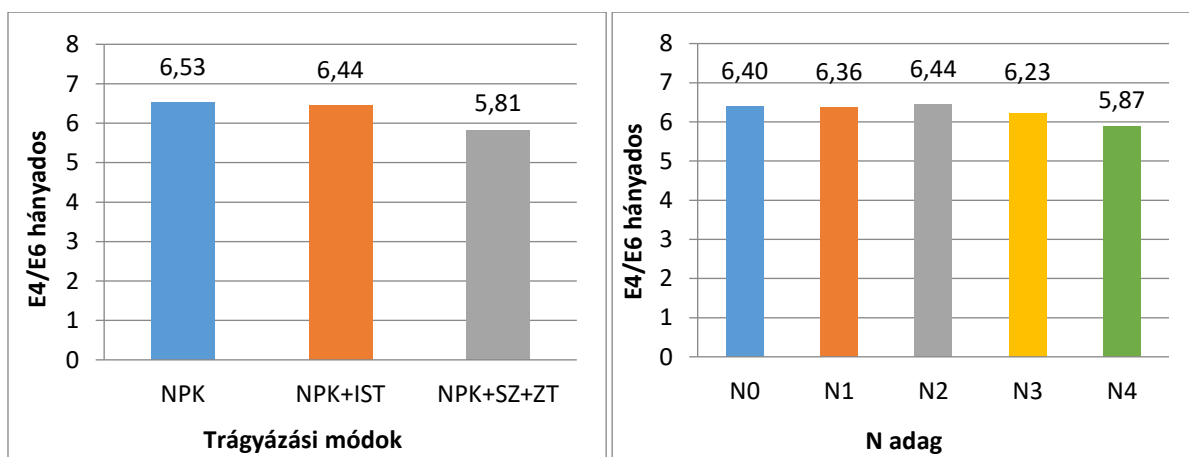
### 5.1.3. Humuszminőség (E4/E6 hányados)

#### Humuszminőség átlagértékei

A két mintavételből származó humuszminőség vizsgálatok átlageredményeit a 16. ábra szemlélteti. Az összesített átlagok esetében a mintavétel időpontja okozott szignifikáns eltérést, míg a többi változónál nem mutatható ki szignifikáns különbség. Még ha nem is szignifikánsan, de azért kirajzolódik, hogy a szerves kiegészítések pozitívan befolyásolják a humuszminőséget, hiszen hatásukra csökken az E4/E6 hányados átlagértéke. A N adagok hatására jelentősebb különbségek nem alakultak ki, érdekes azonban, hogy az N4, azaz a túlzott N ellátásban részesülő kezelés humuszminősége bizonyult jobbnak.



a. Humuszminőség átlagértékei mintavétel éve és kezelések szerint



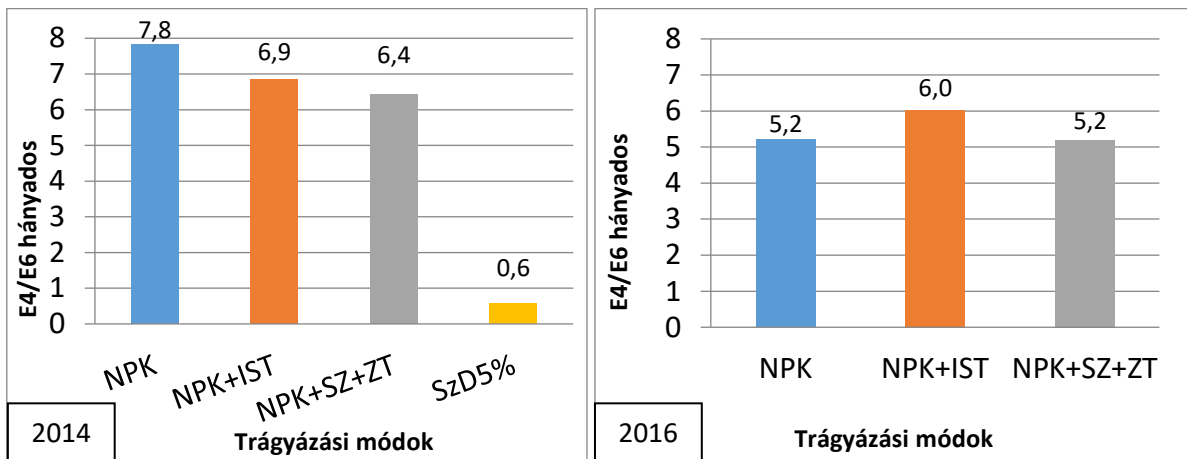
b. Humuszminőség átlagértékei szerves kiegészítés és N adagok szerint

16. ábra: Humuszminőség átlagértékei (2014 és 2016)

## Humuszminőség átlagértékei szerves kiegészítés szerint

A 2014-es mérési adatok statisztikai értékelése szerint a szerves kiegészítés szignifikánsan befolyásolta az E4/E6 hányadost. A csak műtrágyát kapott kezelésekben az átlag értéke 7,8, ami szignifikánsan különbözik a szerves trágya (NPK+IST) (6,9) és alászántott (NPK+IST+ZT) kiegészítés (6,4) átlagértékeitől. Utóbbi kettő átlagérték szignifikánsan nem különbözik.

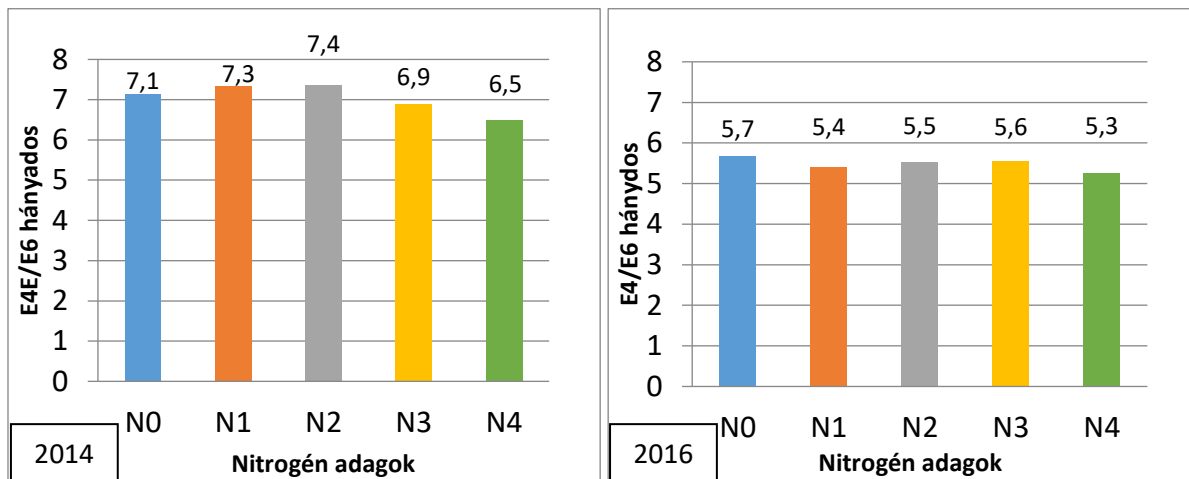
A 2016-os humuszminőség mérés azonban nem mutatott szignifikáns eltérést, és a tendencia is megváltozott, mivel az istállótrágyás (NPK+IST) kiegészítés esetében mértem a leggyengébb humuszminőséget, a másik kettő trágyázási mód átlagértékei pedig megegyeztek (17. ábra).



17. ábra: E4/E6 hányados átlagértékei trágyázási módok szerint (2014, 2016)

### Humuszminőség értékei nitrogén adagok szerint

A műtrágya adagnak 2014-ben és 2016-ban sem volt szignifikáns hatása az E4/E6 hányadosra. 2014-ben tendenciaszerűen látszik, hogy a műtrágyát nem kapott kezelés (N0) E4/E6 hányadosánál (7,1) a nagy műtrágyaadagok (N3, N4) E4/E6 hányadosa alacsonyabb (6,9 és 6,5), a kisebb műtrágyaadagú kezelések (N1 és N2) E4/E6 hányadosa magasabb (7,3 és 7,3). Ez a tendencia 2016-ra megváltozott, a legmagasabb hányadost az N0 nitrogén adag esetében mértem (5,7), aztán az N1, N2 és N3 hányadosok következnek növekvő sorrendben (5,4; 5,5; 5,6), és a legalacsonyabb hányadost a legmagasabb nitrogén adag (N4) esetében mértem (18. ábra).



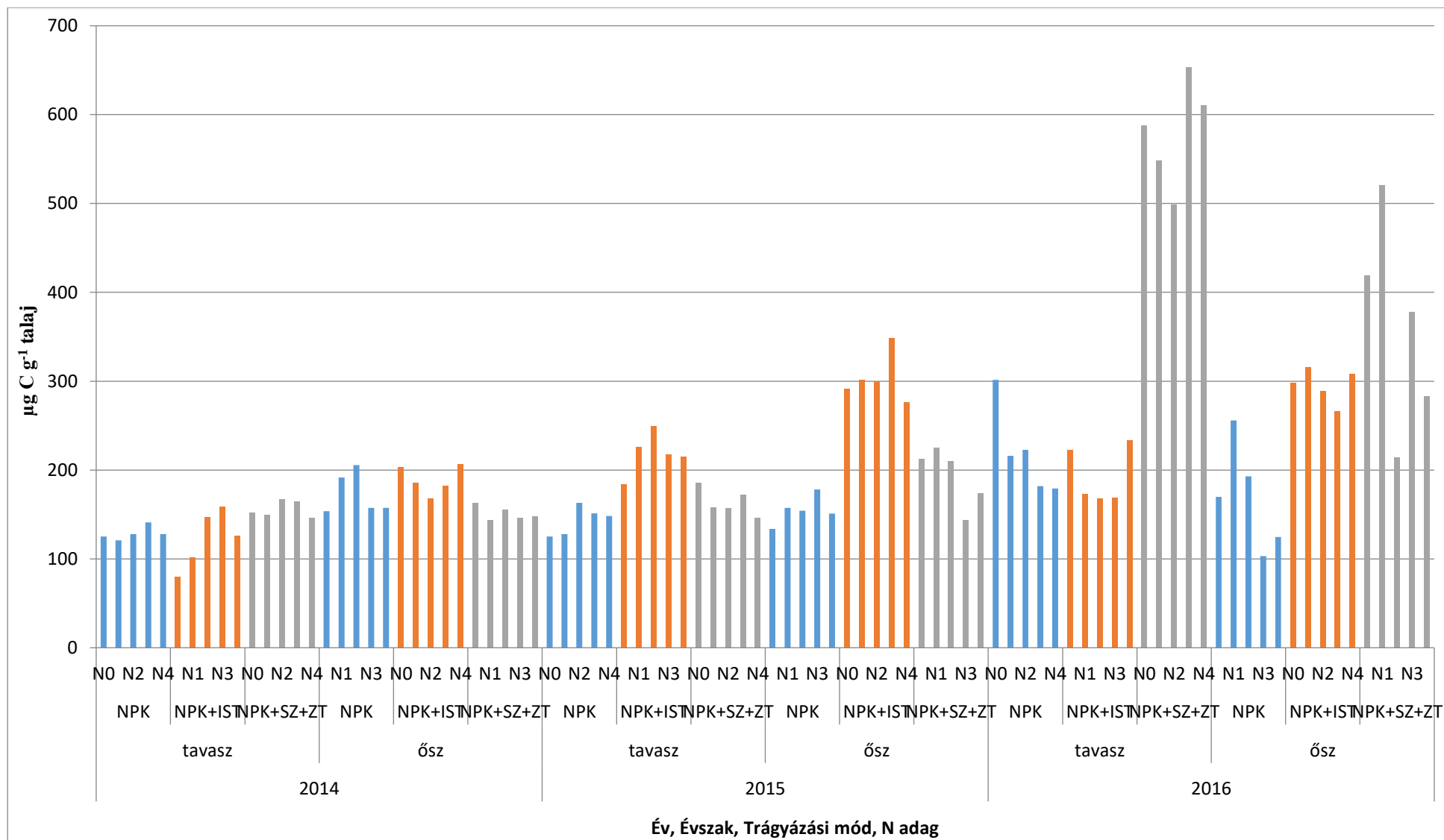
18. ábra: E4/E6 hányados átlagértékei nitrogén adagok szerint, 2014 és 2016



## **5.2. A talajok biológiai tulajdonságainak változása**

### **5.1.1. Mikrobiális biomaszatömeg**

A mikrobiális biomaszatömeg összesített eredményeit a 19. *ábrán* mutatom be. Az általam mért értékek 3 év távlatában többnyire emelkedést mutattak. Az első 2014-es eredmények esetében jelentős különbséget nem látni. Azonban 2015-től már egyértelműen megmutatkozik a szerves kiegészítések hatása a mikrobiális biomaszra tömegben. Míg az első 2 évben az istállótrágyás kiegészítés bizonyult hatékonyabbnak, az utolsó vizsgálati évben már a szárleszántás és zöldtrágya. A nitrogén adagok viszont nem bizonyultak erőteljes befolyásoló tényezőnek, és rendkívül változatos tendenciákat mutatnak.



19. ábra: A mikrobiális biomasszatömeg összesített átlagértékei (2014-2016)

### **Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei (2014-2016)**

Az évek mérési eredményeinek átlaga szignifikánsan eltér egymástól, és folyamatos növekedést figyelhetünk meg. A 2014-es évhez képest átlagosan 22 %-kal nőtt a biomassza mennyiség 2015-ben, 2016-ban pedig csaknem duplájára.

Az három év átlagértékei alapján a mikrobiális biomasszára nem volt hatással, hogy tavasszal vagy ősszel történt a mintavétel (20.a. ábra).

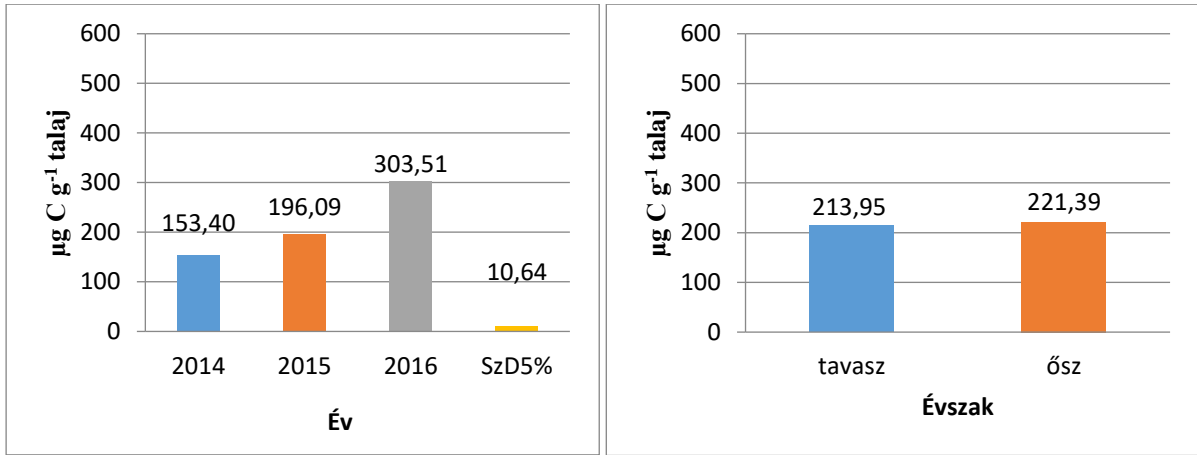
A három év összesített átlagértékei alapján a szerves kiegészítések szignifikáns hatással voltak a mikrobiális biomassza mennyiségére. A legalacsonyabb átlagértéket (164,89  $\mu\text{gC g}^{-1}$  talaj) a csak műtrágyázott (NPK) változatnál mértem, ennél 25 %-kal magasabb (196,09  $\mu\text{gC g}^{-1}$  talaj) az MBC az istállótrágyás kiegészítés (NPK+IST) és, 39 %-kal (267,74  $\mu\text{gC g}^{-1}$  talaj) a szárleszántás+zöldtrágya kiegészítés (NPK+SZ+ZT) esetében. Az eltérések minden esetben szignifikánsak.

A három év N adagok szerinti átlagértékei nem mutatnak szignifikáns eltérést (20.b. ábra).

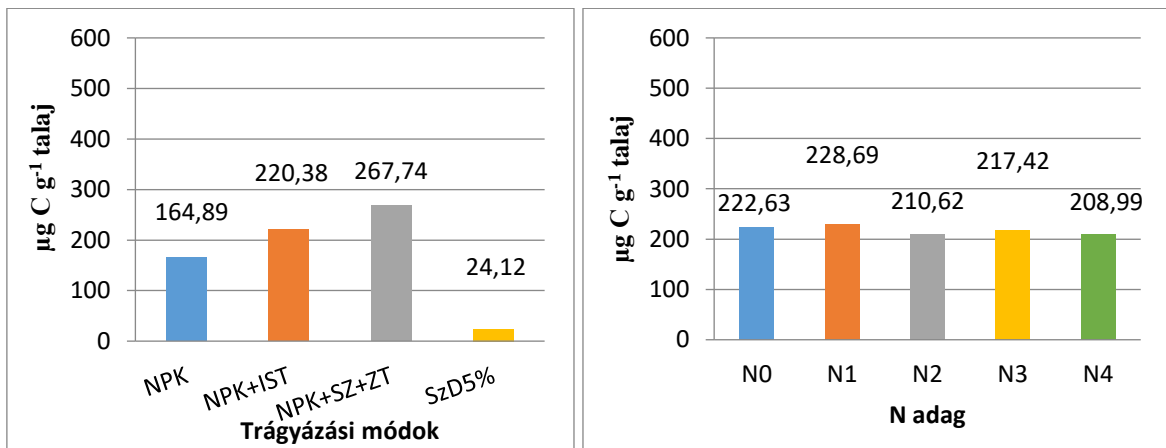
A 20.c. ábrán a mikrobiális biomassza mérések eredményét szemléltetem a mintavétel időpontja és a kezelések szerint.

Az eredmények alapján elmondható, hogy jelentős befolyásoló tényező volt a mintavétel időpontja, mivel a 2014-es őszi és 2015-ös tavaszi átlagokon kívül, mind szignifikáns különbözik egymástól.

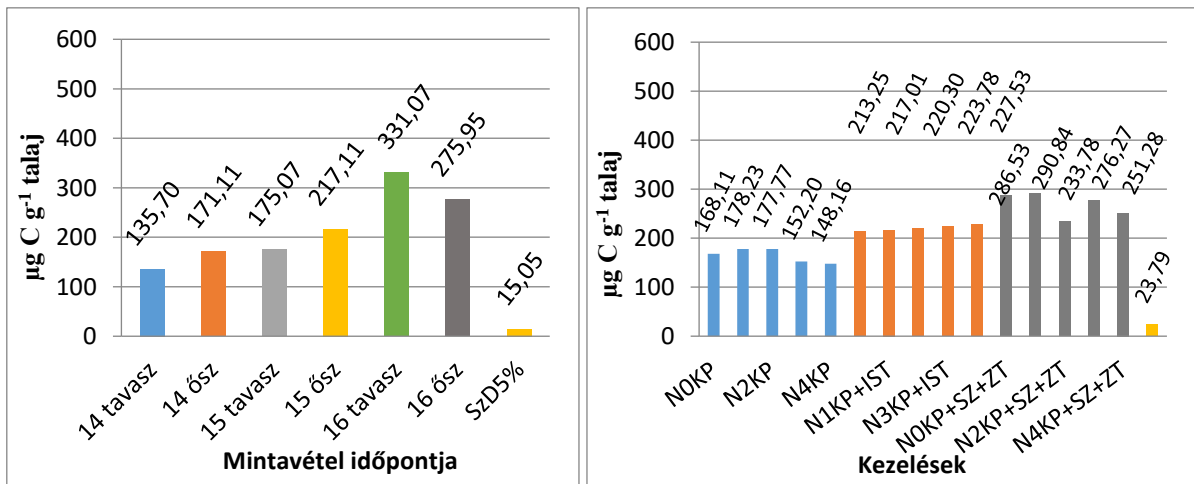
A három vizsgálati év kezelésenkénti átlagértékeinél jól látható, hogy az összesített átlagokat leginkább a szerves kiegészítések hatására tudjuk szignifikánsan elkülöníteni, míg a N adagok hatása a trágyázási módokon belül csak néhány esetben mutat szignifikáns eltérést. A csak műtrágyázott (NPK) kezelések közül az N1 nitrogén adag szignifikánsan magasabb, mint az N4 nitrogén adag. Az istállótrágyás (IST) kiegészítés esetében a nitrogén adag nagyon csekély emelkedő tendenciát mutat, ez azonban statisztikailag nem igazolható különbség. A szárleszántás+zöldtrágya (SZ+ZT) kiegészítésnél a legmagasabb biomassza értékek az N0 és N1 nitrogén adagoknál voltak, melynél szignifikánsan alacsonyabb az N2 és N4 nitrogén adag. Az N3PK+SZ+ZT kezelés szignifikánsan magasabb az N2PK+SZ+ZT és N4PK+SZ+ZT kezeléseknél.



a. Mintavétel évei és évszakok szerint (2014-2016)



b. Szerves kiegészítés és N adag szerint (2014-2016)



c. Mintavétel időpontja és kezelések szerint (2014-2016)

20. ábra: Mikrobiális biomaszatömeg átlagértékei (2014-2016)

### **Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei trágyázási mód szerint**

A 2014-es tavaszi vizsgálatban, a szerves kiegészítések nem mutattak szignifikáns eltérést a mikrobiális biomasszatömeget illetően. Valamint a csak műtrágyázott parcellákon magasabb MBC értéket mértem, mint az istállótrágyás kiegészítést kapott parcellákon. Bár a különbség statisztikailag nem igazolható (21. ábra).

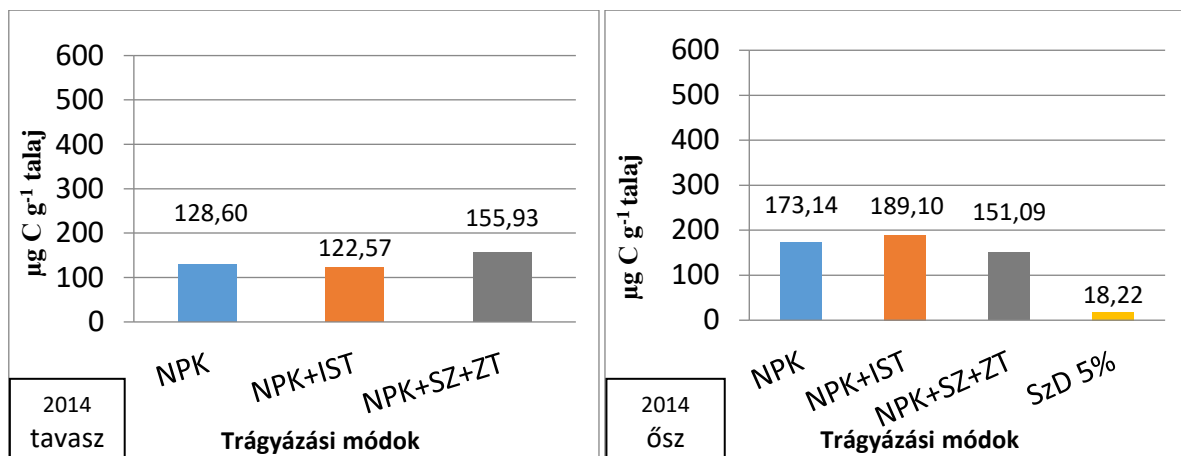
A 2014. év őszi mérésének eredményei szerint az istállótrágyás kiegészítés bizonyult a leghatékonyabbnak mikrobiális biomasszatömeg szempontjából (első éves istállótrágya hatás). Ennél a kezelésnél csak 8,5 %-kal alacsonyabb a csak NPK műtrágyás parcellák mikrobiális biomasszatömege. Ez a különbség statisztikailag nem szignifikáns. A 2014-es őszi minták esetében a szárleszántás+zöldtrágyakezelés esetén volt a legalacsonyabb a mikrobiális biomassza C mennyisége, ami a másik két kezelés eredményeinél szignifikánsan alacsonyabb (21. ábra).

A 2015-ös év tavaszi mikrobiális biomassza mérésének eredményei szerint a trágya kiegészítések statisztikailag is igazolható különbséget mutattak. A legmagasabb érték az istállótrágyás kiegészítésnél volt (második éves istállótrágya hatás), alacsonyabb volt 25 %-kal a szárleszántás+zöldtrágyás, 35 %-kal pedig a csak műtrágyás kezelés. A 2015-ös eredmények szerint már szignifikánsan magasabb volt a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés is a csak műtrágyához képest (22. ábra).

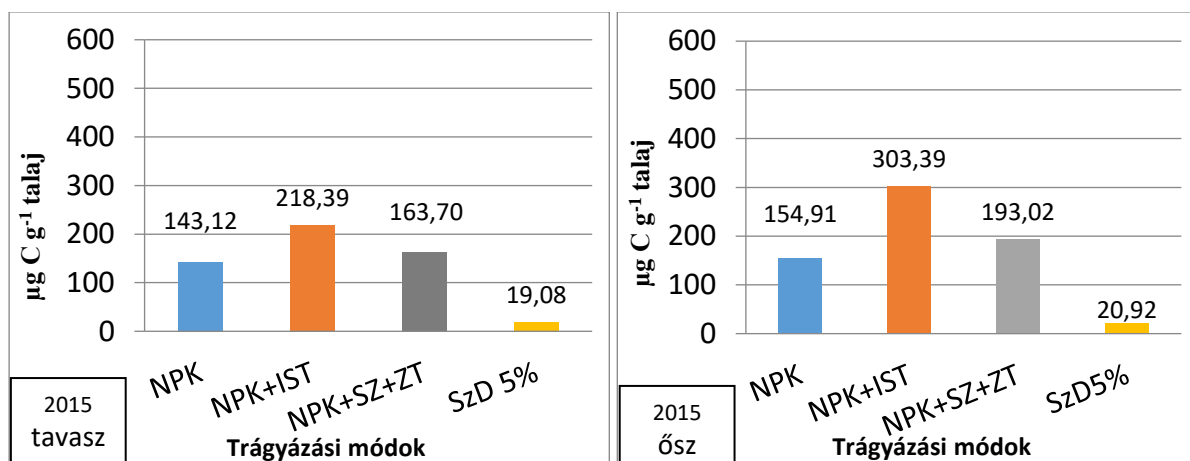
A tavaszi átlagértékekhez hasonlóan az őszinél is az istállótrágyás kiegészítés lett szignifikánsan magasabb, csaknem 50 %-kal az NPK és 36 %-kal az NPK+SZ+ZT változatokhoz képest. A csak műtrágyázott parcellákhoz képest a szárleszántás és zöldtrágyás kiegészítés 20 %-os biomassza többletet mutat (22. ábra).

A 23. ábra első diagramján a 2016-os év tavaszi átlagértékeit látjuk, ahol a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés esetében kiugróan magas eredményt kaptam. Mivel ez az érték irreálisan magasnak tűnik, így nem zárhatom ki maximálisan a mérési hibát, azonban ezt figyelembe véve is valószínű a magasabb eredmény, melyet a következő mérés is igazolt. Az NPK és NPK+IST változatok között nincs statisztikailag igazolható eltérés, az azonban látható, hogy ismét a csak műtrágyás kezelés értékeinek átlaga lett magasabb.

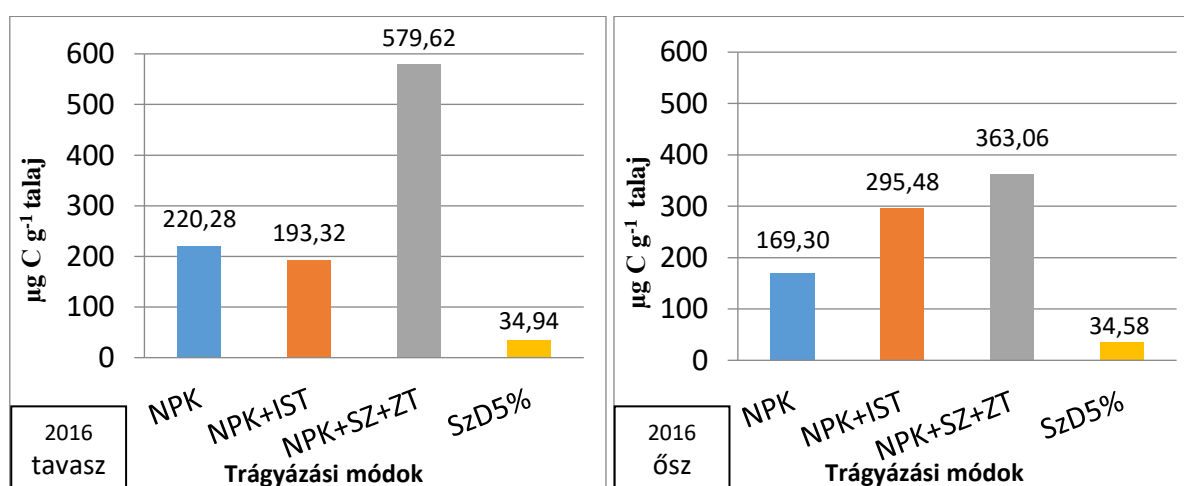
A 2016-os év őszi átlagértékei szignifikáns eltérést mutatnak mindhárom változat között. A legmagasabb átlagérték az NPK+SZ+ZT változat esetében volt. A kizárólagos műtrágyázáshoz képest 43 %-os volt a növekedés az istállótrágyás kiegészítésben, és 53 %-os a szárleszántás és zöldtrágyázás alkalmazásával (23. ábra).



21. ábra: Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei trágyázási módok szerint (2014 tavasz, őszi)



22. ábra: Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei trágyázási módok szerint (2015 tavasz, őszi)



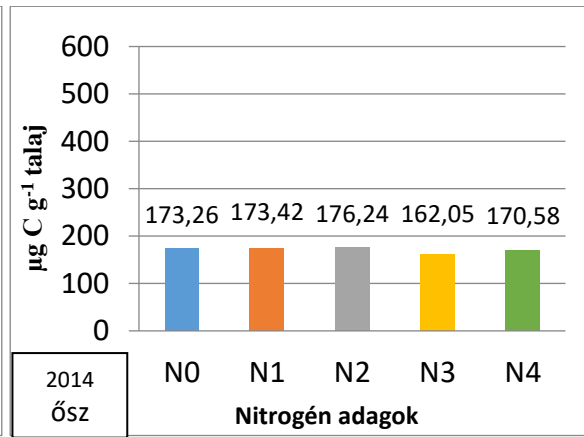
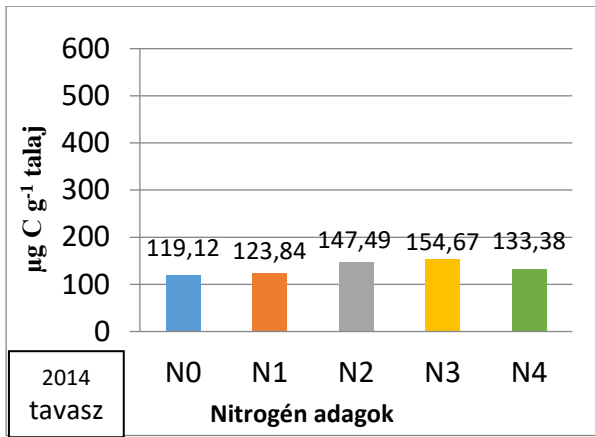
23. ábra: Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei trágyázási módok szerint (2016 tavasz, őszi)

### **Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei nitrogén adagok szerint**

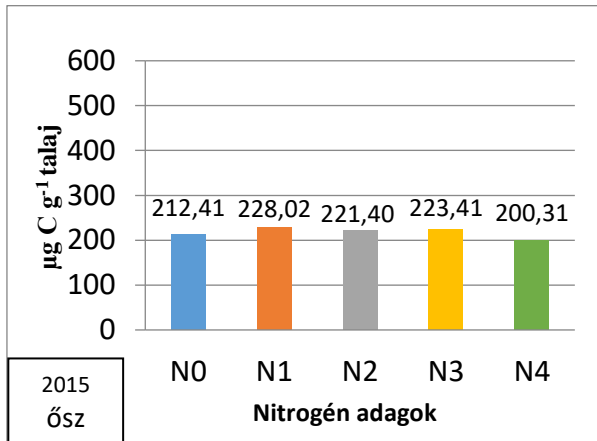
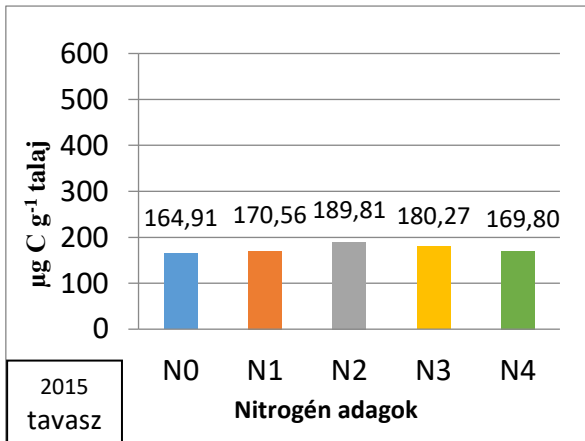
A 24. ábrán a 2014-es tavaszi és őszi mikrobiális biomassza mérések átlagértékei láthatóak a nitrogén adagok szempontjából. Az ábrán látható, hogy a szélső értékek, tehát az alacsony és a túl magas nitrogén mennyiség is alacsonyabb MBC értéket mutat, és a középső értékek, N2 és N3 pedig magasabbat. Szignifikáns különbség azonban nincs a változók között.

A 2015-ös mérési eredmények megegyező tendenciát mutatnak az előző évvel, azonban az átlagértékek magasabbak. Statisztikailag igazolható különbség itt sem adódott. (25. ábra)

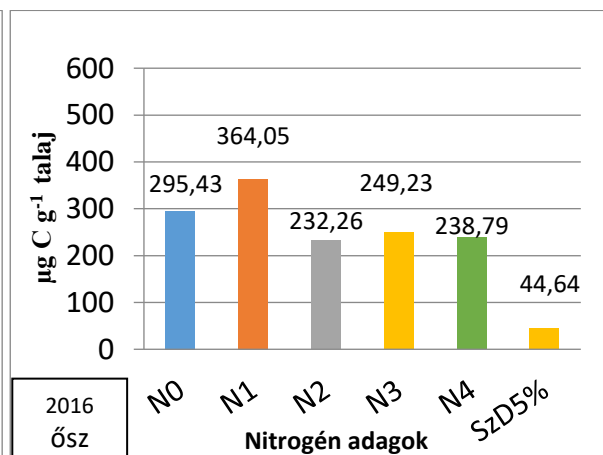
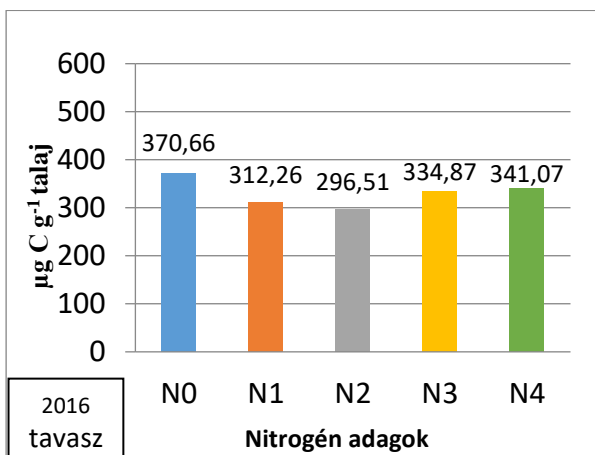
A 26. ábrán a 2016-os őszi és tavaszi minták MBC vizsgálatának nitrogén adag szerinti eredményei láthatóak. Az előző évekhez képest más tendenciát mutatnak a kapott eredmények. Itt a középső érték bizonyult alacsonyabbnak (N2), valamint a nitrogén trágyázásban nem részesülő változatok átlagértéke meglepően magas. Az őszi vizsgálatok esetében szignifikáns eltérést is találunk, mégpedig az N0 és N1 átlagok esetében, melyek magasabbak a többi értéknél. A legnagyobb átlagot az N1 adagnál mértem, ennél 19 %-kal szignifikánsan alacsonyabb az N0 átlaga.



24. ábra: Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei nitrogén adagok szerint (2014 tavasz, őszi)



25. ábra: Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei nitrogén adagok szerint (2015 tavasz, őszi)

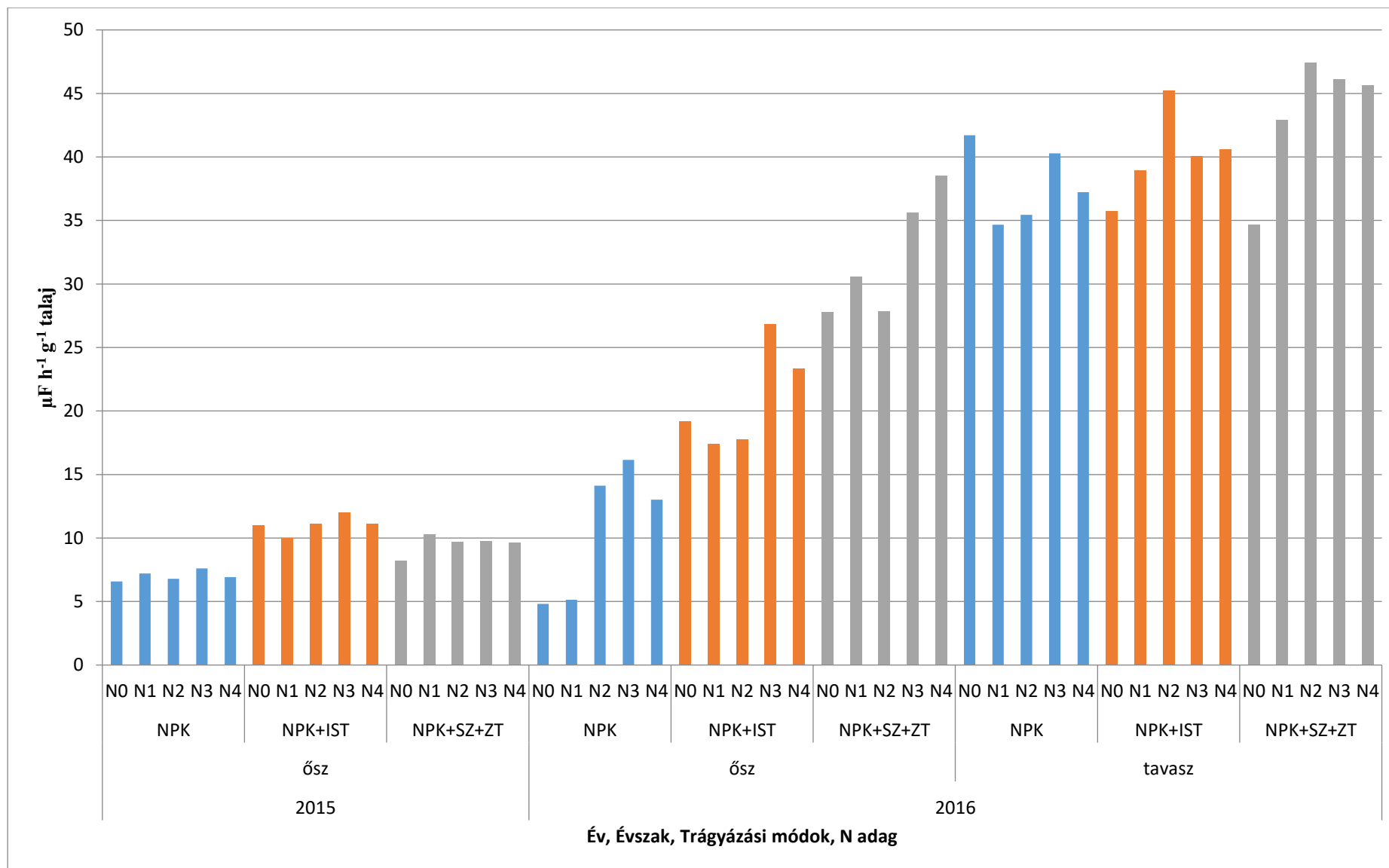


26. ábra: Mikrobiális biomasszatömeg átlagértékei nitrogén adagok szerint (2016 tavasz, őszi)



### **5.1.2. FDA (fluoreszcein-diacetát) hidrolízis aktivitás**

A 27. ábra az FDA hidrolízis aktivitás összesített mérési eredményeit mutatja be. A 2015-ös évben alacsonyabb enzimaktivitást mértem, mint 2016-ban. A diagramon jól látszik, hogy a tavasszal mért aktivitás értékek magasabbak az ősziéknél. A szerves kiegészítések magasabb aktivitást eredményeztek, de az változó, hogy melyik bizonyult hatékonyabbnak. A tavaszi mérés esetében a csak műtrágyázott változat átlagértékei is meglepően magasak. Több esetben is megfigyelhető, hogy az alacsonyabb nitrogén adagok (N0 és N1) alacsonyabb aktivitást eredményeztek.



27. ábra: FDA hidrolízis eredményeinek átlagértékei (2015-2016)

## FDA aktivitás átlagértékei 2015-2016

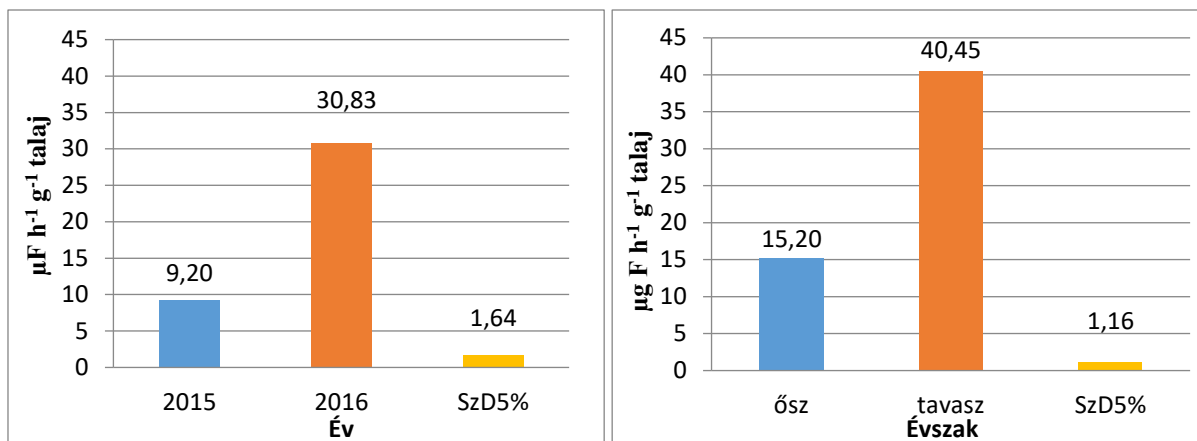
A FDA aktivitás vizsgálatának átlagértékeit a 28. *ábra* szemlélteti.

A 28.a. *ábra* diagramjai mutatják, hogy az enzimaktivitás az év és az évszakok hatására is szignifikánsan változott. 2016-ban több mint a háromszorosát mértem a 2015-ös aktivitás értékeknek. A tavaszi eredmények pedig jóval több, mint kétszeresei az őszieknek.

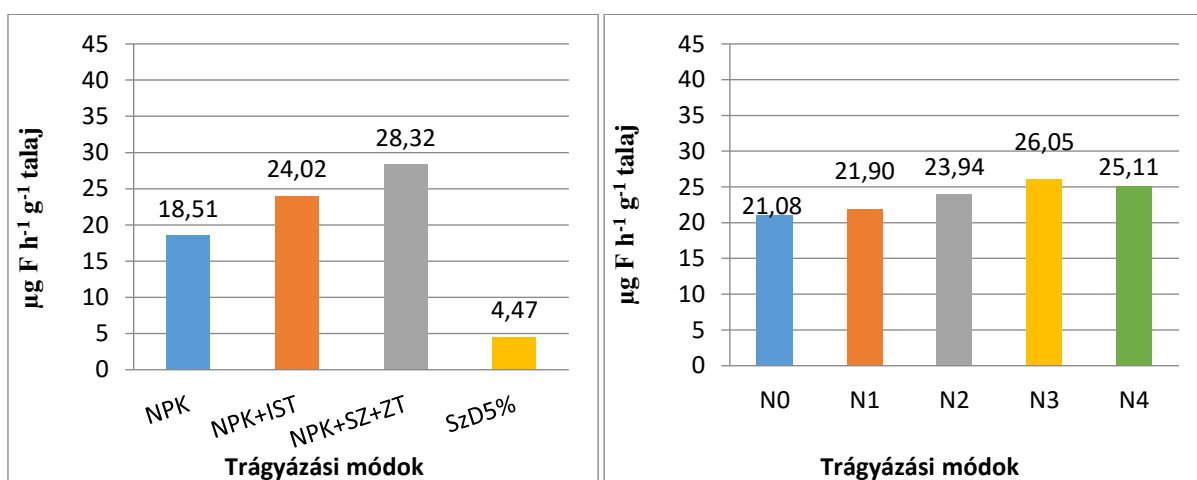
A három mintavétel enzimaktivitásának átlageredményei szerint a leghatásosabbnak a szárleszántás+zöldtrágya ( $28,32 \mu\text{F h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) alkalmazása bizonyult, melynél 15 %-kal alacsonyabb az istállótrágyás kiegészítés átlaga ( $24,02 \mu\text{F h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), azonban a különbség nem szignifikáns. A csak műtrágyázott változat azonban szignifikánsan alacsonyabb ( $18,51 \mu\text{F h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) enzimaktivitást mutatott a másik kettő trágyázási módhoz képest. A N adagok nem okoztak statisztikailag igazolható eltérést az FDA aktivitás esetében (28.b. *ábra*).

Ahogy a 28.c. *ábra* első diagramján látható, a mintavételi időpontok szerinti átlagértékek statisztikailag igazolhatóan eltérnek egymástól.

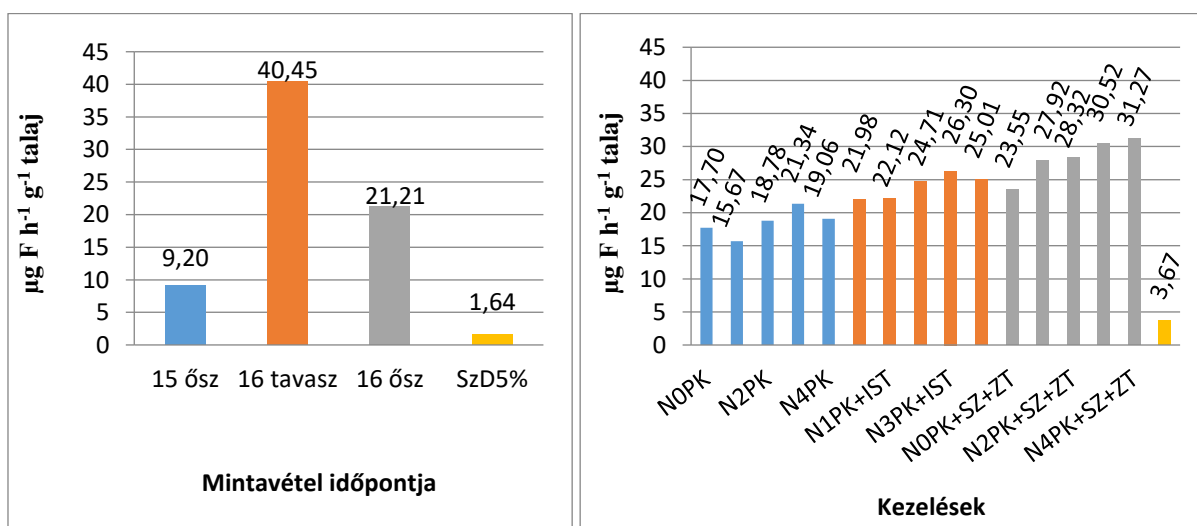
A kezelések átlagértékei alapján egész jól elkülöníthető egymástól a három trágyázási mód. A legalacsonyabb enzimaktivitás értékeket a csak műtrágyázott (NPK) kezelések adták, ennél magasabb átlagértékek jellemzőek az istállótrágyás (NPK+IST) kiegészítésnél, a legnagyobb aktivitás azonban a szárleszántás, és zöldtrágya (NPK+SZ+ZT) kiegészítésnél figyelhető meg. A különböző N adagok a csak műtrágyázott kezelésekben egy esetben mutattak statisztikailag igazolható eltérést, itt az N3 nitrogén adag mutatott magasabb enzimaktivitást az N1 adagnál. Az istállótrágyás kiegészítés esetében is a N3 nitrogén adagnál mértem a legnagyobb enzimaktivitást, ami az N0 és N1 adagoknál volt szignifikánsan magasabb. A szárleszántás és zöldtrágyás kiegészítés N0 és N1 nitrogén adagja szignifikánsan alacsonyabb a N4 nitrogén adagnál, mely a legmagasabb érték az összes kezelés között, a legalacsonyabb N1PK értéknek csaknem duplája (28.c. *ábra*).



a. Mintavétel évei és évszakok szerint (2015-2016)



b. Szerves kiegészítés és N adag szerint (2015-2016)



c. Mintavétel időpontja és kezelések szerint (2015-2016)

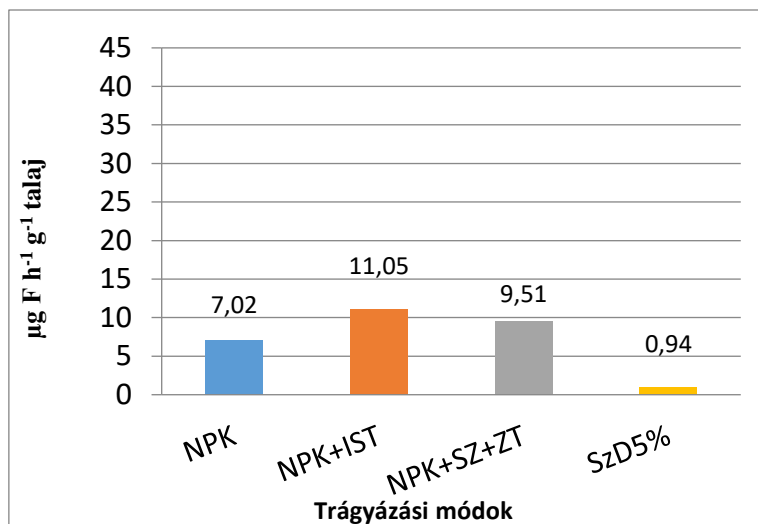
28. ábra: FDA aktivitás átlagértékei (2015-2016)

### **FDA átlagértékei szerves kiegészítés szerint**

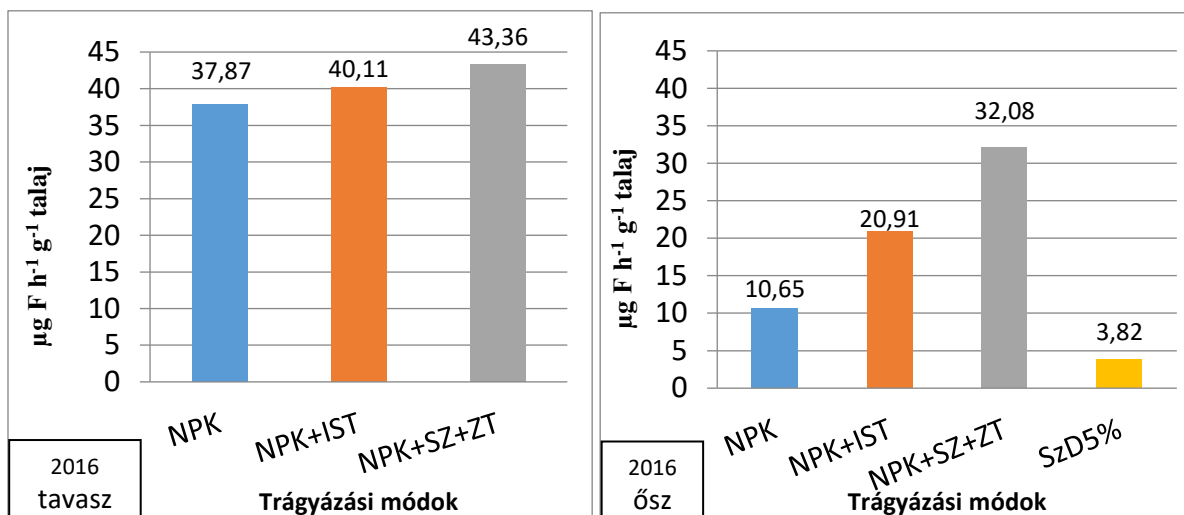
A 2015-ös vizsgálati eredmények szerint a mikroszervezetek FDA aktivitását statisztikailag igazolhatóan befolyásolták a kísérletben alkalmazott szerves kiegészítések. A legmagasabb aktivitás az istállótrágyát kapott parcellákon volt. Az FDA aktivitás ott 14 %-kal magasabb volt, mint a szárleszántást és a zöldtrágya növényt alkalmazó, és 36 %-kal a csak műtrágyázott kezeléshez képest (29. ábra).

A 2016-os év tavasza jóval magasabb értékeket mutat az őszi értékeknél, azonban a szerves kiegészítések között nem volt szignifikáns eltérés (30. ábra).

A 2016-os őszi eredmények már szignifikáns eltérést mutatnak. Ahogy a 30. ábra második diagramján láthatjuk az eltérés mértéke jelentős a különböző szerves kiegészítések között. Legmagasabb aktivitás értéket az SZ+ZT kiegészítés hatására mértem ( $32,08 \mu\text{F h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), ez 35 %-kal magasabb az IST kiegészítésben mért értéknél, és a csak műtrágyázott NPK parcellák aktivitásának több mint háromszorosa.



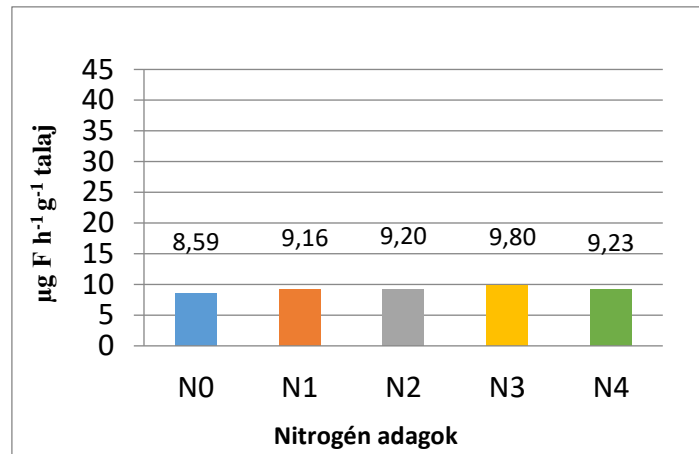
29. ábra: FDA aktivitás átlagértékei trágyázási módok szerint (2015 őszi)



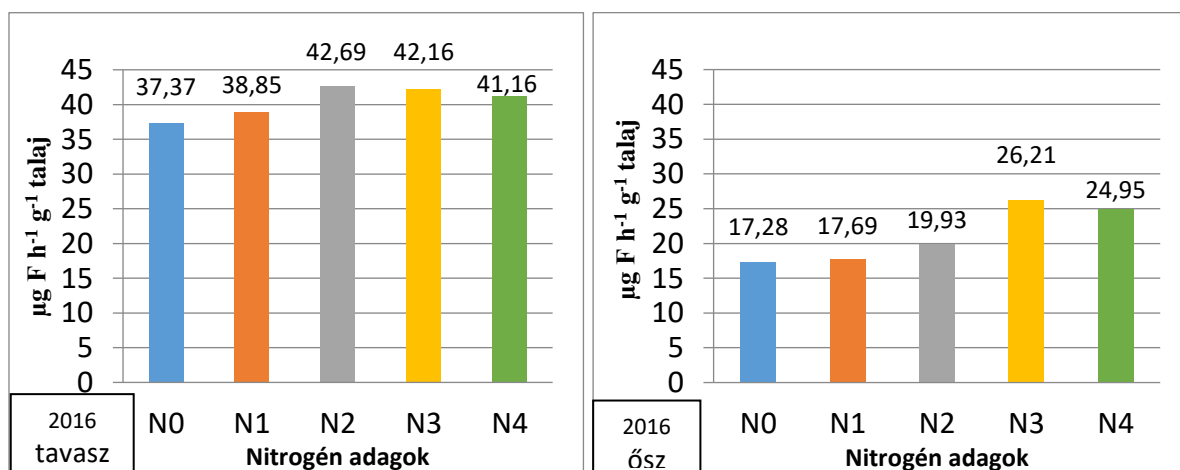
30. ábra: FDA aktivitás átlagértékei trágyázási módok szerint (2016 tavasz, őszi)

### FDA aktivitás átlagértékei N adag szerint

Az FDA aktivitás mérések esetében a nitrogén adagoknak nem volt enzimaktivitás növelő hatása (31., 32. ábra).



31. ábra: FDA aktivitás átlagértékei nitrogén adagok szerint (2015 őszi)



32. ábra: FDA aktivitás átlagértékei nitrogén adagok szerint (2016 tavasz, ősz)

## 5.2. Termésmennyiség

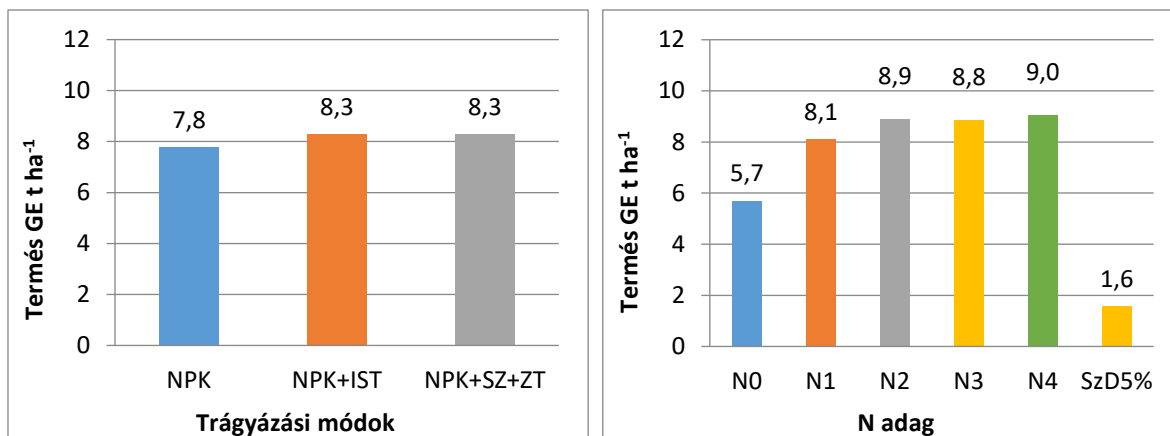
### Termésmennyiség átlagértékei

Mivel vetésforgós (kukorica, őszi búza, őszi árpa) kísérletben végeztem a vizsgálatokat, így a három év termésmennyiségeinek együttes értékeléséhez gabonaegységben (GE t ha<sup>-1</sup>) adtam meg az adatokat (ÁNGYÁN *et al.*, 1997).

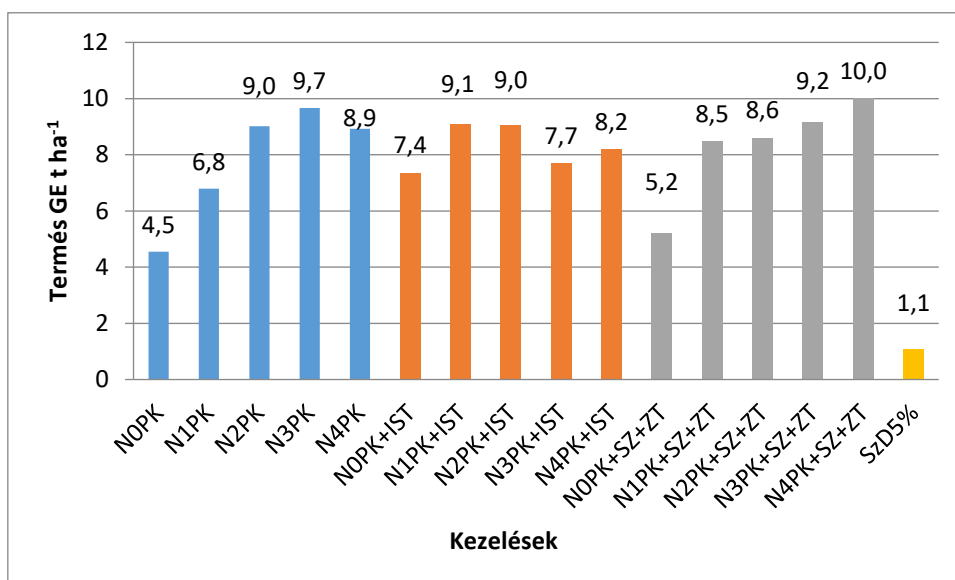
A 33. *ábra* szemlélteti, hogy a kísérletben alkalmazott két tényező közül csak a N adag jelentett szignifikáns hatást a hozamot illetően. Bár a szerves kiegészítések hatására is láthatunk némi növekedést, viszont a két szerves kiegészítés nem különbözik egymástól. A N adagok emelésével a hozamok is növekedtek, az összesített átlagok alapján látható, hogy a túlzott N adag esetében volt a legnagyobb a hozam. Szignifikánsan alacsonyabb értéket azonban csak a N0, azaz a N műtrágyázásban nem részesülő változat adott.

A vizsgált három év termésmennyiségeinek átlagát gabonaegységben kifejezve a 34. *ábra* szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy a termés mennyiségének alakulására leginkább a nitrogén adagok voltak hatással. A legkisebb hozam (4,5 GE t ha<sup>-1</sup>) a csak műtrágyázott nitrogént nem kapó kezelés esetében volt (N0PK), míg a legmagasabb hozam (10 GE t ha<sup>-1</sup>) ennek több mint duplája, a szárleszántás+zöldtrágya kiegészítést és legmagasabb nitrogén adagot kapó kezelésben volt (N4PK+SZ+ZT). Az istállótrágyás kiegészítés egyenlíti ki leginkább a termésátlagokat, ahol csak az N1 (9,1 GE t ha<sup>-1</sup>) és N2 (9 GE t ha<sup>-1</sup>) nitrogén adagok magasabbak szignifikánsan a többinél. A másik kettő trágyázási mód esetében többnyire a nitrogén adagokkal együtt emelkedő hozamokat figyelhetünk meg. A csak műtrágyás kezelések esetében szignifikáns hozamnövekedést figyelhetünk meg N0<N1<N2 nitrogén adagok esetében (4,5 GE t ha<sup>-1</sup>; 6,8 GE t ha<sup>-1</sup>; 9 GE t ha<sup>-1</sup>). A következő nitrogén adag N3 (9,7 GE t ha<sup>-1</sup>) még szintén pozitív hatással volt a termés mennyiségére, míg a legmagasabb N4 adag (8,9 GE t ha<sup>-1</sup>) már gátló hatásának bizonyult, ez azonban statisztikailag nem releváns különbség. A szárleszántás+zöldtrágya esetében az nitrogénben nem részesülő kezelés (N0PK+SZ+ZT) termésátlaga (5,2 GE t ha<sup>-1</sup>) szignifikánsan alacsonyabb az összes többi kezelésnél, melyek esetében a nitrogén adag emelése pozitívan befolyásolta a hozamot.





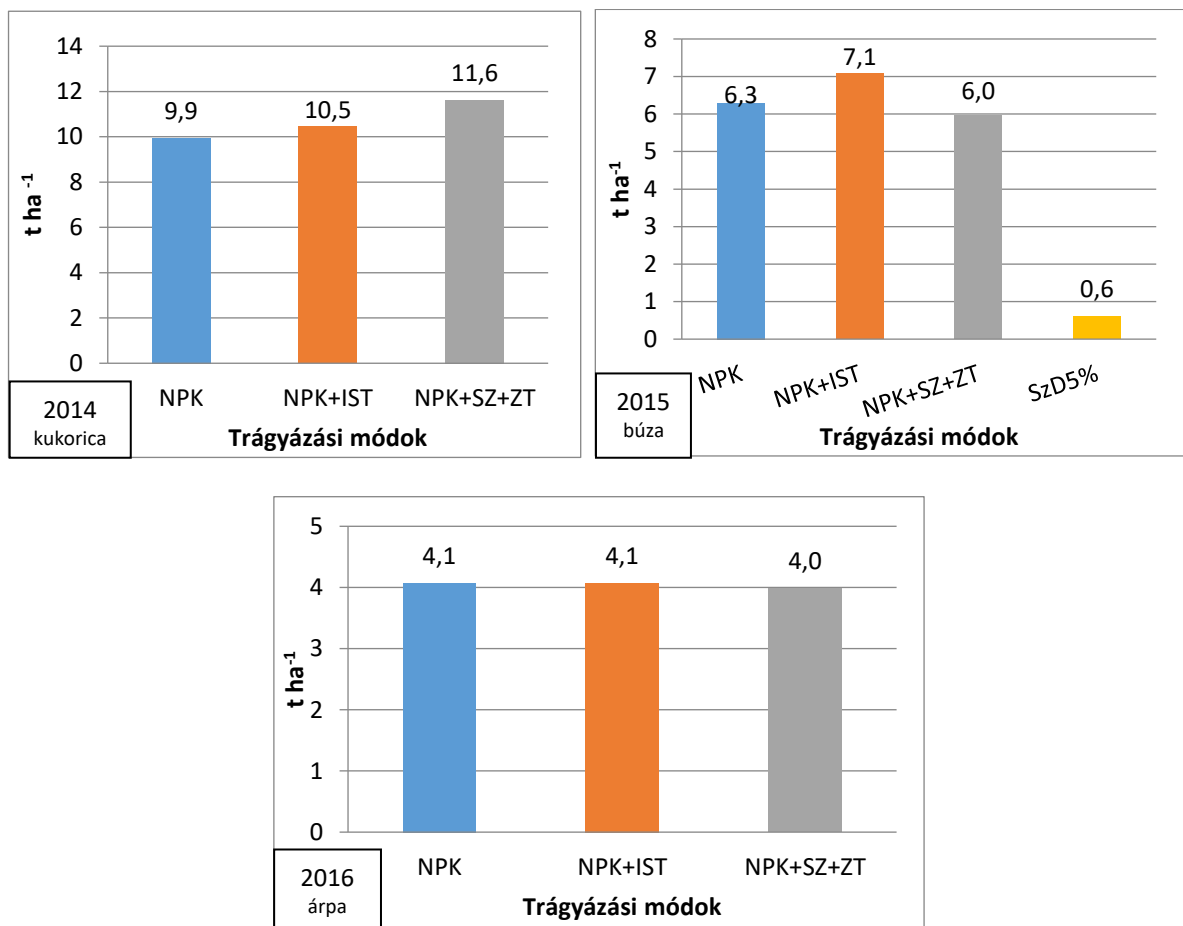
33. ábra: Termésmennyiség átlagértékei gabonaegységben kifejezve (2014-2016)



34. ábra: Termésmennyiség átlagértékei gabonaegységben kifejezve (2014-2016)

### Termésmennyiség átlagértékei szerves kiegészítés szerint

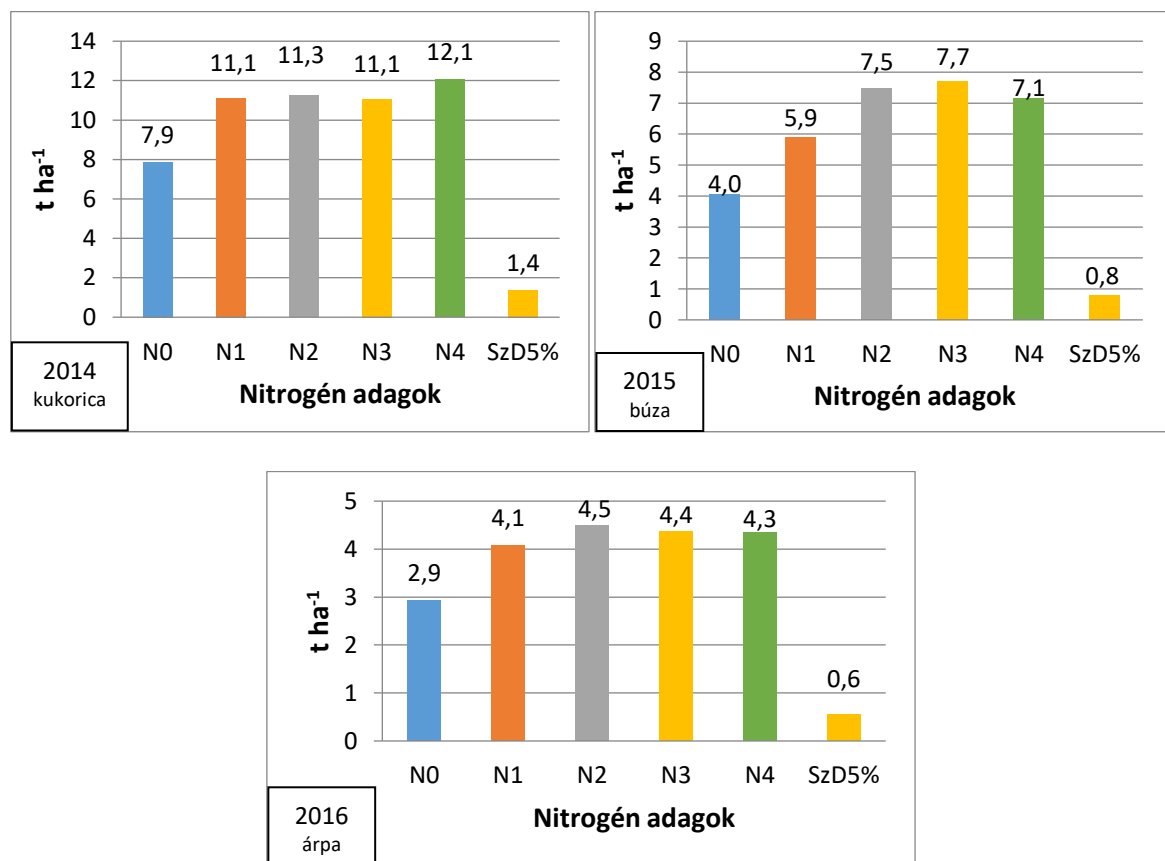
Az évek terméseredményeit külön vizsgálva már nem használtam gabonaegységet. A termésmennyiség alakulására egyedül a 2015-ös évben volt statisztikailag is igazolható hatással a szerves kiegészítés. A 2015-ös őszi búza esetében szignifikánsan a legmagasabb hozamot az istállótrágyás kiegészítés (NPK+IST) eredményezte, annak ellenére, hogy másodéves hatásról beszélünk. Ezt követi 12 %-kal alacsonyabb hozammal a csak műtrágyázott (NPK) változat, majd a 16 %-kal alacsonyabb szárleszántás+zöldtrágya kiegészítés (NPK+SZ+ZT). Érdekes eredmény, hogy míg 2014-ben a szárleszántás+zöldtrágya hatása bizonyult a legerőteljesebbnek, a következő két évben ez a változat adta a legkisebb hozamokat (35. ábra).



35. ábra: Termésmennyiség átlagértékei szerves kiegészítés szerint (2014 kukorica, 2015 őszi búza, 2016 őszi árpa)

### Termésmennyiség átlagértékei nitrogén adagok szerint

A nitrogén adagok mindhárom évben befolyásolták a termésátlagok alakulását. A 2014-es kukorica termésátlagok meglehetősen kiegyenlítettek. Itt az N0 nitrogént nem kapó változat szignifikánsan alacsonyabb az összes többinél. A további nitrogén többlet nem okozott jelentősebb eltérést. A 2015-ös őszi búza termésátlagai azonban jóval árnyaltabb képet alkotnak. A szignifikánsan legalacsonyabb N0 változatot növekvő sorrendben követik az N1<N2<N3 kezelések, majd a legmagasabb nitrogén adag gátló hatása figyelhető meg. Viszont az eltérések N2, N3 és N4 között nem szignifikánsak. A legkisebb (4 t ha<sup>-1</sup>) és legnagyobb (7,7 t ha<sup>-1</sup>) termésátlag közti különbség csaknem 50 %. 2016-ban az őszi árpa hozamokat a 2014-es kukoricához hasonlóan egyedül a nitrogén hiánya csökkentette szignifikánsan a legnagyobb hozamhoz képest 36 %-kal (36. ábra).



36. ábra: Termésmennyiség átlagértékei nitrogén adagok szerint (2014 kukorica, 2015 őszi búza, 2016 őszi árpa)

## 6. Eredmények értékelése

### 6.1. Az aggregátum stabilitás és a mikroorganizmusok

#### 6.1.1. Aggregátum stabilitás kapcsolata a mikrobiális biomassza mennyiségével

A mikrobiális biomassza tömege és az aggregátum-stabilitás között több szignifikáns pozitív korreláció is volt, azonban egy év mintáiból származó vizsgálatból csak a 2016 tavaszi eredmények esetében (7. táblázat). Az MBC és az aggregátum stabilitás közötti korreláció alátámasztja a mikroorganizmusok kulcsfontosságát hangsúlyozó aggregátum modelleket, mint pl. *Tisdale és Oades* 1982-ben közölt aggregátum modellje. Valamint egyezik *Degens* (1997) megállapításával is, miszerint a mikrobiális biomassza összefügg a talaj aggregációjával, de valószínűleg nem azért, mert közvetlenül részt vesz az aggregátum képződésben, hanem mert a biomassza kifejezi a mikrobiális szén forgalmat és a kötő vegyületek és struktúrák mikrobiális produkcióját. *Bronick és Lai* (2005) szerint is a mikroorganizmusok fokozzák a talajrészecskék összetapadását az általuk termelt extracelluláris vegyületekkel.

7. táblázat: A mikrobiális biomassza (MBC) és az aggregátum stabilitás közötti korreláció

\*:szignifikáns p=0,5; \*\*: szignifikáns p=0,01

	MBC 2015 tavasz	MBC 2015 ősz	MBC 2016 tavasz	MBC 2016 ősz	S.aggr. % 2015 tavasz	S.aggr. % 2015 ősz	S.aggr. % 2016 tavasz	S.aggr. % 2016 ősz
MBC 2015 tavasz	1	,671**	-0,18	0,185	0,116	0,118	-0,1	0,22
MBC 2015 ősz	,671**	1	-0,272	0,251	-0,013	0,08	-0,144	0,19
MBC 2016 tavasz	-0,18	-0,272	1	,501**	<b>,366*</b>	0,093	<b>,333*</b>	-0,039
MBC 2016 ősz	0,185	0,251	,501*	1	<b>,453**</b>	0,22	<b>,324*</b>	0,174
S.aggr. % 2015 tavasz	0,116	-0,013	<b>,366*</b>	<b>,453**</b>	1	,634**	,648**	,572**
S.aggr. % 2015 ősz	0,118	0,08	0,093	0,22	,634**	1	,486**	,572**
S.aggr. % 2016 tavasz	-0,1	-0,144	<b>,333*</b>	<b>,324*</b>	,648**	,486**	1	,532**
S.aggr. % 2016 ősz	0,22	0,19	-0,039	0,174	,572**	,572**	,532**	1

### 6.1.2. Az aggregátum stabilitást szignifikánsan befolyásoló paraméterek

Az aggregátum stabilitás eredményeinek különbözőségét az év és a mintavétel időpontja is befolyásolta. 2015-ben alacsonyabb értékeket mértem, mint 2016-ban. Az évszakok tekintetében a legmagasabb értékeket tavasszal mértem, ennél alacsonyabb értékeket nyáron, majd ősszel. Az eltérések szignifikánsak. *Dimoyiannis* (2009) kutatása szerint a szezonális aggregátum stabilitás szoros összefüggést mutat a havi átlagos hőmérséklettel és csapadék mennyiséggel. Saját vizsgálataim esetében az a tendencia figyelhető meg, hogy ahol a sokéves átlaghoz közeli vagy magasabb havi középhőmérséklet és az átlagnál kevesebb csapadék volt, ott mértem magasabb stabilitás értékeket és itt kaptam szignifikáns eltérést is (2015 tavasz, nyár, 2016 tavasz). Ahol az átlaghoz közeli vagy alacsonyabb a hőmérséklet, de jóval több csapadék volt, ott alacsonyabb értékeket kaptam, melyek nem különböztek egymástól szignifikánsan (2015 ősz, 2016, ősz).

A szerves kiegészítések szignifikáns hatással voltak az aggregátum stabilitásra. Ahol kimutatható eltérés adódott ott a szárleszántás-zöldtrágya esetében volt a legmagasabb aggregátum stabilitás (2015 tavasz, nyár, 2016 tavasz). Ez egyezik például *Stefanovits* (1992) megállapításával, miszerint a talaj szerkezetképződésére az alábbi sorrendben hatnak a szervesstrágyák: komposzt <istállótrágya <zöldtrágya <tarló és gyökérmaradványok. Több kutatás is beszámol róla, hogy az istállótrágya és a szármaradványok talajba dolgozása is növeli az aggregátum stabilitást (pl.: *GUO et al.*, 2019, *SONNLEITNER et al.*, 2003), de saját vizsgálataim szerint az istállótrágya egyedül 2015 tavaszán mutatott szignifikánsan magasabb stabilitási értéket a csak műtrágyás változathoz képest. Két évben pedig az NPK kezelés magasabb is volt, igaz nem releváns mértékben. Ezt az eredményt magyarázza *Rasool et al.* (2008) megállapítása, miszerint a kizárólag ásványi trágya használata növeli a gyökér biomasszáját is, mely végeredményben növeli az aggregátum stabilitás mértékét. Mint azt fentebb tárgyaltam, az aggregátum stabilitás talajba jutott szerves anyagokkal történő növelése közvetetten a mikroorganizmusok élettevékenysége során keletkezett kötőanyagok (pl.: poliszacharidok), illetve az egyéb kötő struktúrák (pl.: hifák) által valósulhat meg.

A N adag nem befolyásolta szignifikánsan az aggregátum stabilitást.

## 6.2. A talaj szerves szén tartalmára és a humuszminőségére ható tényezők

### 6.2.1. A talaj szerves szén tartalmát és a humuszminőséget szignifikánsan befolyásoló tényezők

A tartamkísérlet beállításakor, 1983-ban a talaj humusztartalma 1,6-1,7 % (szervesanyag-tartalma 0,93-0,99 %) volt. Méréseink szerint a műtrágyát és szerves kiegészítést sem kapott kezelés talaja szervesanyag-tartalma is 1,09 %, tehát nem csökkent. A terület a tartamkísérlet beállítása előtt is mezőgazdasági művelés alatt állt (KISMÁNYOKY T. szóbeli közlés), ezért nem tapasztalható az először művelésbe vont talajokra jellemző szervesanyag-csökkenés. A szervestrágyázás növelte a szervesanyag-mennyiségét, minőségét azonban csökkentette. Ezek az eredmények hasonlóak *Song et al.* 2014-ben közölt eredményeihez. A talaj szerves széntartalma az istállótrágyás kezelésben volt szignifikánsan a legmagasabb, a másik két kezelés között nincs jelentős különbség. Ezt az eredmény támasztja alá például *Sauerbeck* (1982) megállapítása is, miszerint a különböző szervestrágyák az alábbi sorrendben növelik a talaj szerves C tartalmát: zöldtrágya <szármaradvány <friss istállótrágya <érett istállótrágya.

A szervestrágya-kiegészítések a 2014-es eredmények szerint javították a humuszminőséget, az istállótrágya is szignifikánsan jobb humuszanyagot eredményezett, azonban jelentősebb hatása a növényi maradványoknak volt, közöttük azonban szignifikáns eltérés nincs. Ez az eredmény több tudományos megállapítással megegyzik, és hangsúlyozza a növényi maradványok megfelelő kezelésének fontosságát is (CHEN *et al.*, 2014, NICHOLSON *et al.*, 2014). Mivel a beforgatott növényi maradványok mennyiségére szignifikáns hatással volt a N dózis, így az csak közvetetten hatott a humuszminőségre.

A 2016-os eredmények nem mutattak releváns eltérést.

A humuszminőség értékeit a N adag nem befolyásolta.

Összeségében elmondható, hogy a kísérleti terület egészen nem túl jó minőségű a humuszanyag, mivel az E4/E6 módszer esetében a 3-5 közötti arányszám esetében beszélünk jó minőségű humuszanyagról.

#### 6.2.2. A talaj szerves szén tartalmának és humuszminőségének kapcsolata a vizsgált paraméterekkel

A talaj szerves szén tartalma az általam vizsgált paraméterek közül csak a mikrobiális biomasza mennyiségével mutatott korrelációt, a 8. táblázatban ezt mutatom be.

A mikrobiális biomaszatömeg több esetben is korrelált a talaj szervesanyag-tartalmával. Ez az eredmény egyezik a globális talaj szerves anyag és mikrobiális biomasza értékek kapcsolatát feldolgozó közlemények eredményeivel (pl.: FIERER *et al.*, 2009). Kísérletünkben a talaj szervesanyag-tartalom szűk tartományban 1,13 és 1,29 % között változott, jelentős pozitív hatása az istállótrágyás kezelésben volt kimutatható. A pozitív korrelációnak a

mikrobiális biomasszát befolyásoló többi tényező (éghajlat, növényzet, művelés, talajtípus) azonossága lehet az oka. A 2016-os tavaszi MBC-vel mutatott negatív korreláció annak tudható be, hogy ebben a mérésben rendkívül magas MBC-t mértem az SZ+ZT kiegészítés esetében.

A várakozással ellentétben a talaj szerves széntartalma ( $C_{org}$ ) nem korrelált a többi vizsgált paraméterrel, pedig a talaj szerves anyagának domináns szerepe van szinte az összes talajtulajdonság alakulásában. Jelen vizsgálat azt mutatja, hogy a talaj széntartalma és más tulajdonságai közötti kapcsolat nem lineáris.

**8. táblázat: A talaj szerves széntartalma ( $C_{org}$ ) és a mikrobiális biomassza (MBC) közötti korreláció**

\*:szignifikáns  $p=0,5$ ; \*\*: szignifikáns  $p=0,01$

	<b>MBC 2014 tavasz</b>	<b>MBC 2014 ősz</b>	<b>MBC 2015 tavasz</b>	<b>MBC 2015 ősz</b>	<b>MBC 2016 tavasz</b>	<b>MBC 2016 ősz</b>	<b><math>C_{org}</math> 2013</b>
<b>MBC 2014 tavasz</b>	1	-0,013	0,009	0,018	0,173	0,142	0,154
<b>MBC 2014 ősz</b>	-0,013	1	0,24	0,293	-,396**	-0,016	<b>,342*</b>
<b>MBC 2015 tavasz</b>	0,009	0,24	1	,671**	-0,18	0,185	<b>,438**</b>
<b>MBC 2015 ősz</b>	0,018	0,293	,671**	1	-0,272	0,251	<b>,706**</b>
<b>MBC 2016 tavasz</b>	0,173	-,396**	-0,18	-0,272	1	,501**	<b>-,311*</b>
<b>MBC 2016 ősz</b>	0,142	-0,016	0,185	0,251	,501**	1	0,17
<b><math>C_{org}</math> 2013</b>	0,154	<b>,342*</b>	<b>,438**</b>	<b>,706**</b>	<b>-,311*</b>	0,17	1

A szerves anyagok mennyisége mellett vizsgáltam minőségük kapcsolatát is a mikrobiális biomasszatömeggel és aktivitással, ahol szignifikáns korrelációt találtam. A negatív korreláció a két változó között, azt jelenti, hogy az alacsonyabb E4/E6 értékekhez (komplex, nagy molekulatömegű huminsavak jelenléte) nagyobb mikrobiális biomasszatömeg és FDA tartozik, tehát a talajokban a könnyebben bontható, kevésbé kondenzált, kisebb molekulatömegű humuszanyagok arányának növekedése csökkentette a mikrobiális biomassza mennyiségét és aktivitásának mértékét. Ha a humuszanyagokra csak, mint szénforrásra tekintünk, akkor ez várakozásainkkal ellentétes. Ha tekintetbe vesszük, hogy a nagyobb molekulatömegű, kondenzáltabb humuszanyagok a talajszerkezetet nagyobb mértékben javítják, akkor ez az eredmény jobban értelmezhető. A korreláció-analízis azonban

nem mutat szignifikáns kapcsolatot a humuszminőség és az aggregátum-stabilitás között, így más, közvetett magyarázata lehet a humuszminőség hatásának. (9. táblázat)

9. táblázat: A humuszminőség (E4/E6), a mikrobiális biomassza C (MBC) és az FDA hidrolízis aktivitás közötti korreláció; \*:szignifikáns  $p=0,5$ ; \*\*: szignifikáns  $p=0,01$

	MBC 2016 tavasz	MBC 2016 ősz	FDA 2015 ősz	FDA 2016 tavasz	FDA 2016 ősz	E4/E6 2014	E4/E6 2016
MBC 2016 tavasz	1	,501**	0,02	0,28	,583**	<b>-,376*</b>	-0,127
MBC 2016 ősz	,501**	1	,359*	0,081	,397**	-0,162	-0,085
FDA 2015 ősz	0,02	,359*	1	,416**	,508**	<b>-,332*</b>	0,249
FDA 2016 tavasz	0,28	0,081	,416**	1	,435**	-0,218	0,023
FDA 2016 ősz	,583**	,397**	,508**	,435**	1	<b>-,561**</b>	0,082
E4/E6 2014	<b>-,376*</b>	-0,162	<b>-,332*</b>	-0,218	<b>-,561**</b>	1	-0,073
E4/E5 2016	-0,127	-0,085	0,249	0,023	0,082	-0,073	1

### 6.3. Mikrobiális biomassza mennyiségére ható tényezők

#### 6.3.1. A mikrobiális biomasszát szignifikánsan befolyásoló tényezők

A statisztikai értékelés alapján a mikrobiális biomassza változásában az évjárat-hatásnak befolyásoló szerepe volt. Az évek és a mintavételi időpontok átlagértékei jelentős eltéréseket mutattak egymástól, azonban a rendelkezésemre álló meteorológiai adatok és a MBC változása között nem látható tendencia. A három év átlagában az évszakok (tavasz, ősz) között nem mutatkozott eltérés, azonban külön vizsgálva két évben is (2014, 2015) az őszi mérések esetében voltak magasabb MBC értékek, míg 2016-ban tavasszal. A szakirodalmi megállapítások megoszlanak a szezonális maximumot illetően, miszerint vagy tavasszal (pl.: BAI et al., 2008, JIANG et al. 2012) vagy ősszel (pl.: EVANGELAU et al., 2021) a legmagasabb vagy a saját vizsgalati eredményekkel is megegyezően nincs egyértelmű tendencia (WARDLE, 1998).

A szakirodalmi kutatások többsége szerint a trágyázás, de különösen a szerves trágyázás pozitív hatással van a talaj mikrobiális biomassza tömegére (MÜLLER, 1991, KÁTAI, 2006,



SZILI-KOVÁCS, 2012). Kutatási eredményeim is alátámasztják, hogy a műtrágyázás mellett használt szerves kiegészítések növelik a mikrobiális biomassza mennyiséget. Az istállótrágya ásványosodása hosszabb folyamat, ezért tovább jelent energiaforrást a mikroorganizmusok és a növények számára. A zöldtrágya inkább a talaj termékenységére és kultúrállapotára van pozitív hatással, a tarlómaradvány bedolgozása a talaj fizikai állapota és a tápanyag utánpótlás szempontjából jelentős (BIRKÁS, 2006b). Saját kutatási eredmények is ezt támasztották alá a 2014 és 2015-ös évben, ekkor az istállótrágya bizonyult a leghatásosabbnak az MBC-t illetően. Bár a 2014-es tavaszi mérések esetében nem volt szignifikáns különbség a trágyázási módok között, tendenciaszerűen látszik, hogy az istállótrágya kiegészítés adta a legmagasabb átlagértéket. A 2014-es tavaszi mérés idején az istállótrágya kezdeti hatásáról beszélünk, hiszen 2013 novemberében történt a kijuttatás, vélhetően ezért nem okozott releváns eltérést. *Csitári et al.* (2014) vizsgálataiban - melyek szintén ezen a kísérleti területen folytak – csak az istállótrágyázás esetében mértek szignifikáns eltérést mikrobiális biomassza esetében.

A 2016-os évben változott a tendencia, és a szárleszántás és zöldtrágya alkalmazása eredményezte a legmagasabb MBC-t. Ez a 2016-os eredmény összhangban van *Kautz et al.* (2004) hasonló kezelésekkal Berlin-Dahlemben (Németország) beállított IOSDV kísérlet eredményeivel. Ennek a magas értéknek az oka lehet, hogy a növényi maradványok minden évben a talajba kerültek, míg az istállótrágya csak minden harmadik évben (jelen esetben 2013. őszi mélyszántás). A SZ+ZT kiegészítés esetében is őszi árpa tarlójába, tehát a kukorica előtt került beforgatásra az zöldtrágyaként alkalmazott olajretek. Az olajretek azonban könnyen bomló szerves anyagnak számít, így a hatásának eredményét 2014-ben vártam.

*Birkás* (2006b) szerint a zöldtrágya növények biomassza tömegnövelő hatása évjárattól függően akár el is maradhat.

A N adagok nem befolyásolták szignifikánsan az MBC alakulását. A trágyahatás általában nem lineáris, azaz a növekvő adaggal nem egyenletesen nő a mikroorganizmusok mennyisége.

Az eredmények különbözősége adódhat az időjárási tényezők változékonyságából, illetve befolyásolja a szerves kiegészítések talajba kerülésének eltérő időpontja és a mintavétel időpontja közti különbség, valamint a talaj aktuális lazultsága és nedvesség állapota is fontos módosító tényező lehet. Az adatok értékelését nehezíti a mérések általában nagy szórása, mely több tényezőtől is fakadhat: kísérleti talaj inhomogenitása, minták tárolása, mérési módszer.

### 6.3.2. A mikrobiális biomasza mennyiségének és aktivitásának kapcsolata

Az FDA hidrolízis aktivitás és az MBC együttesen tükrözik az aktív és a nyugalmi állapotban levő mikrobák arányát, mivel könnyen hozzáférhető szubsztrátok nélkül a mikrobiális biomasza csak egy kis része tartja fenn az aktív állapotot, és az élő sejtek nagy része dormans, inaktív állapotban van jelen (PROSSER *et al.*, 2007, BALGODATSKAYA, KUZYAKOV, 2013). A mikroorganizmusok aktivitása két esetben korrelált a mikroorganizmusok tömegével (ugyanazt a mintavételt vizsgálva). Ez azt mutatja, hogy a metabolikusan aktív és passzív (nyugvó állapotban, kitaróképletben levő) mikroorganizmusok aránya kimutathatóan nem változott a kezelések során 2015 és 2016 őszén. A fajlagos FDA aktivitás is e két mérés esetében mutatott kezeléshatást. A 2015-ös őszi vizsgálat esetében az istállótrágyás kezelés hatására nőtt leginkább az aktív mikrobák száma, míg a 2016-os őszi vizsgálat esetében a szárleszántás és zöldtrágya esetében. 2015 őszén az istállótrágya második éves hatása okozhatta a szignifikáns differenciát, míg a 2016-os őszi mérés esetében a mintavétel előtt az árpa tarlója után beforgatott olajretek zöldtrágya. Az eredmények alapján az aktív mikrobák növekedésével a passzív mikrobák száma is emelkedett (10. táblázat).

10. táblázat: A mikrobiális biomasza (MBC) és az FDA hidrolízis aktivitás közötti korrelációk

\*:szignifikáns  $p=0,5$ ; \*\*: szignifikáns  $p=0,01$

	MBC 2015 ősz	MBC 2016 tavasz	MBC 2016 ősz	FDA 2015 ősz	FDA 2016 tavasz	FDA 2016 ősz
MBC 2015 ősz	1	-0,272	0,251	<b>,535**</b>	-0,149	0,153
MBC 2016 tavasz	-0,272	1	,501**	0,02	0,28	,583**
MBC 2016 ősz	0,251	,501**	1	,359*	0,081	<b>,397**</b>
FDA 2015 ősz	<b>,535**</b>	0,02	,359*	1	,416**	,508**
FDA 2016 tavasz	-0,149	0,28	0,081	,416**	1	,435**
FDA 2016 ősz	0,153	,583**	<b>,397**</b>	,508**	,435**	1

### 6.3.3. Mikrobiális biomasszatömeg időbeli változatossága

Az időbeli változatosság meghatározására tudományosan elfogadott a CV (variációs koefficiens) értéke, melyet az átlag szórással való elosztásával kapunk. Előnye, hogy a mintaszámtól és az átlagok nagyságától független, standardizálja a variancia értékeket.

A CV értékének csökkenésével, csökken az időbeli változatosság, azaz stabilabb lesz a mikrobiális biomassza közösség (WARDLE, 1998). Az NPK+SZ+ZT kezelésnek szignifikánsan alacsonyabb a CV értéke az NPK és NPK+IST kezelésekhöz képest, tehát az eredmények szerint a szármaradványok leszántása és zöldtrágya növény használata mikrobaközösség stabilizáló hatású (11. táblázat).

11. táblázat: A 6 különböző mintavételi időpontokban mért mikrobiális biomasszatömeg CV-k átlagértékei a különböző kezelések szerint. Az utolsó oszlopban és sorban az átlag utáni betűk a Duncan-teszt eredményét mutatják.

N adag	NPK	NPK+IST	NPK+SZ+ZT	Szerves anyag kiegészítések együtt
N0	34,58	30,10	16,95	27,21a
N1	21,70	25,20	15,86	20,92a
N2	20,45	27,15	8,71	18,77a
N3	28,17	17,56	19,32	21,68a
N4	19,94	34,67	14,00	22,87a
<i>N műtrágya adagok együtt</i>	<b>24,97b</b>	<b>26,93b</b>	<b>14,97a</b>	

SzD %:0,05

### 6.4. Növényi termés mennyiségének kapcsolata a vizsgált paraméterekkel

A varianciaanalízis alapján a termés mennyiségét a nitrogén adagok befolyásolták. A termésátlag a talaj termékenységének és minőségének gyakran használt mutatója, ezért feltételeztem kapcsolatot az általam mért többi paraméterrel, azonban egyikkel sem mutatott korrelációt (kivéve a becsült bekerülő széntartalmat, melyet a következő pontban ismertetek, de ennek becsléséhez a termésadatokat is felhasználtam, ez magyarázza a kapcsolatot). A szakirodalomban ennek ellenkezőjére is találunk példát: Zak et al. (1994) globális adatok értékelése alapján kapott eredményei szerint a föld feletti biomasszatömeg és a talajban élő mikroorganizmusok tömege között korreláció mutatható ki.

### **6.5. A becsült talajba kerülő szerves szén és a vizsgált paraméterek kapcsolata**

Az adott évben talajba kerülő szerves szén mennyiség becsült értékeinek más paraméterekkel való kapcsolatát a *12. táblázatban* mutatom be. Amint látható a termésmennyiséggel szinte minden esetben találunk korrelációt, hiszen a termés növekedésével a melléktermés és gyökér-rhizodepozit szén mennyisége is növekszik, valamint a becslések egy részének alapja volt a termés mennyisége.

Az adott évben bekerülő szerves szén hatását a következő évre vizsgáltam, de az eredmények többsége szerint nem a következő, hanem az azt követő évvel mutat kapcsolatot. A 2013-ban bekerült C mennyisége erőteljes korrelációt mutat a 2015-ös MBC és a 2015-ös FDA értékekkel. A 2014-es C mennyiség a 2016 tavaszi MBC és 2016 tavaszi és őszi FDA értékekkel mutat szoros kapcsolatot. A 2015-ös szén mennyiség esetében figyelhető meg a következő évi hatás, a 2016-os tavasz MBC és 2016 tavaszi és őszi FDA értékekkel.

12. táblázat: A talajba kerülő becsült szerves C tartalom kapcsolata a vizsgált paraméterekkel

\*:szignifikáns p=0,5; \*\*: szignifikáns p=0,01

	2015 tav MBC	2015 ősz MBC	2016 tavasz MBC	2016 ősz MBC	2015 ősz FDA .	2016 tavasz FDA	2016 ősz FDA	t 2013 árpa t ha <sup>-1</sup>	2014 kuk t ha <sup>-1</sup>	2015 őbúza t ha <sup>-1</sup>	2016 őárpa t ha <sup>-1</sup>	Corg 2013	2013 C	2014 C	2015 C
2015 tav MBC	1	,671**	-0,180	0,185	,440**	-0,057	0,158	-0,131	0,017	0,224	0,212	,435**	,614**	-0,009	0,059
2015 ősz MBC	,671**	1	-0,272	0,251	,535**	-0,149	0,153	-,302*	0,011	0,223	0,056	,704**	,713**	-0,068	0,004
2016 tavasz MBC	-0,180	-0,272	1	,501**	0,020	0,280	,583**	0,175	0,142	-0,263	-0,092	-,308*	-0,04	,562**	,534**
2016 ősz MBC	0,185	0,251	,501**	1	,359*	0,081	,397**	-0,173	0,114	-0,246	-0,112	0,174	,323*	0,242	0,180
2015 ősz FDA	,440**	,535**	0,020	,359*	1	,416**	,508**	0,097	0,110	0,192	0,037	0,269	,678**	0,186	0,275
2016 tav FDA	-0,057	-0,149	0,280	0,081	,416**	1	,435**	,377*	0,117	0,068	0,005	-0,125	0,252	,301*	,343*
2016 ősz FDA	0,158	0,153	,583**	,397**	,508**	,435**	1	,328*	,381**	0,094	0,113	0,024	,388**	,629**	,585**
2013 árpa t ha <sup>-1</sup>	-0,131	-,302*	0,175	-0,173	0,097	,377*	,328*	1	,508**	,536**	,399**	-0,193	0,089	,616**	,585**
2014 kuk t ha <sup>-1</sup>	0,017	0,011	0,142	0,114	0,110	0,117	,381**	,508**	1	,467**	,404**	0,161	,299*	,761**	,561**
2015 búza t ha <sup>-1</sup>	0,224	0,223	-0,263	-0,246	0,192	0,068	0,094	,536**	,467**	1	,553**	,405**	,437**	,432**	,613**
2016 árpa t ha <sup>-1</sup>	0,212	0,056	-0,092	-0,112	0,037	0,005	0,113	,399**	,404**	,553**	1	0,146	0,124	,336*	,377*
Corg 2013	,435**	,704**	-,308*	0,174	0,269	-0,125	0,024	-0,193	0,161	,405**	0,146	1	,697**	0,072	0,103
2013 összes C	,614**	,713**	-0,040	,323*	,678**	0,252	,388**	0,089	,299*	,437**	0,124	,697**	1	,378*	,431**
2014 összes C	-0,009	-0,068	,562**	0,242	0,186	,301*	,629**	,616**	,761**	,432**	,336*	0,072	,378*	1	,875**
2015 összes C	0,059	0,004	,534**	0,180	0,275	,343*	,585**	,585**	,561**	,613**	,377*	0,103	,431**	,875**	1

## 7. Következtetések

Ramann-féle barna erdőtalajon beállított trágyázási tartamkísérletben végzett kutatásom eredményei szerint az ásványi trágyázás mellett talajba jutott szerves anyagok, több általam vizsgált paramétert is kedvezően befolyásoltak.

Az aggregátum stabilitás mérések alapján megállapítható, hogy adott kísérleti viszonyok között a szárleszántás és zöldtrágya szerves kiegészítés alkalmazása javított leginkább a talaj fizikai állapotán. Az istállótrágya szerkezet javító hatása egy mérés kivételével elmaradt, mely vélhetően az istállótrágya magas egyatomos kation tartalma miatti diszpergáló hatásának tudható be.

Az időjárási adatok és az aggregátum stabilitás között tendenciát figyeltem meg, miszerint, ha az adott hónap középhőmérséklete a sokéves átlaghoz közeli vagy annál valamivel alacsonyabb, ellenben a csapadékmennyiség jóval magasabb, akkor a kezelési módok nem mutatnak jelentős eltérést, a magasabb hőmérséklet és kevés csapadék esetén azonban igazolható különbségeket kaptam. Tehát a talaj szerkezeti állapotát az adott időjárási viszonyok befolyásolják.

Megállapítottam, hogy a hagyományos szántásos művelés mellett még a szerves kiegészítést nem kapó csak műtrágyás kezelések esetében is nőtt a talaj szervesanyag-mennyisége a kísérlet kiinduló értékéhez képest. Tehát az adott kísérleti viszonyok között a kizárólagos műtrágya használat is szinten tartotta a talaj szerves szén tartalmát. Fontos megjegyezni azonban, hogy ebben az esetben is maradt szerves anyag a talajban, hiszen a tarló- és gyökérmaradványok beforgatásra kerültek, melyek mennyiségét a műtrágya nagyban befolyásolta.

Az E4/E6 módszerrel végzett humuszminőség 2014-es eredményei alapján a humuszanyagok javítása érdekében is érdemes szerves kiegészítést alkalmazni, viszont az alkalmazott szerves kiegészítés kezelések között nincs kimutatható különbség.

A mikroorganizmusok érzékenyen és gyorsan reagálnak a környezet változásaira, így jól alkalmazhatóak a talajállapot jellemzésére, melyet saját vizsgálataim is alátámasztanak. Az istállótrágyás kiegészítés a kijuttatást követő 2 évben bizonyult hatékonyabbnak a mikrobiális biomassza mennyiségének növelésében, míg a harmadik évben kiemelkedő mértékben a szárleszántás+zöldtrágya. Az eredmények alapján feltételezhető, hogy a talajba juttatott szerves inputok növelik a mikroorganizmusok dekompozíciós potenciálját, a mikroba közösség

mennyiségét és aktivitását, miközben a talaj szerves anyagának mennyisége és minősége valamint szén dinamikája is pozitív irányba változik.

A metabolikusan aktív és passzív (dormans) mikróbák aránya három esetből kétszer (abban a két esetben, amikor az FDA mérési eredmények szignifikáns eltérést mutattak a szerves kiegészítések hatására, 2015 és 2016 ősz) nem mutatott változást a szerves kiegészítések hatására. Tehát az istállótrágya 2. éves hatása, valamint a következő évben a leforgatott szármaradványok és olajretek emelték a mikrobiális biomassza mennyiségét és aktivitását is.

Három év értékelése alapján a mikrobiális közösséget leginkább stabilizáló kezelést a szárleszántás és zöldtrágya szerves kiegészítés jelentette, hiszen a variációs koefficiens (CV) értéke itt volt a legalacsonyabb a másik kettő (NPK; NPK+IST) kezeléshez képest, tehát a NPK+SZ+ZT hatására homogenizálódtak leginkább a mikrobiális biomasszatömeg értékek.

A mikrobiális biomassza és az aggregátum stabilitás közötti kapcsolatot ugyanazon mintából egy esetben kimutattam, így feltételezem, hogy a talajszerkezet alakításban fontos szerep jut a mikroorganizmusoknak, de ennek pontosításához további vizsgálatok szükségesek.

Lineáris összefüggéseket figyeltem meg a szerves szén bevitel, a talaj szerves széntartalma és a mikrobiális biomasszatömeg között.

A N adagok közvetlenül egyik általam vizsgált talaj paramétert sem befolyásolták szignifikánsan. Azonban közvetett hatása bizonyos, hiszen a növényi biomassza mennyiségét, ezáltal a talajban maradó, illetve a talajba forgatott növényi részek mennyiségét befolyásolják. Ezt még a csak műtrágyázott, illetve az istállótrágyás kezelések esetében is fontos megjegyezni, hiszen a gyökér- és tarlómaradványokkal itt is számolnunk kell. Ebből következően a mikrobiális közösségre is hatással van, hiszen a gyökér- és rhizodepozit szén jelentős táplálékforrása a mikroorganizmusoknak, ráadásul a gyökerek teljesen átszövik a talajt, így egyenletes eloszlásuk révén feltáródásuk jóval kiegyenlítettebb. Ezen kívül a N műtrágya a mikroorganizmusok számára is tápanyagot jelent.

A termésmennyiségre a többi vizsgált paraméterrel ellentétben hatással van a N adag, de szignifikáns különbségek főként a nitrogén teljes vagy részleges hiányából adódnak. Szerves kiegészítés esetében egyedül 2015-ben volt releváns eltérés, őszi búza jelzőnövényvel, ahol az istállótrágya szignifikánsan pozitív hatással volt a termés mennyiségére. Ekkor az istállótrágya 2. éves hatásáról beszélünk.

A N adagok a termés mellett az általam becsült talajba kerülő szerves szén mennyiségére is kimutatható hatással voltak, ezáltal közvetetten a többi paramétert is befolyásolták.

A várakozásokkal ellentétben a 2013 és 2014 évben bekerülő szerves szén nem a következő, hanem az azt követő év mikrobiális biomassza mennyiségével mutatott kapcsolatot. A hosszabbtávú hatás mögött a szerves anyag elhúzódó feltáródását feltételezem. (A 2013 őszi talajba forgatott istállótrágya hatása még a 2. évben jelentős, a 3.-ban már kevésbé. A 2014-ben leszántott kukorica szármaradvány nagyobb mennyisége és magasabb lignin tartalma miatt az MBC-re kifejtett hatása 2016-ban is érezhető, valamint a szármaradványok minden évben talajba kerülnek az SZ+ZT kezelésnél, illetve az előző évek aszályos időszakai is elhúzódó feltáródáshoz vezethettek). A 2015-ös év bekerülő szénmennyisége viszont a 2016-os évvel korrelál (istállótrágya 2. éves, 2015-ben búzaszalma leszántás).

Eredményeim alapján javaslom az általam vizsgált szerves kiegészítések valamelyikének szántóföldi körülmények között történő használatát, hiszen igaz eltérő mértékben, de mindkettő számos paraméterre pozitív hatást gyakorolt.

Ahol a gazdálkodóknak lehetősége van az istállótrágya őszi (esetleg nyári/nyárvégi) kijuttatására, ott ezt a szerves kiegészítési formát mindenképpen javasolnám 35-50 t ha<sup>-1</sup> mennyiségben. Egy jó minőségű érett trágya esetében nem szükséges a növény számára kijuttatott optimális N mennyiségen kívül többet kijuttatni, hiszen a mikroorganizmusok életműködéséhez szükséges mennyiség az istállótrágyában biztosítva van, így számos hasznos tulajdonsága mellett viszonylag költséghatékony megoldás is. Alkalmazhatóságának akadálya leginkább az alacsony állatlétszám, melynek következtében nem minden gazdaság férhet hozzá, távolabbra történő szállítása pedig nem teszi sem költséghatékonyá, sem környezetkímélővé.

Ahol nincs lehetőség egyéb szerves kiegészítésre, ott a talajon maradó növényi melléktermékek talajba forgatását mindenképpen szorgalmaznám. Véleményem szerint a növényi melléktermékek talajokról történő folyamatos elszállítása, egyéb szerves pótlás nélkül, hosszú távon a talajok kizsákmányolásához és leromlásához vezet. És bár a hozamok esetében nem feltétlenül lesz érzékelhető rövidtávon a szárleszántás hatása, a talaj szerkezeti állapotát, hő és vízgazdálkodását mindenképpen pozitívan befolyásolja. Szárleszántás esetében ahol a szármaradvány C:N aránya tágabb 30:1 aránynál, ott szükséges a kiegészítő N kijuttatása, mivel számolni kell a pentozán hatással. Ez nagyjából 8-10 kg N hatóanyagot jelent 1 tonna szárazanyagra vetítve.



A zöldtrágya növények vetésforgóba illesztésénél körültekintően kell eljárni, mert bár számos hasznos tulajdonságuk van, a nem jól megválasztott zöldtrágya növény kedvezőtlen hatású is lehet. Ha gondosan járunk el a kiválasztás során, akkor minél gyakrabban javasolnám a zöldtrágya növények alkalmazását, hiszen a talajnak sem jó, ha „üresen hagyjuk”, ezen felül számos pozitív hatással számolhatunk: nitrogén akkumuláció, mélyebb rétegekből való tápanyag akkumuláció, ásványi anyagok kimosódásának mérséklése, erózió csökkentése, talajszerkezet javítása, árnyékolás stb.. Vetésforgóban, a korán lekerülő növények után a legcélszerűbb a zöldítés. Mindenképpen figyelembe kell venni a következő növény tulajdonságait (egyszikű/kétszikű, keresztesvirágú, vízigény, betegségek, kártevők, gyomnövények stb.). Valamint a zöldtrágya alászántásánál és bedolgozásánál körültekintően kell eljárni, hogy a későbbi talajművelést ne akadályozza.

Pusztán ásványi trágyázással a talajban maradó gyökér és rizodepozit biomassza által az egyes talaj paraméterek csak szinten tarthatóak.

A kutatás hasznos lehet a talajtrágyázási stratégiák és a talaj kapcsolatának, biokémiai tulajdonságainak és általános egészségi állapotának jobb megértéséhez, mely hozzájárulhat egy hatékonyabb fenntartható tápanyaggazdálkodási rendszer kifejlesztéséhez. Azonban szükségesnek tartom az alkalmazott trágyázási módok környezeti, gazdasági hatásainak más környezeti feltételek mellett történő vizsgálatát is.

## 8. Összefoglalás

Az intenzív és hagyományos mezőgazdasági gyakorlat általában csökkenti a talajok szervesanyag-tartalmát, negatívan befolyásolja a talajéletet és rombolja a talaj szerkezetét. A fenntartható mezőgazdasági gyakorlat egyik fő eleme a talaj erőforrásainak megőrzése, fenntartása, valamint minőségének javítása. Számos kutatás folyik világszerte abból a célból, hogy megkísérelje feltárni, azonosítani a talaj tulajdonságait, azok kölcsönhatásait, a különféle folyamatokat, melyekkel jellemezni tudjuk a talaj funkcióit. Köztudott, hogy a talaj termékenysége, sok más tényező mellett kapcsolódik a biológiai állapotához és aktivitásához, szervesanyag-tartalmához, tápanyagtartalmához és szerkezetéhez egyaránt.

A mezőgazdasági módszerek különféle változatait és azok hosszútávú hatékonyságát pár év távlatából nehéz vizsgálni, erre jelentenek megbízható megoldást a tartamkísérletek, hiszen az eredmények ok-okozati összefüggéseit könnyebben értékelhetővé teszik. Napjainkban, több mint 600 db 10 évnél idősebb tartamkísérlet tartanak számon világszerte, a legtöbb Európában található (DEBRECZENI B.-NÉ, 2009), ebből több mint 80 Magyarországon (KÖRSCHENS, DEBRECZENI 2003).

A mikrobiális sokféleség és aktivitás a talajegészség egyik legfontosabb mutatója. Számos tanulmány számol be arról, hogy a trágyázási menedzsment miként befolyásolja a talaj mikrobiális biomasszáját (IBRAHIM, 1971; HELMECZI, 1983; MÜLLER, 1991; KÁTAI, 1999; KÁTAI, 2006; GODÓ, 2011; SZILI-KOVÁCS 2012). Általánosan elfogadott, hogy a szerves trágyázás növeli a talajéletet, a talaj C tartalmát és javítja az aggregátum stabilitást.

Kutatásaimat az 1983-ban Keszthelyen beállított IOSDV tartamkísérletben végeztem. A kísérlet kéttényezős sávos elrendezésű gabonás vetésforgó, növényi sorrendje: kukorica - őszi búza – őszi árpa; ismétléseinek száma: 3. Tényezői a növekvő N műtrágya adagok (N0, N1, N2, N3, N4) és három trágyázási mód: a műtrágya (NPK) önmagában történő kijuttatása (szervestrágya-kiegészítés nélküli kontroll) mellett műtrágya+istállótrágya (NPK+IST) és műtrágya+szármadaradvány+zöldtrágya (NPK+SZ+ZT) változatok szerepelnek. Az istállótrágyás kezeléseknél az istállótrágya kijuttatása 35 t ha<sup>-1</sup> adagban a rotáció során (három évenként) egy alkalommal a kukorica előtt történik. A szármadaradványok visszapótlása esetében minden 1 t szármadaradványra számítva 10 kg N hatóanyag kiegészítés is történik hektáronként. A szármadaradvány visszapótlási változatokban a rotáció során egy alkalommal az őszi árpa tarlójába vetett másodvetésű olajretek zöldtrágya növény (*Raphanus sativus var. Oleiformis*) alászántása is megtörténik.

Ennek a kísérletnek a parcelláiból vettem talajmintáimat 2014 és 2016 között, és használtam aggregátum stabilitás, humuszminőség (E4/E6), mikrobiális biomassza (MBC) és fluoreszcein diacetát (FDA) bontó enzimaktivitás meghatározásához. Az eredmények értékelésekor a talaj összes szerves szén (SOC) tartalmát és terméseredményeket is felhasználtam, valamint a talajba kerülő összes szerves szén mennyiségét becsültem.

Az aggregátum stabilitást *Kemper és Koch* (1966) módszertana szerint végeztem, egy Eijkelkamp „Wet Sieving Apparatus” készüléken, a száraz szítálás során keletkezett 1 és 2 mm közti talajfrakcióból. A humuszminőség mérésére az E4/E6 módszert használtam (KONONOVA, 1966, SCHNITZER, KAHN, 1989). A talaj szerves szén tartalmának meghatározása az MSZ 08-0452:1980 magyar szabvány szerint történt. A mikrobiális biomassza mérését kloroform fumigációs extrakciós módszerrel, *Vance et al.* (1987) leírása alapján végeztem. A fluoreszcein diacetát bontó aktivitás méréseket *Alef és Nannipieri* (1998) módszere szerint végeztem. A bekerülő szerves széntartalmat, pedig szakirodalmi adatok alapján becsültem.

A mérési eredményeket SPSS Student Version 15.0 statisztikai programmal, valamint Microsoft Office Excel programmal értékeltem ki, varianciaanalízist, Duncan tesztet, variációs koefficiens értéket és korrelációanalízist használva.

Az aggregátum stabilitás eredmények szerint csak a szerves kiegészítések okoztak statisztikailag igazolható eltéréseket. Öt mérésből három esetben volt szignifikáns a változás, ahol minden esetben a szárleszántás és zöldtrágya hatására nőtt leginkább stabil aggregátumok aránya. A sokéves átlaghoz közeli vagy magasabb hőmérséklet és kevesebb csapadék esetében volt statisztikailag igazolható a kezelések közti eltérés.

Az aggregátum stabilitás egyedül a mikrobiális biomassza mennyiségével mutat korrelációt, azonos mintából való mérések esetében azonban csak egy korrelációt találtam, mely szerint a mikroorganizmusok aggregációban betöltött szerepe jelentős lehet.

A talaj szerves széntartalma (SOC) szűk tartományon belül is mutat szignifikáns eltérést, miszerint az istállótrágya növelte jelentősebb mértékben a SOC mennyiségét. A SOC mennyisége a mikrobiális biomasszával mutat több esetben is korrelációt.

A humuszminőséget két mintavételből mértem, melyekből az egyik mutatott szignifikanciát a szerves kiegészítések hatására. Az eredmények alapján mindkét szerves kiegészítés hatására pozitívan változott az E4/E6 hányados értéke (tehát csökkent) a csak műtrágyázott parcellákhoz képest. A humuszminőség több esetben is negatívan korrelál a mikrobiális biomassza és aktivitás eredményekkel, mely szerint a könnyebben bontható kisebb

molekulatömegű humuszanyagok arányának növekedése csökkentette a biomasz mennyiségét és aktivitását.

A mikrobiális biomasz mennyiségére szignifikánsan pozitív hatással voltak a műtrágya mellett használt szerves kiegészítések. Az első két vizsgálati évben az istállótrágya kiegészítés hatására mértem magasabb biomasz mennyiséget, míg a harmadik évben a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés bizonyult a leghatékonyabbnak. Az MBC változásában az évjáráthatásnak is nagy szerepe volt, azonban egyértelmű szezonális tendenciát nem állapítottam meg. A N adagok nem voltak szignifikáns hatással az MBC-re, és trágyahatás általában nem lineáris, azaz a növekvő adaggal nem egyenletesen nő a mikroorganizmusok mennyisége. Az MBC időbeli változatossága az SZ+ZT kezelés hatására csökkent leginkább, tehát ez stabilizálta leginkább a mikrobiális közösséget.

Az FDA (fluorescein-diacetát) hidrolízis aktivitás esetében is csak a szerves kiegészítések esetében kaptam releváns eltérést. 2015-ben az istállótrágya, míg 2016-ban a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés eredményezte a legmagasabb enzimaktivitás értékeket.

A mikrobiális biomasz mennyisége és aktivitása között két esetben is pozitív korrelációt kaptam, mely szerint a metabolikusan passzív és aktív mikrobák aránya állandó marad szerves kezelések hatására.

A termésmennyiség a többi vizsgált paraméterrel ellentétben inkább N adag esetében mutat jelentős eltérést, ahol többnyire a nitrogént nem kapó, illetve az 1-es nitrogén adag eredményezett jelentősen kevesebb termést. Szerves kiegészítés esetében egyedül 2015-ben volt releváns eltérés, őszi búza jelzőnövényel, ahol az istállótrágya szignifikánsan pozitív hatással volt a termés mennyiségére.

A talajba kerülő szerves szén becsült értékei a termés mellett több esetben is mutatnak korrelációt a mikrobiális biomasz mennyiségével és aktivitásával, azonban a várakozással ellentétben (egy eset kivételével) nem a talajba kerülést követő évvel, hanem az azt követővel mutatott kapcsolatot.

Az adatok különbözősége a környezeti tényezők változékonyságából és egyéb tényezőkből (mintavétel időpontja, talaj állapota stb.) egyaránt adódhat, azonban egy több évtizede beállított tartamkísérletről lévén szó, az eredmények arra engednek következtetni, hogy a műtrágyázás mellett mindenképp indokolt valamilyen szerves kiegészítés (istállótrágya, szárleszántás+zöldtrágya) alkalmazása a talaj szerkezetének, a benne található humuszanyagok minőségének és mennyiségének, valamint talajaink biológiai állapotának hosszútávon történő fenntartása és javítása érdekében.

## 9. Tézispontok

### 9.1. Tézispontok magyarul

1. Az eredmények szerint a szármaradványok leszántása és zöldtrágya növény használata stabilizálta leginkább mikrobiális biomassza mennyiség értékeit, mivel az NPK+SZ+ZT kezelésnek szignifikánsan alacsonyabb a CV értéke az NPK és NPK+IST kezelésekhez képest (11. táblázat).
2. A kontrollhoz képest a szerves trágyázási módok közül a szárleszántás és zöldtrágya kiegészítés növelte legnagyobb mértékben az aggregátum stabilitást és a mikrobiális biomasszatömeget is. Az aggregátum stabilitás esetében, bár mindkét szerves kiegészítésnek (istállótrágya; szárleszántás+zöldtrágya) volt mérhető hatása, jelentős befolyás az NPK+SZ+ZT kezelésnek tulajdonítható, szignifikáns eltérés esetén minden esetben itt volt a legmagasabb stabilitási érték. A mikrobiális biomassza esetében az NPK+IST az első két évben többször is mutatott szignifikánsan magasabb értéket a többi kezeléshez képest, azonban az utolsó évben az NPK+SZ+ZT kezelés kiemelkedően magas MBC eredményeket adott az NPK és NPK+IST kezelésekhez képest.
3. A kísérleti körülmények között (IOSDV) a N adag a szerves anyag pótlás módjától eltérően közvetlenül nem befolyásolta szignifikánsan a talaj mikrobiális biomassza tömegét és aktivitását, valamint sem az aggregátum stabilitást, sem a humuszminőséget és mennyiséget. Jelen kísérletben a N adag hatása közvetetten nyilvánult csak meg, hiszen a növényi biomasszára szignifikáns hatása volt, így a talajban maradt gyökérmennyiség, valamint a leszántott szármaradványok és zöldtrágya mennyiségét befolyásolta.
4. Azonos mintavételből származó eredmények esetében három esetből kétszer (2015 és 2016 ősz) a metabolikusan aktív és passzív (dormans) mikrobák aránya nem mutat változást a szerves kiegészítések hatására. Ez a két erőteljes korreláció azt mutatja, hogy az aktív mikrobák növekedésével a passzív mikrobák száma is emelkedett (10. táblázat).
5. Humuszminőség 3 esetből kétszer erőteljesen negatívan korrelál a mikrobiális aktivitást mutató FDA aktivitással. Ez azzal a mikrobiális anyagcsere elmélettel magyarázható, miszerint ha a tápanyagforrások rendelkezésre is állnak, a mineralizáció csak akkor fokozódik, ha komplexebb szubsztrátum kerül a talajba (ALLISON, VITOUSEK, 2004). Az MBC-vel 6 mérésből csak egy esetében mutatott korrelációt a humuszminőség, így jelen vizsgálatban a két paraméter egyértelmű kapcsolata nem mutatható ki.

## 9.2. Thesis points

1. The results showed that the straw incorporation and the use of green manure plants stabilized the microbial biomass amount the most, as the CV value of NPK + SZ + ZT treatment was significantly lower compared to NPK and NPK + IST treatments (*table 11.*).
2. Compared to the control, among the organic fertilization methods, straw incorporation and green manure supplementation increased the aggregate stability and the volume of the microbial biomass the most. In the case of aggregate stability, although both organic supplements (manure; straw incorporation + green manure) had a measurable effect, a significant effect was attributed to the NPK + SZ + ZT treatment, in the case of a significant difference it had the highest stability value in all cases. In the case of microbial biomass, NPK + IST showed significantly higher values several times in the first two years compared to the other treatments. However, NPK + SZ + ZT treatment gave remarkably high MBC results in the last year compared to NPK and NPK + IST treatments.
3. Under the experimental conditions (IOSDV), the N dose, unlike the method of organic matter replacement, did not significantly affect the weight and activity of soil microbial biomass, the stability of the aggregate, or the quality and quantity of humus. In this experiment, the effect of N dose was only indirect, as it had a significant effect on plant biomass, thus influencing the quantity of roots left in the soil and the amount of incorporated straw and green manure.
4. In the case of the results from the exact sampling, twice in three cases (autumn 2015 and 2016), the proportion of metabolically active and passive (dormans) microbes does not show any change due to using organic supplements. These two strong correlations show that the number of passive microbes also increased with the growth of active microbes (*table 10.*).
5. Humus quality is strongly correlated with FDA activity showing microbial activity twice out of 3 cases. This can be explained by the microbial metabolism theory that, even if nutrient sources are available, mineralization is only enhanced when a more complex substrate enters the soil (ALLISON, VITOUSEK, 2004).  
Humus quality was correlated with MBC in only one of 6 measurements, so the present study could not detect a clear relationship between the two parameters.

## **10. Köszönetnyilvánítás**

Köszönettel tartozom témavezetőimnek Dr. Csitári Gábornak és Dr. Tóth Zoltánnak a munkám elkészítéséhez nyújtott segítségért és a vizsgálatok elvégzéséhez biztosított anyagi, laboratóriumi és műszaki háttérért. Köszönetet mondok Csütörtökiné Rigó Erzsébetnek a laboratóriumi vizsgálatok során nyújtott segítségével. Köszönöm Dr. Dunai Attilának az aggregátum stabilitás mérésében és az adatok elemzésében nyújtott segítségét. Köszönettel tartozom Várhelyi Vanda Kisannának is a segítségével.

Köszönöm nagyszüleimnek, hogy tanulmányaimat lehetővé tették és támogattak. És végül, de nem utolsó sorban férjemnek és kisfiamnak a megértést és támogatást.

## 11. Irodalomjegyzék

1. ALEF, K., NANNIPIERI, P. (eds.) (1998): Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press Limited, London. 232-233
2. ALLISON, S. D., VITOUSEK P. M. (2005): Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. *Soil Biology and Biochemistry* 37. 937-944
3. ANDERSON, M., KJØLLER A., STRUWE S. (2004): Microbial enzyme activities in leaf litter, humus and mineral soil layers of European forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 36. 1527-1537
4. ÁNGYÁN, J., MÁRKUS, F., ÓNODI, G., PODMANICZKY, L. (1997): A természetvédelmi, ökológiai szempontok üzemi szintű integrálása a mezőgazdasági birtokvezetésben. *Zöld Belépő*. Gödöllő-Budapest. 33
5. ANTAL, J. (1999): Az olajretek termesztése. *Agronapló X.*, 1. 65-66
6. ANTAL, J. (szerk.) (2005): *Növénytermesztéstan 1. Mezőgazda Kiadó*. Budapest. 19-79
7. ANTON, A. (1985): A talajenzimek szerepe a talaj anyagforgalmában, *Agrokémia és Talajtan*, Tom. 34. No. 3-4. 475-485
8. ANTOS, G., ÁRENDÁS, T., BIRKÁS, M., BLASKÓ, L., CSERNI, I., FARKAS, CS., GYURICZA, CS., JAKAB, P., JOLÁNKAI, M., JUHÁSZ CS., KADLICKÓ, B., KALOCSAI, R., LEHOCZKY, É., MEGYES, A., MESTERHÁZI, P. Á., PECZE, ZS., PERCZE, A., RÁTONYI, T., SCHMIDT, R., SZEMÓK, A., SZÖLLŐSI, I., TÓTH, Z., ZSEMBELI, J., ZSIGRAI, GY. (2006): *Földművelés és földhasználat*, Mezőgazda Kiadó
9. ARANDA, V., AYORA-CAÑADA, M.J., DOMÍNGUEZ-VIDAL, A., MARTÍN-GARCÍA, J. M., CALERO, J., DELGADO, R., VERDEJO, T., GONZÁLEZ-VILA, F.J. (2011): Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). *Geoderma* 164. 54–63
10. ARANYI, N., SZTAHURA, E. (2018): *Mezőgazdasági kézikönyv 2. Zöldtrágyázás*. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara
11. ARE, M., KAART, T., SELGE, A., ASTOVER, A., REINTAM, E. (2018): The interaction of soil aggregate stability with other soil properties as influenced by manure and nitrogen fertilization. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 105. No. 3. 195–202



12. ÁRENDÁS, T. (1998): Műtrágyák és szerves-trágyák hatása erdőmaradványos csernozjom talajon és néhány jellegzetes hazai talajtípuson. Kandidátusi (Ph.D.) értekezés. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár.
13. Arinze A. E., Yubedee A.G. (2000): Effect of fungicides on Fusarium grain rot and enzyme production in maize (*Zea mays L.*). Global Journal of Applied Sciences and Technology 6(4): 629-634
14. ASMUS, FR. (1983): Wirkung der organischen Düngung auf den Ertrag und die organische substanz sandiger Böden. In: Aktuelle Probleme der organischen Düngung unter Berücksichtigung der Güllewirtschaft. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch. Wiss. DDR. Berlin 31-39
15. BAI, Z., HE, H., XIE, H., ZHANG, M., ZHANG, X. (2008): Influences of fertilization and seasonal variation on microbial community in a chinese mollisol. Huan Jing Ke Xue.2008 Nov 29 (11): 3230-9
16. BALÁZS, J., KISMÁNYOKY, T., HOFFMANN, S. (1998): Homokhasznosítási problémák a Dél-Dunántúlon. In: Homoktalajok hasznosítása. (Szerk: Cserni I.) 21-34. KÉE. Kecskemét.
17. BALLWEG, M., PROOST, R., RUARK, M. (2020): Does oilseed radish provide nitrogen credits?, Crops WCM newsletter, Integrated Pest and Crop Management, News and Resources for Wisconsin Agriculture from the University of Wisconsin-Madison
18. BÁRBERI, P., L. O. CASCIO, B. (2001): Long-term tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. Weed research 41. 4. 325-340
19. BARTLOVA, J., BADALÍKOVÁ, B., BRTNICKY, M., HLADKY, J. (2014): Effect of water erosion on water stability of soil aggregates. 13<sup>th</sup> Alps-Adria Scientific Workshop, Villach, Ossiacher See, Austria. Vol. 63. 2014. Suppl. 165-168
20. BAUER, F. (1979): Növénytermesztés és tápanyag-gazdálkodás Duna-Tisza közti homoktalajokon. Agrártudományi Közlemények 38.3-4. 333-338
21. BAUER, F., CSERNI, I. (2002): Növénytermesztés és tápanyag-gazdálkodás Duna-Tisza közti lepelhomok talajokon. Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés, Nemzetközi konferencia. Debrecen, 2002. június 6-8. I. 91-96

22. BAUER, F., PROHÁSZKA, K. (1987): Műtrágyázással kombinált zöldtrágyák és istállótrágya hatásának összehasonlítása vetésforgó tartamkísérletben a Duna-Tisza közti lepelhomok talajon. *Növénytermelés*. 36. 6. 463-479
23. BEARE, M. H., COLEMAN JR. D.C., CROSSLEY D. A., HENDRIX P. F., ODUM E. P. (1995): A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, 170 (1), 5-22
24. BIRKÁS M. (2005): A talaj minőségének javítása, fenntartása. 245-266. In: Stefanovits P. – Michéli E. (Szerk.): A talajok jelentősége a XXI. Században. Marosi-Print Kft. Budapest, 403
25. BIRKÁS M. (2006a): A környezetkímélő, takarékos művelés gyakorlati alkalmazhatósága. 197-283 p. IN: Birkás, M. (Szerk.): Környezetkímélő alkalmazkodó talajművelés. Akaprint Nyomdaipari Kft. ISBN 963 06 0259 8
26. BIRKÁS, M. (2002): Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. SZIE, Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar, Gödöllő.
27. BIRKÁS, M. (2006b): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 199
28. BIRÓ, B. (2005): A talaj mint a mikroszervezetek élettere. 141-169. In: Stefanovits, P., Michéli, E. (Szerk.): A talajok jelentősége a XXI. Században. Marosi-Print Kft. Budapest
29. BIRÓ, B. (2006): A környezeti állapot megőrzésének, indikálásának és helyreállításának mikrobiológiai eszközei a növény-talaj rendszerben. Akadémiai doktori értekezés és tézisei, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
30. BIRÓ, B. (2018): A talajélet felismerése, mikor van szükség beavatkozásra? Talajgyetem gyakorló gazdáknak, avagy hogyan ismerjük meg a talajainkat? *Talajbiológia I. Agro Napló*, 6: 32-35
31. BIRÓ, B. (2020): Talajtan biogazdálkodóknak II., *Talajbiológia, talajfunkciók, Mezőgazdasági kézikönyv 6.*, Nemzeti Agrárgazdasági Kamara
32. BIRÓ, B., BARANYAI, V. (2018): Talajegészséget jelző talajbiológiai tulajdonságok. *Mezőhír*, 11: 42-44
33. BIRÓ, B., VILLÁNYI, I., KÖVES – PÉCHY, K. (2002): Abundance and adaptation level of some soil microbes in salt-affected soils. *Agrokémia és Talajtan*. 51. 99-106

34. BLAGODATSKAYA, E. AND KUZYAKOV, Y. (2013): Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry* 67. 192-211
35. BLANCO-C., H., LAL, R. (2007): Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil & Tillage Research* 95. 240-254
36. BONKOWSKI, M. (2018): Inplamint- Increasing agricultural nutrient-use efficiency by optimizing plant-soil-microorganism interactions, TP UoC
37. BRONICK, C.J., LAL. R. (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124. 3-22
38. BUDAY, F. (1976): Mikrobiológia, Agrártudományi Egyetem Mikrobiológia tanszék, Gödöllő
39. BURNS, R. G. (1982): Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 14, Issue 5, 423-427
40. CARDINALE B.J., DUFFY J.E., GONZALEZ A., HOOPER D.U., PERRINGS C., VENAIL P., NARWANI A., MACE G.M., TILMAN D., WARDLE D.A., KINZIG A.P., DAILY G.C., LOREAU M., GRACE J.B., LARIGAUDERIE A., SRIVASTAVA D.S., NAEEM S. (2012): Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59-67
41. CHAGNON, M., PARÉ, D., HÉBERT, C., CAMIRÉ, C. (2001): effects of experimental liming on Collembolan communities and soil microbial biomass in a southern Quebec sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) *Applied Soil Ecology*, 17. 81-90
42. CHAN, K. Y., HEENAN, D. P. (1999): Microbial induced soil aggregate stability under different crop rotations. *Biology and Fertility of Soils*. 30. 29-32
43. CHEN, B., LIU, E., TIAN, Q., YAN, C. AND ZHANG, Y. (2014): Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34. 429–442
44. CSATHÓ P., NÉMETH, I., BIRCSÁK, É., FÖLDINÉ NÉMETH, Zs., RADIMSZKY, L., NÉMETH, T. (2005): A nitrogén- műtrágyázás utóhatásának vizsgálata dunántúli barna erdőtalajokon, *Agrokémia és Talajtan*, No.54. 59-76
45. CSITÁRI, G., DUNAI, A., TÓTH, Z., HERNÁDI, H. (2014): Mikrobiális biomasszatömeg és a talajfizikai állapot vizsgálata trágyázási tartamkísérletben. *Talajtani Vándorgyűlés*. 19-28

46. CSITÁRI, G., HOFFMANN, S. (2005): Comparative study on soil biological parameters at a long-term field experiment. Archives of Agronomy and Soil Science. October 2005. 51 (5). 563-569
47. DEBRECZENI B.-NÉ, NÉMETH, T., TÓTH G. (2003) A földminőség tápanyag tényezője In: Gaál, Máté, Tóth (2003) Földminőség és földhasználati információ, Veszprémi Egyetem, Keszthely, 44
48. DEBRECZENI, B. (1994): Magyarországi trágyázási tartamkísérletek. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. (Szerk: Debreczeni B. és Debreczeni B-né), Akadémiai Kiadó, Budapest, 26-39
49. DEBRECZENI, B.-NÉ (2009): Nemzetközi áttekintés a világ szántóföldi tartamkísérleteiről. In: Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti eredményei (1967-2001). Szerk.: Debreczeni B.-né és Németh, T. Akadémiai Kiadó. Budapest. 19-23
50. DEGENS, BP (1997): Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. Australian Journal of Soil Research 35: 431-459
51. DEXTER, A. R. (2002): Soil structure: the key to soil function. Advances in GeoEcology 35. 57-69
52. DICKEY, E. C., JASA, P. J., GRISSO, R. D. (1994): Long term tillage effectson grain yield and soil properties in a soybean/grain sorghum rotation, Journal of Production Agriculture. 7. 465-470
53. DIMOYIANNIS, D. (2009): Seasonal aggregate stability variation in relation to rainfall and temperature under mediterranean conditions. Earth Surface Processes and Landforms 34 (6): 860-866
54. DÓKA, L. F., SZABÓ, A. (2014): The effect of fertilization and some agrotechnical elements on maize yield. 13<sup>th</sup> Alps-Adria Scientific Workshop, Villach, Ossiacher See, Austria. Vol. 63. 2014. Suppl. 23-26
55. DUNAI, A., HARMAT, A., MAKÓ, A., TÓTH, Z. (2012): Talajok aggregátum stabilitásának összehasonlító vizsgálata. Talajvédelem Különszám. 145-157
56. DUNAI, A., TÓTH, Z. (2015): Szerves és műtrágyázás tartamhatása a talajaggregátumok stabilitására agyagbemosódásos barna erdőtalajon. Agrokémia és Talajtan. 64 (2015) 1. 29-52

57. EISENLORD, S. D., ZAK, D. R. (2010): Simulated atmospheric nitrogen deposition alters actinobacterial community composition in forest soils. *Soil Science Society of America Journal* 74, 1157–1166
58. ELBL, J., MAKOVÁ, J., JAVOREKOVÁ, S., MEDO, J., KINTL, A., LOŠÁK, T., LUKAS, V. (2019): Response of microbial activities in soil to various organic and mineral amendments as an indicator of soil quality. *Agronomy*. 2019. 9. 485
59. ENEV, V., POSPILOVA, L., KLUCAKOVA, M., LIPTAJ, T., DOSKOCIL, L. (2014): Spectral characterization of selected humic substances. *Soil & Water Research* 9. 1. 9–17
60. EVANGELOU, E., TSADILAS, C., GIOURGA, C. (2021): Seasonal variation of soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by land use in a mediterranean agro ecosystem. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, volume 52, Issue 3, 222-234
61. FAO (1985): *Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture*. FAO Soils Bulletin 55. Rome
62. FENYVES, T. (1996): *A fenntartható gazdálkodás néhány agronómiai feltétele, különös tekintettel a műveléshatásra, a gyomosságra és a trágyázásra*. PhD értekezés, Gödöllő
63. FIERER, N., STRICKLAND, M. S., LIPTZIN, D., BRADFORD, M. A. & CLEVELAND, C. C. (2009) Global patterns in belowground communities. *Ecology Letters*. 12. 1-12
64. FÖLDESI, P. (2013): *Alkalmazkodó, környezetkímélő talajművelés feltételeinek megteremtése szántóföldi körülmények között*. Doktori (PhD) értekezés, Gödöllő
65. FRANCÉ, R. H. (1913): *Das Edaphon. Untersuchungen zur Oekologie der bodenbewohnenden Mikroorganismen*. München
66. FREEMAN, C., LISKA, G., OSTLE, N.J., JONES, S.E., LOCK, M.A. (1995): The use of fluorogenic substrates for measuring enzyme activity in peatlands. *Plant and soil* 175. 147-152
67. GAO, S., GAO, J., CAO, W., ZOU, C., HUANG, J., BAI, J., DOU, F. (2018): Effects of long-term green manure application on the content and structure of dissolved organic matter in red paddy soil. *Journal of Integrative Agriculture* 2018.17 (8). 1852-1860
68. GAUTAM, A., SEKARAN, U., GUZMAN, J., KOVÁCS, P, HERNANDEZ, J. L. G., KUMAR, S. (2020): Responses of soil microbial community structure and enzymatic activities to long-

- term applicatoin of mineral fertilizer and beef manure, Environmental and Sustainability Indicators. 8 (2020) 100073
69. GODÓ, Z. (2011): Agro-ökológia. 92
70. GRÁBNER, E. (1956): Szántóföldi növénytermelés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest
71. GUO, Z., ZHANG, L., YANG, W., HUA, L., CAI, C. (2019): Aggregate stability under long-term fertilization practices: The case of eroded ultisols of south-central China. Sustainability 2019, 11, 1169
72. GYÖRFFY, B. (1960): Kukorica-trágyázási és művelési kísérletek. MTA Agrártudományi Közl. XVII. kötet
73. GYÖRI, D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
74. GYULAI I. (2012): A fenntartható fejlődés. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány, Miskolc
75. GYURICZA, CS. (2001): Vetésforgó, vetésváltás. Növénytermesztés. 2001/1. 49
76. GYURICZA, CS. (2008): Az újra felfedezett zöldtrágyázás. Agrofórum 19. 7. 46-51
77. HARTMANN, M., FREY, B., MAYER, P., MÄDER, P., WIDMER, F. (2015): Distinct soil microbial diversity under long-term organic- and conventional farming. The International Society for Microbial Ecology Journal (2015) 9, 1177-1194
78. HAYNES, R.J., NAIDU, R. (1998): Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 51. 123- 137
79. HEITKAMP, F., RAUPP J., LUDWIG, B. (2009): Impact of fertilizer type and rate on carbon and nitrogen pools in a sandy Cambisol. Plant and Soil 319. 259–275
80. HELMECZI, B. (1994): Mezőgazdasági mikrobiológia. Mezőgazda Kiadó. Budapest
81. HERMAVAN, B., CAMERON, K. C. (1993): Structural changes in a silt loam under long-term conventional or minimum tillage. Soil & Tillage Research 26. 139- 150
82. HERNÁDI, H., BARNA, GY., MAKÓ, A. (2017): Talajszerkezet és aggregátum stabilitás, Agrárágazat. (<https://agraragazat.hu/hir/talajszerkezet-es-aggregatum-stabilitas/>)

83. HILL, P., KRISTÓFEK, V., DIJKHUIZEN, L., BODDY, C., KROETSCH, D., VAN ELSAS, J. D. (2011): Land use intensity controls actinobacterial community structure. *Microbial Ecology* 61. 286-302
84. HOFFMANN, S. (2009): A talaj termékenységének változása szerves- és műtrágyázás hatására egy 46 éves szántóföldi tartamkísérletben. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T., MTA MGKI, Martonvásár. 227-233
85. HOFFMANN, S., BEREZ, K. HOFFMANN, B., BANKÓ, L. (2008): Yield response and N-utilization depending on crop sequence and organic or mineral fertilization. *Cereal Research Communications Suppl.* 36. 1. 1631-1634
86. Hoorman, JJ., Islam, R. (2010): Understanding soil microbes and nutrient recycling. *Agricultural and Natural Resource.* 16 (10)
87. HUISZ, A. (2007): A talaj aggregátum-stabilitása az egységes aggregátum- stabilitási mutató tükrében. *Agrártudományi Közlemények, 2007/26. Különszám.* 83-99
88. HUISZ, A. (2012): A talajszerkezet és szervesanyag-megoszlás változásainak jellemzése új módszerekkel művelési tartamkísérletben. PhD értekezés, Debreceni Egyetem.
89. HUISZ, A., TÓTH, T., NÉMETH, T. (2008): Tarlómaradványok hatása a talaj aggregátum-stabilitására. *Agrártudományi Közlemények, 2008/30.* 23-32
90. IBRAHIM, A. N., KAMEL, M., EL-SHERBENY, M. A. (1971): A *Tolypotrix tenius* algával történő oltás hatása a rizs termésére és a talaj nitrogénmérlegére. *Agrokémia és Talajtan* 20. 389-399
91. JASA, P. J., GRISSO, R. D., HUNTER, C. C., DICKEY, E. C. (1999): Conservation tillage influences on grain yield in a dryland soybean/grain sorghum rotation. *ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting,* 15
92. JENKINSON D. S. (1977): The soil microbial biomass. *New Zealand Soil News* 25. 213–218
93. JENKINSON, D. S. (1991): The Rothamsted long-term experiments: are they still of use? *Agronomy Journal.* 83, 1, 2-10

94. JIANG, R., SUN, L., HU, H. (2012): The seasonal dynamics of soil microbial biomass of a *Larix gmelinii* forest after wildfire. African Journal of Microbiology Research Vol. 6(10), 2328-2337
95. JOHNSON, J. M-F., ALLMARAS, R. R., REICOSKY, D. C. (2006): Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. Agronomy Journal 98. 622-636
96. JOLÁNKAI, M. (2008): Ember által befolyásolt ökoszisztémák (Növénytermesztési körülmények, Szántóföldi növénytermesztés, Kártevők, kórokozók, gyomok, Alkalmazkodási lehetőségek, javaslatok). In: Harnos, Zs., Gaál, M., Hufnagel, L. (szerk.) Klímaváltozásról mindenkinek. Budapesti Corvinus Egyetem. Budapest. 89-129
97. JOLÁNKAI, M., NYÁRAI H.,F., KASSAI, K. (2009): A tartamkísérletek szerepe a növénytermesztési kutatásban és oktatásban, Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében, MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár. 31-37
98. KÁDÁR, I, SARKADI, J. (2010): Szemelvények az Agrokémiai és Növény táplálási Osztály kutatásaiból (1974-2009): Növénytermelés. 59(4): 107-135
99. KÁDÁR, I. (2012): Mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet első évtizedének tanulságai. MTA, ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest
100. KÁDÁR, I. (2013): Szennyvizek, iszapok, komposztok, szerves trágyák a talajtermékenység szolgálatában. MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet. Budapest. ISBN: ISBN 978-963-89041-9-5.
101. KÁDÁR, I., SZEMES, I., LOCH, J., LÁNG, I. (2011): A nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérlet 50 éve, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest
102. KAKUSZI, Z., BIRKÁS, M. (2014): Data of the mulch tillage for summer sown potato. 13<sup>th</sup> Alps-Adria Scientific Workshop, Villach, Ossiacher See, Austria. Vol. 63. 2014. Suppl. 209-212
103. KALLENBACH, C., GRANDY, A. S. (2011): Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment. 144. 241-252



- 104.KALOCSAI, R., SCHMIDT, R., SZAKÁL, P., GICZI, ZS., POGÁNY, É. (2007): Az istállótrágyázás és helye a tápanyag-gazdálkodás gyakorlatában, Szántóföld Szakfolyóirat, 2007/09, 69-74
- 105.KAPOOR, R., SHARMAD-BATHNAGAR, A. K. (2008): Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae*. 116. 227-239
- 106.KARA, E., PENEZOGLU, M. (2000): The effect of green manuring on soil organic content and soil biological activity. *Anadolu*. 10. 1. 73-86
- 107.KÁTAI, J. (1999): Talajmikrobiológiai jellemzők változása trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan* 48. 348-360
- 108.KÁTAI, J. (2006) Changes in soil characteristics in a mono- and triculture long-term field experiment. *Agrokémia és Talajtan* 55. 183-192
- 109.KÁTAI, J. (2011): Alkalmazott talajtan. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem
- 110.KÁTAI, J., DÖRING, T., TÁLLAI, M., BALLA-KOVÁCS, A., HENZSEL, I., MAKÁDI, M., SÁNDOR, ZS., VÁGÓ, I. (2018): Influence of alternative plant nutrition methods on soil microbial characteristics in long-term experiments. *Agrochemistry and Soil Science*. 67 (2018) 1, 79-90
- 111.KÁTAI, J., ZSUPOSNÉ OLÁH, Á., SÁNDOR, ZS., TÁLLAI, M. (2014): Soil microbiological processes of carbon- and nitrogen cycle in a long-term fertilization experiment. 13<sup>th</sup> Alps-Adria Scientific Workshop, Villach, Ossiacher See, Austria. Vol. 63. 2014. Suppl. 205-208
- 112.KAUTZ, T., WIRTH, S., ELLMER, F. (2004): Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. *European Journal of Soil Biology*. 40. 87-94
- 113.KEMENESY, E. (1972): Földművelés-Talajerőgazdálkodás, Akadémiai Kiadó, Budapest, 25-30, 42-53, 170-215
- 114.KEMPER, W.D., KOCH, E.J. (1966): Aggregate stability of soils from western United States and Canada. Measurement procedure, correlation with soil constituents. in: Technical Bulletin. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service 1966. 52

- 115.KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C. (1986): Aggregate stability and size distribution. In A. Klute, Ed. Methods of Soil Analysis Part 1,2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, 425–442
- 116.KEREKES, S. (2007): A környezetgazdaságtan alapjai. Aula Kiadó, Budapest.
- 117.KIM, H. T. (2003): Humic matter in soil and the environment. Marcel Dekker Inc. New York, USA, 194-196
- 118.KISMÁNYOKY, A. (2010): Agrotechnikai tényezők hatása a kultúrnövényekre és a gyomosodásra. Doktori (PhD) értekezés, Keszthely
- 119.KISMÁNYOKY, T. (1993): Trágyázás, Szervestrágyázás In: Földműveléstan (Szerk.: Nyíri, L.) Mezőgazda Kiadó, Budapest, 195-236
- 120.KISMÁNYOKY, T. (1994a): A növény és környezete, In: Ivány, K., Kismányoky, T., Ragasits, I.: Növénytermesztés, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 33
- 121.KISMÁNYOKY, T. (1994b): Trágyázás, In: Ivány, K., Kismányoky, T., Ragasits, I.: Növénytermesztés, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 53-68
- 122.KISMÁNYOKY, T. (1994c): A talajművelés alapjai, In: Ivány, K., Kismányoky, T., Ragasits, I.: Növénytermesztés, Mezőgazda Kiadó, Budapest. 36-48
- 123.KISMÁNYOKY, T., BALÁZS, J. (1996): Keszthelyi tartamkísérletek. Pannon Agrártudományi Egyetem, Keszthely.
- 124.KISMÁNYOKY, T., JOLÁNKAI, M. (2009): Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek. (Szerk.: Debreczeni B.-né) 25-33
- 125.KISMÁNYOKY, T., TÓTH, B. (2016): Catch crop (oil radish) functions in long-term cereal crop rotation. Columella –Journal of Agricultural and Environmental Sciences, Vol. 3, No1. 19-28
- 126.KONONOVA, M. M. (1966): Soil organic matter. Pergamon Press Ltd, Oxford, 544
- 127.KOVÁCS CSOMOR, ZS, NAGY Z. (2003): Komoly kihívás az olajretek termesztése. Gyakorlati Agroforum. 14. 1. 47-49
- 128.KOVÁCS, G. (2009): Alternatív gabonák ökotermesztése. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztésben. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár. 115-119
- 129.KÖNNECKE, G. (1969): Vetésforgók. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

130. KÖRSCHENS, M. (2006): The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research- a review. *Plant soil Environmental (Special Issue)* 1-8
131. KÖRSCHENS, M., ALBERT, E., ARMBRUSTER, M., BARKUSKY, D., BAUMECKER, M., BEHLE-SCHALK, L., BISCHOFF, R., ČERGAN, Z., ELLMER F., HERBST, F., HOFFMANN, S., HOFMANN, B., KISMANYOKI, T., KUBAT, J., KUNZOVA, E., LOPEZ-FANDO, C., MERBACH, I., MERBACH, W., PARDOR, M.T., ROGASIK, J., RÜHLMANN, J., SPIEGEL, H., SCHULZ, E., TAJNSEK, A., TOTH, Z., WEGENER, H., ZORN, W. (2013): Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 1017-1040
132. KÖRSCHENS, M., DEBRECZENI, K. (2003): Long-term field experiments of the world. *Archives of Agronomie and Soil Science*. 49. 465-483
133. KÖRSCHENS, M., WEIGEL, A., SCHULTZ, E., (1998) Turnover of soil organic matter and long term balances-tools for evaluating productivity and sustainability. *Z. Planz. Bodenk.* 161. 409-424
134. KRAMER, D. N., GUILBAULT, G. G. (1963): A substrate for the fluorimetric determination of lipase activity. *Analytical Chemistry* 35. 588-589
135. LAL, R. (1991): Soil structure and sustainability, *Journal of Sustainable Agriculture*, 1. 67-92
136. LANCASHIRE, P.D., BLEIHOLDER, H., VAN DEN BOOM, T., LANGELÜDDECKE, P., STAUSS, R., WEBER, E., WITZENBERGER, A. (1991): A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119. 3. 561-601
137. LÁNG, G. (1960): Istállótrágyagazdálkodás a vetésváltó földművelési rendszerben. *Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványai*. Budapest.
138. LANGMAACK, M. (1999): Earthworm communities in arable land influenced by tillage, compaction, and soil. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 8. 11-21
139. LUO, P., HAN, X., WANG, Y., HAN, M., SHI, H., LIU, N., BAI, H. (2015): Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial and fungal community structure in a brown soil of northeast China. *Annals of Microbiology* 65. 533–542

140. LUPWAY, N. Z., LEA, T., BEAUDOIN, J. L., CLAYTON, G. W. (2005): Soil microbial biomass, functional diversity and crop yields following application of cattle manure, hog manure and inorganic fertilizers. *Canadian Journal of Soil Science*. 85. 193-201
141. LYNCH, J. M., BRAGG, E. (1985): Microorganisms and soil aggregate stability, *Advances in Soil Science*, Vol 2. 133-171
142. MA, B. L., DWYER, L. M. (2000): Maize kernel moisture, carbon and nitrogen concentrations from silking to physiological maturity. *Canadian Journal of Plant Science*, 225-232
143. MAKOI, J. H. J. R., NDAKIDEMI, P. A. (2008): Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. Review. *African Journal of Biotechnology* Vol. 7 (3) 189-191
144. MANNA, M. C., SWARUP, A., WNJARI, R. H., MISHRA, B., SHAHI, D. K. (2007): Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil and Tillage Research* 94 (2007) 394-409
145. MANNINGER, G. A. (1957): A talaj sekély művelése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
146. MARTIN, J. P., MARTIN, W. P., PAGE, J. B., RANEY, W. A., DE MENT, J. D. (1955): Soil aggregation, *Advances in Agronomy*, Vol 7. 1-37
147. MÁRTONFFI, ZS. (1864): A váltógazdaság vagy az okszerű mezőgazdászati és falusi háztartás alapelvei. Nagyszében.
148. MIKÁNOVÁ, O., FRIEDLOVÁ, M., ŠIMON, T. (2009): The influence of fertilisation and crop rotation on soil microbial characteristics in the long-term field experiment. *Plant Soil Environ.* 55. 2009 (1). 11-16
149. MIKÓ, P. (2009): A zöldtrágyázás talajállapotra és utóveteményre gyakorolt hatásainak vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő.
150. MOLINA, J. A. E., CLAPP, C. E., LINDEN, D. R., ALLMARAS, R. R., LAYESE, M. F., DOWDY, R. H., CHENG, H. H. (2001): Modeling incorporation of corn (*Zea mays* L.) carbon from roots and rhizodeposition into soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 33. 83–92
151. MSZ 08-0452:1980. Szervesanyag-tartalom meghatározás talajban.

152. MÜLLER, G. (1991): Az agroökológia talajmikrobiológiai kérdései és az intenzív mezőgazdasági termelés. *Agrokémia és Talajtan*. Budapest. 40 (1991) 1-2. 263-271
153. NAGY, I. (2021): Zöldítés kérdezz-felelek. *MezőHír*-2021/06.
154. NAGYVÁTHY, J. (1824): *Magyar Practicus Termesztő*, Pest, 44-48
155. NEALE, S. P., SHAH, Z., ADAMS, A. (1997): Changes in microbial biomass and nitrogen turnover in acidic organic soils following liming. *Soil Biology and Biochemistry*. 29. 1463-1474
156. NÉMETH I., NAGY B., DORNER Z. (2003): A zöldtrágyanövények hatása a gyomosodásra. *Növénytermelés*. 52. 5. 495-505
157. NÉMETH, T. (1994): Konferencia a Rothamstedi Kísérleti állomás Állomás 150. évfordulóján, *Agrokémia és Talajtan*, 43. 3-4. 415-416
158. NICHOLSON, F. A., COOK, S., KINDRED, D. R., BHOGAL, A. (2014): Straw incorporation review. *Research Review* 81. doi: 10.13140/RG.2.1.2364.2721
159. NIKIFOROFF, C. (1941): Hardpan and microrelief in certain soil complexes of California. *Technical Bulletin*. 745. US. Department of Agriculture, Washington, Washington D. C.
160. OBERDOERSTER, U., PESCHKE, H., MOLLENHAUER, S. (1997): Einfluss mineralischer und organischer N-düngung auf bodenmikrobiologische parameter im internationalen organischen stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-dahlem. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Vol. 42. 11-19
161. OZLU, E., SANDHU, S. S., KUMAR, S., ARRIAGA, F. J. (2019): Soil health indicators impacted by long-term cattle manure and inorganic fertilizer application in a corn-soybean rotation of South Dakota. *Scientific Reports*. (2019) 9: 11776
162. PAGLIAI, M., VIGNOZZI, N., PELLEGRINI, S. (2004): Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research* 79. 131-143
163. PATLE, P. N., NAVNAGE, N. P., BARANGE, P. K. (2018): Fluorescein Diacetate (FDA): measure of total microbial activity and as indicator of soil quality. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. (2018) 7 (6): 2103-2107
164. PATÓCS, I. (1987): Új műtrágyázási irányelvek. MÉM Növényvédelmi Agronómiai Központ. Budapest.

165. PATÓCS, V. (2015): A mezőgazdasági tevékenységeink hatása környezetünkre, különös tekintettel talajainkra. Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok. 53-58
166. PAUL, E. A. (ed.) (2007): Soil microbiology, ecology, and biochemistry 3rd ed. Elsevier Inc., New York. 286
167. PEACOCK, A. D., MULLEN, M. D., RINGELBERG, D. B., TYLER, D. D., HEDRICK, D. B., GALE, P. M., WHITE, D. C. (2001): Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. Soil Biology and Biochemistry 33. 1011–1019
168. PEPÓ, P. (2005): Olaj-és iprai növények In: ANTAL, J. (szerk.) (2005): Növénytermesztés 1. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 307-312
169. PETHE, F. (1805): Pallérozott Mezei Gazdaság, Sopron,
170. POWLSON, D.S., BROOKES, P.C., CHRISTENSEN, B.T. (1987): Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biology and Biochemistry 19. 2. 159-164
171. PROSSER, J. I., BOHANNAN, B. J. M., CURTIS, T. P., ELLIS, R. J., FIRESTONE, M. K., FRECKLETON, R. P., GREEN, J. L., GREEN, L. E., KILLHAM, K., LENNON, J. J., OSBORN, A. M., SOLAN, M., VAN DER GAST, C. J., W. YOUNG, J. P. (2007): The role of ecological theory in microbial ecology. Nature Reviews Microbiology 5. 384-392
172. RADERSCHALL, R., GEBHARDT, H. (1990): Field experiments on the N dynamics of an aquatic plaggan soil cultivated with winter crops following legumes (*Vicia faba* L.) Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 153: 75–80
173. RADICS, L. (1989): Agroökológiai tényezők hatása a szántóföldi gyomnövényzetre. Kandidátusi értekezés. Gödöllő
174. RASOOL, R., KUKAL, S. S., HIRA, G. S. (2008): Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system. Soil Tillage Research 2008, 101, 31–36
175. RICHTER, D., HOFMOCKEL, M., CALLAHAM MAC, A., POWLSON, D.S., SMITH, P. (2007): Long-term soil experiments: Keys to managing Earth's rapidly changing ecosystems. Soil Science Society of America Journal 71. 266–279
176. SÁRDI, K. (2011): Tápanyag-gazdálkodás, Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem

- 177.SARKADI, J. (1991): Szerves- és műtrágyák hatása a búza és kukorica termésére. *Agrokémia és Talajtan*. 40. 67-97
- 178.SAUERBECK, DR. (1982): Influence of crop rotation, manurial treatment and soil tillage on the organic matter of German soils. In: Boels D, Davies DB and Johnston AE (eds) *Soil Degradation, Proceeding of the EEC Seminar held in Wageningen, Netherlands, Rotterdam*. A A Balkema. 163-179
- 179.SCHMIDT, R. (2011): *Földműveléstan*. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem
- 180.SCHNITZER, M., KHAN, S. U. (eds.) (1989): *Soil organic matter*. Elsevier Science Publishers B. V., Netherlands, 11-13
- 181.SESSITICH, A., WEILHARTER, A, GERZABEK, M. H., KIRCHMANN, H., KENDELER, E. (2001): microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term field experiment. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 67, No. 9. 4215-4224
- 182.SHI Y., YU Z., WANG D., LI Y., WANG Y. (2007): Effects of nitrogen rate and ratio of base fertilizer and topdressing on uptake, translocation of nitrogen and yield in wheat, *Frontiers of Agriculture in China* 1. 2. 142-148
- 183.SHUIJE, M., YUNFA, Q., LIANREN, Z. (2009): Aggregation stability and microbial activity of China's black soils under different long-term fertilisation regimes. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2009, Vol. 52. 57-67
- 184.SIX J., CALLEWAERT P., LENDERS S., DE GRYZE S., MORRIS S.J., GREGORICH E.G., PAUL E.A., PAUSTIAN K. (2002): Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America Journal*, 66. 1981–1987
- 185.SIX, J., ELLIOT, E. T., PAUSTIAN, K. (2000): Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*. 64. 1042-1049
- 186.SONG, X, LIU, S., LIU, Q., ZHANG, W., HU, C. (2014): Carbon sequestration in soil humic substances under long-term fertilization in a wheat-maize system from north China. *Journal of Integrative Agriculture*, 13. 3. 562-569
- 187.SONNLEITNER, R., LORBEER, E., SCHINNER, F. (2003): Effects of straw, vegetable oil and whey on physical and microbiological properties of a chernozem. Volume 22, Issue3, March 2003, 195-204

188. SOON, Y. K., ARSHAD, M. A. (2005): Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. *Soil and Tillage Research*. 80. 23-33
189. SPARLING, G. P. (1992): Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*. 30. 2. 195 - 207
190. STEFANOVITS, P. (1992): *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
191. STEFANOVITS, P., FILEP, GY., FÜLEKY, GY. (1999): *Talajtan* (Szerk.: Füleky, Gy., Filep, Gy.) Mezőgazda Kiadó. Budapest.
192. SWISHER, R., CARROLL, G. C. (1980): Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces. *Microbial Ecology* 6. 217-226
193. SZABÓ, I. M. (1986): *Az általános talajtan biológiai alapjai*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 128-137
194. SZABÓ, I. M. (2008): *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mundus Magyar Egyetemi Kiadó, Budapest.
195. SZILI-KOVÁCS, T., MOLNÁR, E., VILLÁNYI, I., KNÁB, M., BÁLINT, Á., HELTAI, GY., ANTON, A. (2012): CO<sub>2</sub> kibocsátás és mikrobiális aktivitás bolygatatlan talajoszlopban ásványi és istállótrágya kezelésekre hatására kukorica jelzőnövényekkel. In: Lehoczky, É. (szerk.) *Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben*. MTA Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest, 61-64
196. SZILI-KOVÁCS, T., TÓTH, J. A. (2006): A talaj mikrobiális biomassza meghatározása kloroform fumigációs módszerrel. *Agrokémia és Talajtan*, 55. 2. 515-530
197. SZILI-KOVÁCS, T., ZSUPOSNÉ, O. Á., KÁTAI, J., VILLÁNYI, I., TAKÁCS, T. (2009): Talajbiológiai és talajkémiai változók közötti összefüggések néhány tartamkísérlet talajában. *Agrokémia és Talajtan* 58. 309-324
198. TAKÁCS, T., VÖRÖS, I. (2006): Colonization of arbuscular endomycorrhizal fungi on maize affected by various N rates in long-term field experiments. *Advanced Soil Science Theory and Practice for MS.c. Students*. TEMPUS CD\_JEP-34036-2006.112-117
199. TANŠEK, A., ČERGAN, Z., ČEH, B. (2013): Results of the long-term field experiment IOSDV Jable at the beginning of the 21st century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59:8, 1099-1108, DOI: 10.1080/03650340.2012.697996



200. TERBE, I. (2019): Sok szerves anyagot dolgoztam a talajba, mégis sárgulnak a növények! Mit tegyek? Agroinform.hu, Kertészet és szőlészet, szakcikk, [https://www.agroinform.hu/kerteszeti\\_szoleszet/sok-szerves-anyagot-dolgoztam-a-talajba-megis-sargulnak-a-novenyek-mit-tegyek-41157-001](https://www.agroinform.hu/kerteszeti_szoleszet/sok-szerves-anyagot-dolgoztam-a-talajba-megis-sargulnak-a-novenyek-mit-tegyek-41157-001)
201. THAER, A. (1809-1821): Az ésszerű mezőgazdaság alapjai IV. rész. A trágyázásról. (A magyar kiadást szerkesztette és kiadta Kádár Imre, 1996)
202. TISDALE, J. M., OADES, J. M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science*. 33. 141-163
203. TÓTH, G. (2009): Hazai szántóink földminősítése a D-e-Meter rendszerrel, *Agrokémia és talajtan* 58 (2009) 2, 227-242
204. TÓTH, Z. (2001): A talajtermékenység vizsgálata vetésforgóban és monokultúrában. Doktori (Ph.D) értekezés. Keszthely
205. TÓTH, Z., KISMÁNYOKY, T. (2009): Vetésforgók, trágyázási rendszerek és a fenntartható növénytermesztés összefüggései. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztésben. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár. 175-180
206. TRASAR-CEPEDA, C., HERNÁNDEZ, T., GARCÍA, C. RAD, C. (2012): Soil enzymology in the recycling of organic wastes and environmental restoration. Springer
207. TRESEDER, K. K. (2008): Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology Letters* 11. 1111–1120
208. TROEH F. R., THOMPSON W. J. (2005): Soil and soil fertility. (6<sup>th</sup> edition) Blackwell publishing
209. UNGER, P. W., STEWART, B. A., PARR, J. F., SINGH, R. P. (1991): Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research* 20. 219-240
210. USSIRI, D. A., LAL, R. (2013): Land management effects on carbon sequestration and soil properties in reclaimed farmland of Eastern Ohio, USA. *Open Journal of Soil Science* 3. 46-57
211. VANCE, E. D., BROOKES, P. C., JENKINSON, D. S. (1987): An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19. 6. 703-707

212. VÁRALLYAY, GY. (2016): A talaj multifunkcionalitása és korlátozó tényezői. *Magyar Tudomány*, 177 (10): 1162-1174
213. VARGA, CS., FEKETE, I., KOTROCZÓ, ZS., KRAKOMPERGER, ZS., VINCZE, GY. (2008): The Effect of litter on soil organic matter (SOM) turnover in Síkfőkút site. *Cereal Research Communications* 36. 547-550
214. VARGA, S. (2020): Aggregátumstabilitás mikroorganizmusokkal, *Agronapló*, 2020.03. 62
215. VILLÁNYI, I., FÜZY, A., ANGERER, I., BIRÓ, B. (2006): Total catabolic enzyme activity of microbial communities. Fluorescein diacetate analysis (FDA). In: Jones, D. L. (ed.): *Understanding and modelling plant-soil interactions in the rhizosphere environment. Handbook of methods used in rhizosphere research.* Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf. 441–442
216. WARDLE, D.A. (1998): Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis. *Soil Biology and Biochemistry* 30:13, 1627-1637
217. WHALEN, J.K., CHANG, C., OLSON, B.M. (2001): Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biology and Fertility of Soils* 34. 334–341
218. YAN, W., ZHONG, Y., SHANGGUAN, Z. (2015): The relationships and sensibility of wheat C:N:P stoichiometry, *Plant Soil and Environment*. Vol. 61, 2015, No. 5: 201-207
219. ZADOCK, J. C., CHANG, T. T. AND KONZAK, C. F. (1974): A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14. 415-421
220. ZAK, D. R., TILMAN, D., PARMENTER, R. R., RICE, C. W., FISHER, F. M., VOSE, J., MILCHUNAS, D., MARTIN, C. W. (1994): Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: A continental scale study. *Ecology* 75. 8. 2333-2347
221. ZSOLDOS, L. (1967): A talaj, mint polidiszperz rendszer In: Fekete Z. , Hargitai L., Zsoldos L.: *Talajtan és agrokémia*, Mezőgazda Kiadó, Budapest