www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

EMÜ Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Aianduse osakond

Merli Aalja

MULLA ORGAANILISE SÜSINIKU SISALDUSE DÜNAAMIKA SÕLTUVALT MAAKASUTUSEST

THE DYNAMICS OF SOIL ORGANIC CARBON CONTENT DEPENDING ON LAND USE

Magistritöö

Aianduse õppekava

Juhendaja: teadur Karin Kauer, *PhD*

Tartu 2015

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli uurida Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi Rõhu katsejaama pikaajalise katse (rajatud 1964.aastal) mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisalduse ja varu muutumist 50.aasta jooksul sõltuvalt maakasutusest (ühe- ja mitmeaastased taimed; erinevad taimeliigid ja väetised). Mulla C_{org} sisaldus on üks tähtsamaid mulla viljakuse ja kvaliteedi indikaatoreid, seetõttu on väga oluline jälgida, et muldade C_{org} varu ajas ei väheneks. Samuti on oluline teada, milliste harimisvõtetega on võimalik mulla C_{org} varu suurendada. Käesolevas töös võrreldi C_{org} varu katse rajamisel ja 2014.aastal. Töö eesmärk oli selgitada välja, milline maakasutus ja milliste taimede kasvatamine suurendab C_{org} varu katses võrreldud variantidest kõige rohkem. Katse tulemused näitasid, et maakasutus avaldas olulist mõju mulla C_{org} sisaldusele ja varule. Üheaastaste kultuuride nt. odra kasvatamine soodustab sagedase mulla läbikaevamise tõttu C_{org} sisalduse vähenemist, kuid paremate lagunemistingimuste mõju avaldumine C_{org} varule sõltub orgaanilise aine sisendi omadustest. Mitmeaastate heintaimede positiivne mõju C_{org} varule oli suurem, sest heintaimedel oli ka maapealse biomass ja järelikult ka orgaanilise aine sisend mulda suurem. Heintaimede mõju C_{org} varule sõltub taimiku liigilisest koosseisust- taimikus ristikut kasvatades suurenes C_{org} oluliselt rohkem, kui ainult kõrrelisi kasvatades. Mineraalsete ja orgaaniliste väetiste lisamine mulda suurendas C_{org} varu suurenenud maapealse biomassi kaudu. Ainult PK-väetistega väetamine avaldas C_{org} varule negatiivset mõju, soodustades mulla orgaanilise aine lagunemist, kuid mitte maapealset biomassi, millest tulenevalt oli süsinikubilanss mullas negatiivne.

SUMMARY

The aim of this study was to investigate in Estonian University of Life Sciences Institute of Agricultural and Environmental Sciences test station a long-term experiment (founded in 1964) for changes in soil organic carbon (C_{org}) contents and stocks depending on land use (annual and perennial plants, different species of plants and fertilizers) during a period of 50 years. Soil C_{org} content is one of the most important indicators of the quality and fertility of soil and it is therefore very important to ensure that the soil C_{org} stock does not decrease in time. It is also important to know what kind of land use can be used to increase the stock of soil C_{org}. This study compared the stocks of soil C_{org} at the setting up of the experiment and at the year 2014. The aim of this study was to identify what kind of land use should be used and what kind of plants to grow to enhance C_{org} stock in experiment variants the most. The results of the experiment showed that the land use had a significant impact on the content and stock of the soil C_{org}. Cultivating annual crops like barley promotes due to frequent digging through the soil a decrease in soil C_{org} because created the better decomposing conditions of C_{org}, depends on the properties of the organic matter input. Positive impact of perennial grasses to soil C_{org} stock was higher because of the ground biomass of different grasses are higher and, consequently, the input of organic matter in the soil has increased. The impact of grasses to soils C_{org} will depend on the on species of grass sward - growing clover also in sward increased C_{org} gaining substantially more than just growing the grass. The addition of mineral and organic fertilizers to the soil increased C_{org} stock through increased aboveground biomass. Only fertilizing with PK-fertilizer had a negative impact on stocks of C_{org}, promoting the degradation of organic matter in the soil, but not above-ground biomass, which consequently had a negative carbon balance in the soil.

SISUKORD

SISSEJUHATUS 5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE 7
1.1. Mulla orgaanilise süsiniku tähtsus 7
1.2. Maakasutuse mõju süsinikuvarule 8
1.3. Süsinikuvaru suurendamise võimalused 8
2. MATERJAL JA METOODIKA 11
2.1. Katseala kirjeldus 11
2.2. Proovide võtmine ja keemilised analüüsid 14
2.3. Ilmastikutingimused 15
2.4. Statistiline analüüs 17
3. UURIMUSTÖÖ TULEMUSED 18
3.1. Kultuuride mõju mulla C_{org} ja $N_{üld}$ sisaldusele 18
3.2. Mineraalse ja orgaaniliste väetiste mõju mulla C_{org} ja $N_{üld}$ sisaldusele 19
3.3. Mulla orgaanilise aine C:N suhe 21
3.4. Süsinikuvaru ja jaotus 0-20 cm mullakihis 22
3.4. Moreenikatse maapealne biomass 24
4. ARUTELU 26
KOKKUVÕTE 31
KASUTATUD KIRJANDUS 33
Resume 39

SISSEJUHATUS

Mulla orgaanilise aine sisaldus on üks tähtsamaid mulla viljakuse ja kvaliteedi indikaatoreid, mõjutades mulla bioloogilisi, keemilisi ja füüsikalisi omadusi. Mulla orgaaniline aine koosneb umbes 58% ulatuses süsinikust (Lal, 2004b) ning see moodustab suure osa süsinikust, mis ringleb globaalses süsinikuringes. Globaalselt on mulla orgaaniline süsiniku (C_{org}) varu peaaegu kolm korda nii suur, kui kogu süsiniku hulk maapealses biomassis ja umbes kaks korda nii suur, kui kogu atmosfääris oleva süsiniku (CO_2) hulk (Eswaran *et al.,* 1993). Atmosfääris olev CO_2 seotakse fotosünteesi käigus taimedesse, taimed on peamised orgaaniline aine allikad mullas ning orgaanilise aine lagunemise lõpp-produkt on samuti CO_2. Seetõttu võib muld toimida nii atmosfäärilise CO_2 allikana, kui ka sidujana sõltuvalt rakendatud põllumajanduslikust kasutusviisist (Lal, 2004b). Iga muutus mullaharimisvõtetes põhjustab muutusi mulla C_{org} varudes (Lal, 2004a). Kuigi iga mullaharimisestrateegia suurim eesmärk on saagi suurendamine ja keskkonna jätkusuutlikus, on oluline jälgida ka mulla C_{org} varu muutusi, et säilitada agroökosüsteemide pikaajalist stabiilsust. Korralikult läbimõeldud harimisvõtted (külvikord, väetamine, harimistehnoloogia) võivad nii parandada mulla produktiivsust , kui ka suurendada mulla C_{org} varusid, mille tulemusena väheneb atmosfääris oleva CO_2 kontsentratsioon (Lal, Follett, 2009).

Ülemaailmsed mured atmosfääris oleva CO_2 kontsentratsiooni tõusu pärast, mis võib mõjutada Maa kliimat (Kerr, 2005), on põhjustanud suurenenud huvi ja vajaduse uurida mulla C_{org} varu muutusi erinevates ökosüsteemides (Bandaranayake *et al*., 2003). Muutused mulla C_{org} varus on pikaajalised (Haynes, 2000) ja usutavalt tuvastatavad alles 4-6 aasta möödudes. Seega erinevate kultuuride mõju (näiteks ühe- või mitmeaastate kultuuride kasvatamine) mulla C_{org} varule määramiseks/hindamiseks on väga olulised pikaajalised katsed, kus on kasvatatud kultuurid ja harimistehnoloogiad on teada ning ka mulla C_{org} sisaldust aastate jooksul pidevalt määratud (Mazzoncini *et al.,* 2011). Pikaajalised välikatsed on väärtuslikud, kuna neid saab kasutada mulla talitluses pika aja jooksul toimuvate muutuste uurimiseks ning neilt kogutud andmeid saab kasutada edaspidise mulla majandamise jätkusuutlikkuse hindamisel (Börjesson *et al.,* 2012). *In situ* mõõtmised pikaajalistel põldkatsetel on paremad ja usaldusväärsemad võrreldes teiste meetoditega, mida kasutatakse näiteks

humifikatsioonikoefitsendi määramiseks, sest looduslikes tingimustes vähemärgatavad aastased muudatused kumuleeruvad aja jooksul ja muutuvad lõpuks märgatavaks. Maailmas on vaid mõned pikaajalised põldkatsed, kus kontrollvariandiks on aastaid taimestikuta olnud muld ning mille üksikasjalikud mulla ja põllukultuuride protokollid on kättesaadavad ning mille mõõtmiste üldine kvaliteet võimaldab analüüsida C_{org} varus toimuvaid muutusi piisava täpsusega (Kätterer *et al.*, 2011).

Käesoleva töö eesmärk on uurida Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi Rõhu katsejaama pikaajalise katse (rajatud 1964. aastal) mulla C_{org} sisalduse ja varu muutumist aja jooksul sõltuvalt maakasutusest (monokultuuri versus mitmeaastaste heintaimede kasvatamine).

Hüpotees: Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus sõltub maakasutusest ning on suurem mullas, millel on kasvatatud mitmeaastasi heintaimi, sest seal ei toimu iga-aastast mulla harimist, mis soodustab orgaanilise aine lagunemist paranenud orgaanilise aine lagunemistingimuste tõttu.

Hüpotees 2: Mineraalse väetise lisamine mulda soodustab orgaanilise aine lagunemist ja seega on orgaanilise süsiniku sisaldus mineraalse väetise väetatud variandis madalam võrreldes variandiga, kus on kasutatud orgaanilist väetist.

Tahaksin tänada oma juhendajat teadur *PhD* Karin Kauerit kogu osutatud abi eest selle magistritöö koostamisel. Veel sooviksin tänada EMÜ Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi taimekasvatuse ja rohumaaviljeluse osakonda ja emeriitprofessor Rein Viiraltit, kes on leidnud võimaluse katset jätkata hoolimata keerulisest aegadest. Ja muidugi agronoom Merike Kissat, kes on aastast 1980. antud katse eest hoolitsenud, andmeid kogunud ja andmebaasi koostanud ning kelle olemasolu ja välitööde päevikud osutusid väga väärtuslikuks katsemetoodika kirjeldamisel. Loomulikult sooviksin tänada oma vanemaid Maarika ja Aare Aaljat, kes toetasid mu õpinguid.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Mulla orgaanilise süsiniku tähtsus

Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldus on üks peamisi mulla kvaliteedi näitajaid (Plaza-Bonilla *et al*., 2014), mis mõjutab mulla keemilisi, füüsikalisi ja bioloogilisi omadusi (Lal *et al*., 2007). Mulla C_{org} sisaldus on seotud mulla agregaatide võimega vastu panna tihenemisele, vee äravoolule ja erosioonile (Lal *et al*., 2007). Mulla C_{org} parandab oma positiivse mõjuga mullaviljakusele ja kvaliteedile taimede produktiivsust (Plaza-Bonilla *et al*., 2014). Mulla orgaanilisel ainel on omadus neelamismahutavuse kaudu vähenda toitainete kadusid mullast, parandada veekasutusefektiivsust (Lal *et al*., 2007), suurendada õhu ja vee tasakaalu mullas (Gregorich *et al*., 1994) ja vähendada muldade hapestumist ning sooldumist (Lal, 2004b).

Mulla orgaanilise aine kvaliteeti kirjeldatakse süsiniku ja lämmastiku (C:N) suhte kaudu, sest C:N suhe määrab ära tingimused orgaanilise aine lagunemiseks ja toitainete mineraliseerumiseks. Orgaanilise aine lagunemisprotsessis osalevate mikroorganismide võime lagundada sõltub C ja N kättesaadavusest kasutades orgaanilise aine süsinikku energia allikana (Lal, 2004a), ning lämmastikku paljunemiseks ja uute rakkude ülesehitamiseks. Kui üks element limiteerib lagunemisprotsessi, siis mineralisatsiooni ei toimu või on pärsitud (aeglane). Põllumuldade C:N suhe on suhteliselt püsiv ja jääb enamasti kitsasse vahemikku 10 kuni 12 (Gregorich *et al*., 1994). Kündmine, väetamine ja taimejäätmete mulla pinnale jätmine mõjutavad C:N suhet, sealjuures kündmine muudab C:N suhet kitsamaks (Gregorich *et al*., 1994). Koch ja Stockfisch (2005) leidsid oma töös, et kündmine ühtlustab mullakihtide orgaanilise aine kontsentratsiooni. Mulla orgaanilise aine, eriti mulla lämmastik, satub kündmisel orgaanilise aine rikastest ülemistest horisontidest madalama orgaanilise aine sisaldusega alumistesse horisontidesse.

Mulla C_{org} varu vähenemine toob kaasa mulla kvaliteedi ja produktiivsuse vähenemise (Lal *et al.*, 2007). Näiteks Põhja-Dakotas, Ameerika Ühendriikides vähenes nisu terade saak 26,5 kg ha^{-1} iga 1 t ha^{-1} vähenenud mulla C_{org} varu kohta 0-50 cm sügavuse juures (Bauer, Black, 1994). Kanadas läbiviidud katsed näitasid, et mulla C_{org} varu vähenemine 1 t ha^{-1} võrra 0 kuni 7 cm mullakihis vähendas nisu saaki 19-39 kg ha^{-1} sõltuvalt katse asukohast (Larney *et al*.,

2000). Katsed Venemaal näitasid, et suurendades mulla huumusesisaldust 1 protsenti, suureneb teravilja saagikus 1 t ha^{-1} (Ganzhara, 1998).

1.2. Maakasutuse mõju süsinikuvarule

Looduslikes tingimustes ilma inimtegevuse mõjuta ehk harimata (kündmata ja niitmata) mulla C_{org} varu on tasakaaluseisundis ning mulda mineva C sisendi kogus on võrdne ära lagunenud orgaanilise aine kogusega (Lal, 2004a). Muldade harimisel mulla C_{org} sisaldus väheneb (Dalal, Mayer, 1986; Saviozzi *et al.*, 1994; Blair, 2000; Sainju *et al*., 2002), sest harimise käigus häiritakse tasakaalu omavahel konkureerivate protsesside vahel, milleks on mulla orgaanilise aine teke ja mineralisatsioon. Maaharimise käigus suureneb mulla orgaanilise aine lagunemine paranenud mulla õhustatuse, niiskuse ja temperatuurirežiimi tõttu (Lal et al., 2007). Rohumaadel on ülekaalus mulla orgaanilise aine teke, sest orgaanilise aine lagunemine on rohumaadel aeglane (Gregorich *et al*., 1994; Shahzad *et al*., 2012), seetõttu on C_{org} sisaldus rohumaadel suurem võrreldes künnipõhiselt haritud muldadega (Kätterer *et al.*, 2011). Loodusliku süsteemi (nt. looduslik rohumaa) muutmisel põllumajanduslikus kasutuses olevaks maaks (põllumaa) tavaliselt suureneb lisaks paranenud lagunemistingimustele ka põllult äraviidava C kogus põllumajandusliku saagiga (teravili, kartulimugulad, heintaimed loomasöödana jne) ja väheneb C-sisend, mille tulemusena mulla C_{org} varu väheneb. On leitud, et haritud mullad on kaotanud 50-75% oma algsest C_{org} varust, mis tähendab, et mullad on kaotanud 30-50 t C ha^{-1} (Lal, 2004a).

1.3. Süsinikuvaru suurendamise võimalused

Mulla C_{org} varu saab suurendada suurendades mulda mineva C-sisendi kogust (Lal, 2004a; Shahzad *et al*., 2012). Rohumaadel pärineb orgaaniline aine peamiselt taime juurte lagunemisest (Gill, Burke, 2002). Juurte lagunemine mullas on suur C allikas ja toitainete tagastaja (Anderson, Coleman, 1985; Seastedt, 1988; Dornbush *et al.*, 2002). Maapealne ja maa-alune biomass on positiivses seoses, järelikult suurendades rohumaade produktiivsust, on võimalik suurendada ka mulla C_{org} varu (Lal, 2004a). Lisaks juurtele moodustab rohumaal olulise osa C-sisendist ka taimede varis ja koristusjäätmed. Kuid on leitud, et suurte koguste taimejäätmete jätmine rohumaadele mulla pinnale lagunema, ei suurenda alati mulla C_{org} varu

(Gill *et al*., 2002). Kauer (2012) leidis oma doktoritöös, et 5 aastase perioodi jooksul rohumaa mulla C_{org} varu ei erinenud variantide vahel, kuhu oli jäetud taimikule lagunema sõltuvalt väetamisest 1-5 t KA ha^{-1} aastas. Taimejäätmete lagunemist mõjutab kontakt taimejäätmete ja mullavahel (Douglas *et al*., 1980). Mulla pinnale jäetud taimejäätmete lagunemine on tavaliselt aeglasem mulda segatud taimejäätmete lagunemisest (Abiven, Recous, 2006), kuna näiteks niiskustingimused on mullas paremad ja ei muutu väga kiiresti (Douglas *et al*., 1980). Maapinnale laotatud taimejäätmed puutuvad kokku suurema amplituudiga muutuvate temperatuuri- ja niiskustingimustega, võrreldes mulda segatud taimejäätmetega (Abiven, Recous, 2006). Need muutlikud tingimused võivad oluliselt pidurdada mullapinnale jäetud taimejäätmete lagunemist, kuna võib esineda laguneva materjali läbikuivamist, mis aeglustab lagunemist (Kauer, 2012).

Rohumaadel avaldab C-sisendi kogusest suuremat mõju mulla C_{org} varule taimiku liigiline koosseis. Näiteks ristiku-kõrrelise rohumaal suurenes C_{org} varu 0,73-0,78 t C ha^{-1} aastas, samal ajal, kui peamiselt kõrrelistest koosnev murutaimik sidus vaid 0,33-0,45 t C ha-^{1} aastas sõltuvalt väetamisest (Kauer *et al*., 2013). Põldudel võivad C-sisendiks olla lisaks taimejuurtele ja koristusjäätmetele, ka tagastatavad taimejäätmed, nt. põhk. Koch ja Stockfisch (2005), leidsid, et talinisu ja taliodra põhu lisamine mulda suurendas 4 aasta jooksul mulla C_{org} varu vastavalt 3,9 ja 2,1 t ha^{-1}. Tavaliselt on odra põhk laia C:N suhtega (Koch, Stockfisch, 2005) (nt 82:1 Singh *et al*. (2009) andmetel) ja see seletab, miks pärast põhu mulda lisamist on täheldatud mulla C:N suhte laienemist (Koch, Stockfisch, 2005). Kui mulla C:N suhe laieneb, siis mulla orgaanilise aine lagunemisprotsessis osalevad mikroorganismid konkureerivad taimedega mullas oleva mineraalse N pärast ning taimedele jääb vähem omastatavat N, mis avaldub negatiivses mõjus taimede kasvule.

Biomassi toodangut ja seeläbi ka mulda mineva orgaanilise aine kogust, on võimalik suurendada väetamisega (Gregorich *et al*., 1994; Sainju *et al*., 2002; Mazzoncini *et al*., 2011; Kätterer *et al*., 2011). Väetisena kasutatakse nii mineraalseid, kui orgaanilisi väetisi (näiteks sõnnikut või komposti). Mineraalses väetises on toitained taimedele kergesti omastatavad, sest toiteelemendid on väetises taimedele kättesaadaval ehk mineraalsel kujul. Lisaks sellele, et orgaaniliste väetistega viiakse mulda taimetoitelemente, avaldavad orgaanilised väetised positiivset mõju ka mulla C_{org} varule (Lal, 2004b). Orgaanilised väetised parandavad mulla omadusi, toitainete kättesaadavust mullast ja saagikust (Qin *et al*., 2014). Orgaanilise väetise lisamine parandab ka mulla füüsikalisi omadusi ning parandab veehoiuvõimet ja toitainete

omastamist taimede poolt, selle tulemusel suureneb nii maapeale biomass, saak kui ka juurte biomass (Tong *et al*., 2013). Tong *et al*. (2013) leidsid oma 17 aastat kestnud katses, et variantidel, kus sõnnikut oli kombineeritud mineraalsete väetistega, olid saagid suurimad. On leitud, et orgaaniliste väetiste ja komposti kasutamine suurendab mulla orgaanilise aine sisaldust ja seal hulgas ka C_{org} varu rohkem, kui võrdse toitainete kogusega ainult mineraalsete väetiste andmine (Gregorich *et al*., 2001).

Lisaks sellele, et väetamine suurendab saagikust ja võib avaldada positiivset mõju mulla C_{org} varule, tuleb arvestada, et lisa koguse N mulda lisamine võib stimuleerida orgaanilise aine mineraliseerumist ja mulla C_{org} varu vähenemist (Hunt *et al*., 1988; Mack *et al*., 2004) ehkki väetamine suurendab mulda mineva orgaanilise aine kogust juurte biomassina (Aoyama *et al*., 1999). Samuti võib N väetamine suurendada N kadusid mullast leostumise ja emissiooni läbi (Kätterer *et al.*, 2011).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Katseala kirjeldus

Magistritöös kasutatavad andmed pärinevad Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi Rõhu katsejaama pikaajalise katselt, mille rajas 1964. aastal dotsent Arnold Sau, et uurida mulla orgaanilise aine teket lähtekivimile. Uurimistööks vajaliku mulla saamiseks eemaldati 1964.a. suvel katseväljakult (8 x 20 m) ülemised horisondid kuni 100 cm sügavuseni ning tekkinud süvend täideti katseala lähedalt põllult toodud BC-horisondi punakaspruuni karbonaatse keskmise raskusega liivsavimoreeniga, milles oli väga vähe huumust (2200 mg kg^{-1}, s.o. 0,22%), huumus aga sisaldab keskmiselt 58 % süsinikku, järelikult oli mulla C_{org} sisaldus 1276 mg kg^{-1} ja üldlämmastikku (180 mg kg^{-1}, s.o. 0,018%). Algmoreeni pH_{KCl} oli 7,0 ning hüdrolüütiline happesus 1,5, neeldunud aluste summa 8,8 ja neelamismahutavus 10,3 mg-ekv 100 g^{-1} (küllastusaste kõrge 85%), laktaatlahustuva P sisaldus 45 ja K 33 ning mikroelementide (Cu, Mn, B) sisaldus vastavalt 3,2, 74 ja 0,06 mg kg^{-1} (Viiralt, 1999). Katselapid isoleeriti külgedelt kuni 1 m sügavuseni, nende arvestuspindala oli 1,5 m^2 (1 x 1,5 m).

Algselt oli katses 13 varianti (Sau, 1979), kuid aja jooksul on toimunud katsevariantides muutusi ning hetkel on katses 19 varianti (tabel 1). Kontrollivariandiks on katse rajamise algusest peale ilma taimestikuta variant (T). Peamised kultuurid, mille mõju mulla C_{org} varule uuriti, olid: oder (O), kõrreliste segu (harilik aruhein (*Festuca pratensis*), harilik timut (*Phleum pratense*), aasnurmikas (*Poa pratensis*)) (K); kõrreliste segu koos valge ristikuga (*Trifolium repens*) (RK); hübriidlutsern (*Medicago* x *varia*) (HL); ida-kitsehernes (*Galega orientalis*) (IKH); murukõrrelised (karjamaa raihein, punane aruhein, aasnurmikas) (M). Kõikidel taimestikuga (heintaimed jm) variantidel on toimunud iga 6. aasta järel katse rajamise algusest rohukamarate/taimikute ümberrajamine, mis viidi läbi peamiselt umbrohtumise takistamiseks. Selleks kasvatati katselapil aasta enne uue külvi tegemist vahekultuurina otra.

Katses kasutatakse mineraalseid (fosfor-kaalium (PK) ja lämmastik (N) väetist) ja orgaanilise väetisena sõnnikut (S). Fosforit antakse külvieelselt 40 kg ha^{-1} ja kaaliumi 75 kg ha^{-1}. Kõik variandid, mis said PK-väetisi, said aastani 2002 (k.a.) ka mikroväetisi: 6 kg Cu ha^{-1}, B 1,5 kg ha^{-1} ja Mo 1,0 kg ha^{-1}. Mineraalse N-väetisega väetati otra (kevadel anti 75 kg N ha^{-1}) ja kõrreliste segu (150 kg N ha^{-1}, millest 75 kg N ha^{-1} anti kevadel ja 75 kg N ha^{-1} anti pärast 1. niidet). Sõnnikuga väetati otra, kõrreliste segu, ristiku ja kõrreliste segu, hübriidlutserni ja murukõrreliste segu. Sõnnikut anti 1 kord 7 aasta jooksul taimikute rajamisel külvieelselt. Ka odra variantidele anti sõnnikut vaid 1 kord 7 aasta jooksul. Lisaks sõnnikule anti igal kevadel aastatel 1988-2007 kõrreliste segu (K+PK+S) ja ristiku-kõrreliste segu (RK+PK+S) variantidele ja ning aastatel 1988-2000 variandile murukõrreliste (M+PK+Pk) variandile veise ekskremente normiga 1,4 t KA ha^{-1}, et imiteerida karjatamise mõju. Seoses kohaliku lauda likvideerimisega, jäi igakevadine ekskrementide laotamine ära.

Orgaanilise väetisena on kasutatud ka reoveesette muda (RS) ja poolkoksi komposti (Pk), kuid neid ainult ühekordselt (2002. aastal), kui murukõrrelistega variantide rajamisel anti ühele variandile külvi alla 60 t ha^{-1} reoveesette muda ja teisele 60 t ha^{-1} poolkoksi komposti. Taimestikuta ja odra variandid on katses kahes korduses, variandid K+S ja HL+S kolmes korduses ja ülejäänud variandid on neljas korduses.

Tabel 1. Katsevariandid

Variant	Taimiku koosseis				N, kg ha^{-1}	Sõnnik, t ha^{-1}	Muu orgaaniline väetis
	1981-1986.a.	1988-1993.a.	1995-2000.a.	2002-2007.a. /2009-2014.a.			
T[1]	Taimik puudub						
O[2]+PK[3]	Oder						
O+PK+N75[4]	Oder				75		
O+PK+S[5]	Oder					60 (1988; 1995) /25 (2009.a.)	
O+PK+N75+S	Oder				75	60 (1988; 1995/25(2009.a.)	
K[6]	Kõrrelised						
K+PK	Kõrrelised						
K+PK+N150[4]	Kõrrelised				75+75		
K+PK+S	Kõrrelised					60 (1988.a; 1995.a.; 2002.a.) / 50 (2009.a.)	1,4 t ha^{-1} ekskremente (1988-2007.a.)
K+TJ[7]	Valge ristik	Valge ristik+kõrrelised		Kõrrelised		60 (1988.a)	Niitmisjärgselt jäeti taimne biomass taimikule lagunema
K+S	Valge ristik	Valge ristik+kõrrelised		Kõrrelised		60(1988.a.; 1995.a.; 2002.a.[13]) /50 (2009.a)	
HL[8]+PK+S	Valge ristik[14]	Valge ristik +kõrrelised	Hübriidlutsern			60 (1988.a.; 1995.a.)	
RK	Valge ristik+kõrrelised						
RK+PK	Valge ristik+kõrrelised						
IKH[9]+PK	Valge ristik+kõrrelised		Ida-kitsehernes				
HL+PK	Valge ristik +kõrrelised[14]		Hübriidlutsern			60 (1988.a.)	
RK[10]+PK+S	Valge ristik+kõrrelised[14]					60 (1988.a.; 2002.a.) /50 (2009.a.)	1,4 t ha^{-1} ekskremente (1988-2007.a.);
M[15]+RS[11]	Valge ristik+kõrrelised		Nõiahammas	Murukõrrelised			Reoveesette muda (60 t ha^{-1} 2002.a.)
M+PK+Pk[12]	Valge ristik+kõrrelised			Murukõrrelised			1,4 t ha^{-1} ekskremente (1988-2007.a.) Poolkoksi kompost (60 t ha^{-1} 2002.a.)

[1]Kontroll; [2]Oder; [3]Fosfor- ja kaaliumväetis; 4Mineraalne lämmastikuväetis (75 või 150 kg N ha^{-1}); [5]Sõnnik; [6]Kõrrelised;

[7]Aastast 2002 jäeti taimejäätmed taimiku pinnale; [8]Hübriidlutsern; [9]Ida-kitsehernes; [10]Ristiku-kõrrelise segu; [11]Reoveesette muda; [12]Poolkoksi kompost; [13]Seasõnnik; [14]Aastani 1986 tagastati 80% saagist rohujahuna; [15]Murukõrrelised

2.2. Proovide võtmine ja keemilised analüüsid

2014. aasta sügisel võeti mullaproovid kolmelt erinevalt sügavuselt: 0-5, 5-10 ja 10-20 cm igalt katselapilt. Mullaproovid kuivatati ja sõeluti läbi 2 mm sõela. Sõelutud mullaproovidest määrati orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja üldlämmastiku ($N_{üld}$) sisaldused. Orgaanilise süsiniku sisaldus määrati Tjurini meetodil fotomeetriliselt. Üldlämmastiku sisaldus määrati Dumas kuivpõletusmeetodiga kasutades elementanalüsaatorit VarioMax CNS. Antud töös esitatakse C_{org} ja $N_{üld}$ sisaldused 0-20 cm mullakihi keskmisena. Mulla orgaanilise aine C:N suhe arvutati välja iga kihi kohta ning seejärel esitatakse C:N suhe 0-20 cm kihi keskmisena. Mulla C_{org} varu arvutati välja iga kihi (0-5, 5-10, 10-20 cm) kohta eraldi. 0-20 cm mulla kihi C_{org} varu saamiseks liideti kolme kihi C_{org} varud kokku.

Mulla C_{org} varu arvutati mulla C_{org} ja lasuvustiheduse kaudu kasutades valemit:

$$C_{org} \text{ varu} = Dm * C_{org} * D / 10$$

kus C_{org} on mulla orgaanilise süsinik (mg g^{-1}); Dm on lasuvustihedus (g cm^{-3});
D on proovivõtmise sügavus (cm).

Antud töös lasuvustihedust ei määratud ning lasuvustihedus Dm (g cm^{-3}) arvutati Adams (1973) valemiga:

$$Dm = 100/\{(OA/10/0.244) + ((100 - (OA/10)) / 1.64)\}$$

kus OA on mulla orgaanilise aine sisaldus (mg g^{-1}), eeldusega, et mulla orgaanilisest ainest on 58 % C_{org} (Mann, 1986).

Maapealne biomass määrati aastatel 2009-2014. Maapealne biomass määrati odral vahaküpsuse faasis. Selleks lõigati maapealne biomass 15 cm kõrguselt ja kaaluti. Rohutaimikuid niideti kasvuperioodi jooksul sõltuvalt liigilisest koosseisust 2-4 korda (idakitsehernest ja hübriidlutserni 2 korda, kõrreliste segu 3 korda, murukõrreliste segu 4 korda). Iga niite mass kaaluti. Niidetud taimse materjali kuivaine (KA) sisaldus määrati kuivatades 12 tundi 60 °C juures ning arvutati välja maapealse biomassi kuivaine saak hektari

kohta. Maapealset biomassi katsele ei tagastatud välja arvatud ühel variandil: kõrreliste ja taimejäätmete (K+TJ) variandil.

2.3.Ilmastikutingimused

Ilmastikutingimusi jälgiti katse perioodil Metos Compact (Pessl Instruments) elektroonilise ilmajaamaga, mis arvutas automaatselt keskmise päeva temperatuuri ning sademete kogused. Kuu keskmised temperatuurid arvutati kasutades päevade keskmisi andmeid. Ilmastikutingimused jälgitud perioodil (2009-2014) erinesid oluliselt (tabel 2). Aastal 2014 oli taimede kasvuperioodi sademete hulk üsna sarnane pikaajalise keskmisega (1969-2014). Seevastu sademete hulk aastatel 2010 ja 2011 erinesid märkimisväärselt pikaajalisest keskmisest järgmiselt: 2011 oli põuane, sademeid oli vaid 135,8 mm a^{-1}; 2010 oli ebatavaliselt niiske aasta, sademeid oli 697,1 mm a^{-1}. Keskmised temperatuurid olid madalamad novembrist aprillini ning kõrgemad maist augustini langedes jälle septembris. Maikuu oli madalaima temperatuuriga aastal 2011 ja kõrgeimaga 2013. Kogu perioodi arvestades oli 2014. aasta kõige soojem ja 2012. aasta jahedaim, samuti oli 2012. aasta keskmine temperatuur madalam kogu perioodil juuni ja augusti temperatuurist.

Tabel 2. Ilmastiku tingimuste keskmised aastatel 2008-2014 võrreldes pikaajalise perioodi keskmistega 1969-2014

Kuu	Temperatuur (ºC)							Sademed (mm)						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	1969–2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	1969–2014
jaanuar	-3,4	-5,1	-4,7	-6,1	-7,3	-8,1	-5,3	10,2	40,4	19,0	30,0	8,8	25,0	29,5
veebruar	-4,9	-7,9	-11,2	-11,5	-3,5	-0,4	-5,7	7,2	4,8	9,0	18,6	14,4	12,4	22,3
märts	-1,5	-2,1	-1,9	-0,3	-7,8	2,3	-1,6	22,4	30,2	4,4	39,4	15,4	9,0	22,9
aprill	5,3	6,1	6,4	5,0	3,5	6,5	4,8	14,2	26,4	11,2	42,0	16,8	13,4	26,1
mai	11,5	12,6	11,0	11,8	14,8	12,0	11,4	13,4	61,4	58,4	81,6	61,2	83,3	58,5
juuni	13,8	14,6	17,2	13,6	18,2	13,4	15,4	137,4	72,6	35,2	100,6	52,4	103,4	76,9
juuli	16,9	22,2	19,9	18,0	17,7	19,4	17,6	54,6	36,0	48,2	75,0	62,6	71,4	70,4
august	15,4	18,2	15,8	15,1	16,9	16,7	16,1	89,2	106,8	54,6	87,4	75,6	113,0	90,0
september	12,8	11,1	12,3	12,2	11,0	12,1	10,9	49,0	93,0	80,0	59,8	33,0	22,2	56,0
oktoober	4,1	4,2	6,8	5,7	6,6	5,2	5,6	116,0	49,4	47,8	45,2	44,6	35,8	56,5
november	2,3	0,3	2,9	2,6	3,5	1.5*	0,5	35,8	77,6	34,4	50,2	69,8	22,8*	45,5
detsember	-8,6	-8,2	1,0	-6,8	1,1	-1,4*	-3,2	57,0	98,5	52,6	9,0	47,0	86,4*	36,1
jaanuar–detsember	5,3	5,5	6,30	4,90	6,2	6,6	5,5	606,4	697,1	454,8	638,8	520,3	598,6	590,6

*Tõravere andmetel

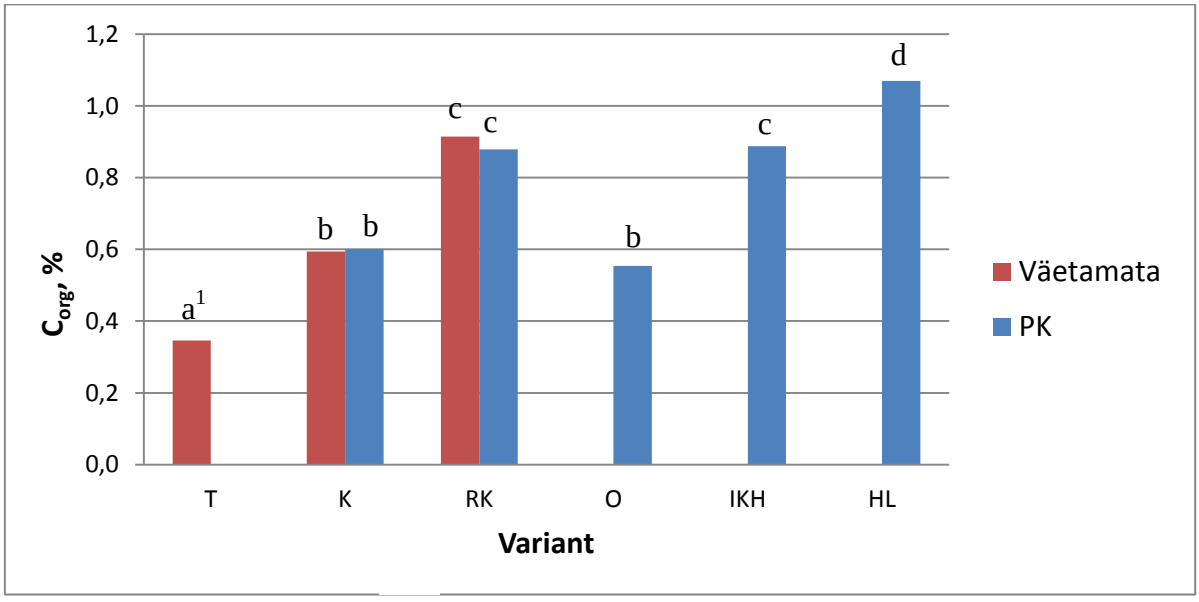
2.4. Statistiline analüüs

Statistiliste analüüside läbiviimiseks kasutati statistikaprogrammi Statistica versiooni 11 (StatSoft Inc.) Erinevate faktorite mõju testimiseks kasutati nii mitmefaktorilise ANOVA, kui ka ühe faktorilist ANOVA dispersioonanalüüsi. Fisheri LSD testi kasutati erinevate rühmade vaheliste statistiliselt oluliste erinevuste leidmiseks. Statistilise olulisusetõenäosuse määr $P < 0,05$.

3. UURIMUSTÖÖ TULEMUSED

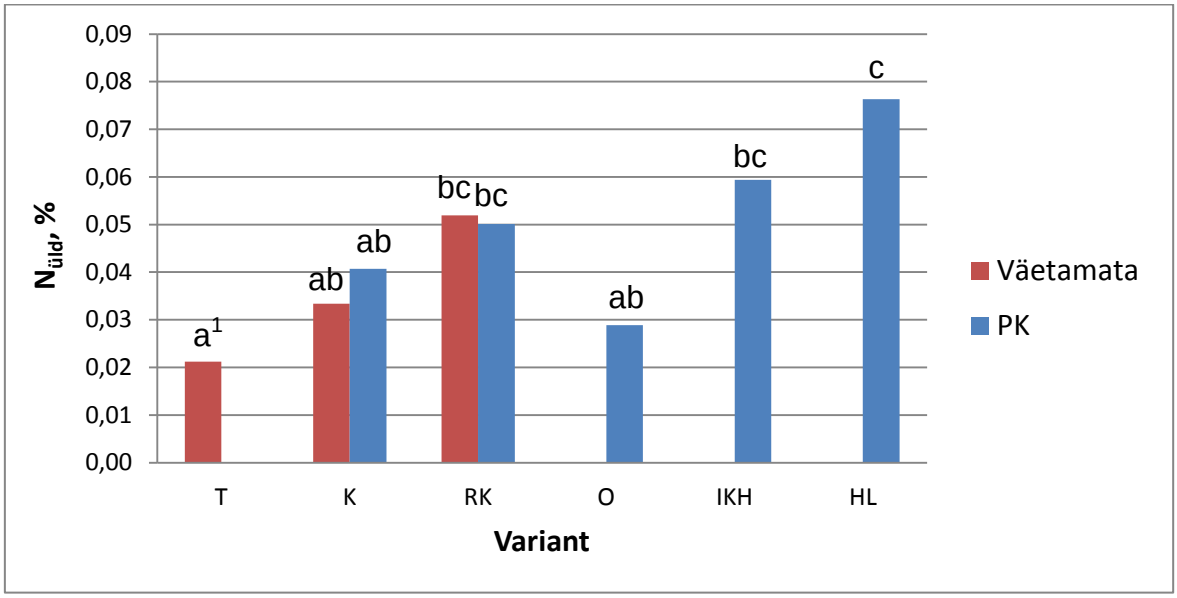
3.1. Kultuuride mõju mulla C_{org} ja $N_{üld}$ sisaldusele

Peamised kultuurid ja segud, mis katses kasutati olid: oder, kõrrelised, ristiku-kõrreliste segu, hübriidlutsern, ida-kitsehernes ja murukõrreliste segu. Variandid, mida 50. aasta jooksul ei väetatud, olid taimestikuta ehk kontroll, kõrreliste ja ristiku-kõrreliste seguga variandid. 2014. aastal oli neist kolmest kõige suurem C_{org} sisaldus 0-20 cm kihis ristiku-kõrreliste variandis ja kõige madalam taimestikuta variandis, vastavalt 0,91 ja 0,35 %, kõrreliste variandis oli C_{org} sisaldus 0,59 % (joonis 1). Eelpool mainitud taimikuid PK-väetisega väetades C_{org} sisaldus ei muutunud, võrreldes väetamata variantidega. PK-väetist anti lisaks kõrrelistele ja ristiku-kõrreliste segule ka odrale, ida-kitsehernele ja hübriidlutsernile. Kõige suurem C_{org} sisaldus PK- väetisega väetades oli hübriidlutserni variandis, kus C_{org} sisaldus oli 1,07 %. Odra variandis oli C_{org} sisaldus 0,55 %, mis oluliselt ei erinenud ($P > 0,05$) C_{org} sisaldusega kõrreliste variandis. Ida-kitseherne variandis oli C_{org} sisaldus sarnane ristiku-kõrreliste segu variandiga (0,89 %).



Joonis 1. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldus (%) sõltuvalt kultuurist ja PK-väetisega väetamisest (PK) (T – taimestikuta, K – kõrreliste segu, RK – ristiku ja kõrreliste segu, O – oder, IKH – ida-kitsehernes, HL– hübriidlutsern). ([1]väiksed tähed tähendavad usutavat erinevust variantide vahel $P < 0,05$)

Mulla $N_{üld}$ sisaldus taimestikuta variandis oli 0,02 % (joonis 2). Väetamata kõrreliste variandis oli $N_{üld}$ sisaldus 0,03 %, samas väetades kõrrelisi PK-väetistega, siis $N_{üld}$ sisaldus suurenes 0,04 %-ni, kuid see ei olnud statistiliselt usutav suurenemine. $N_{üld}$ sisaldus ristiku ja kõrrelise segu väetamata ja PK-väetistega väetatud variantidel oli statistiliselt usutavalt sama suur (0,05 %), järelikult ristiku ja kõrreliste segu PK-väetisega väetamine ei avaldanud mõju $N_{üld}$ sisaldusele. Odra variandil, mida väetati PK-väetistega oli $N_{üld}$ sisaldus 0,03 % ehk sama suur, kui väetamata kõrreliste variandil. Ida-kitseherne ja hübriidlutserni $N_{üld}$ sisaldused olid 0,06 % ja 0,08 % kuid statistiliselt sarnased.



Joonis 2. Mulla üldlämmastiku ($N_{üld}$) sisaldus (%) sõltuvalt kultuurist ja PK-väetisega väetamisest (PK) (T – taimestikuta, K – kõrreliste segu, RK – ristiku ja kõrreliste segu, O – oder, IKH – ida-kitsehernes, HL– hübriidlutsern). ([1]väiksed tähed tähendavad usutavat erinevust variantide vahel $P < 0,05$)

3.2. Mineraalse ja orgaaniliste väetiste mõju mulla C_{org} ja $N_{üld}$ sisaldusele

Kõige suuremat mõju mulla C_{org} sisaldusele avaldas sõnniku lisamine, suurendades C_{org} sisaldust odra, kõrreliste ja ristiku-kõrreliste segu variantides 20-35 % võrreldes variantidega, kuhu on antud ainult PK-väetist (tabel 3). Kui taimejäätmed jäeti niitmisjärgselt taimikule lagunema ja PK-väetist ei antud, siis C_{org} sisaldus mullas oli võrreldav sisaldusega kõrreliste variandis, mida väetati sõnnikuga ja PK-väetistega. Hübriidlutsernivariandis sõnniku mõju puudus. Murukõrreliste variandis avaldas

reoveesette muda poolkoski kompostiga samaväärset mõju. Mineraalse N-väetisega väetamine odra variandis C_{org} sisaldust ei suurendanud (0,59 %), kuid suurendas kõrreliste variandis (0,76 %).

Tabel. 3. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}), üldlämmastiku ($N_{üld}$) sisaldused (%) ja C:N suhe erinevate taimikutega variantides sõltuvalt erinevate väetiste lisamisest 2014 aastal

Variant	C_{org}, %	$N_{üld}$, %	C:N
O[1]+PK[2]	0,55[a3]	0,03[a]	20,5[ab]
O+PK+N[4]75	0,59[a]	0,04[ab]	20,0[ab]
O+PK+S[5]	0,72[bc]	0,04[ab]	18,0[a]
O+PK+N75+S	0,85[bc]	0,05[bcd]	20,4[ab]
K[6]+PK	0,60[b]	0,04[a]	16,7[a]
K+PKN150	0,76[bc]	0,05[abc]	17,8[a]
K+PK+S	0,92[bc]	0,06[abc]	20,7[a]
K+TJ[7]	0,91[bc]	0,05[abc]	22,2[ab]
K+S	1,05[c]	0,06[abc]	22,5[ab]
HL[8]+PK+S	1,11[c]	0,07[bc]	19,9[a]
RK[9]+PK	0,88[bc]	0,05[abc]	17,5[a]
HL+PK	1,07[c]	0,08[c]	15,4[a]
RK[10]+PK+S	1,10[c]	0,08[c]	16,0[a]
M[11]+RS[12]	1,04[c]	0,06[abc]	20,8[a]
MK+PK+Pk[13]	1,03[c]	0,06[abc]	19,4[a]

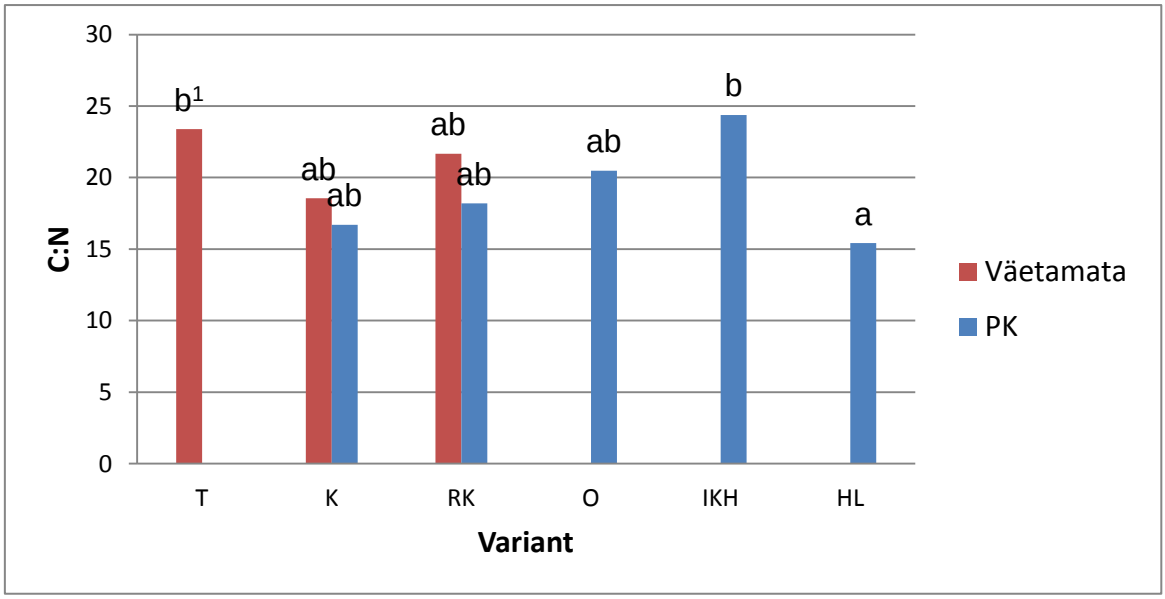
[1]O – oder; [2]PK – fosfor- ja kaaliumväetisega väetamine; [3]väiksed tähed veerus tähendavad variantide usutavat erinevust ($P<0,05$); [4]N – mineraalse lämmastikväetisega väetamine; [5]S-sõnnikuga väetamine; [6]K – kõrrelised; [7]TJ – taimejäätmed jäeti niitmisjärgselt taimikule; [8]HL–hübriidlutsern; [9]RK – ristiku ja kõrreliste segu; [10]M- murutaimik [12]RS – reoveesette muda lisamine; [13]Pk – poolkoksi kompostiga väetamine

Kõige suuremat mõju $N_{üld}$ sisaldusele avaldas sõnniku lisamine, suurendades $N_{üld}$ sisaldust odra, kõrrelise ja ristiku-kõrrelise segu variantides 10-30 % võrrelduna variantidega, kuhu on antud PK-väetist (tabel 3). Kõrreliste variandis, kus niitmisjärgselt jäeti taimejäätmed taimikule lagunema, $N_{üld}$ sisaldus ei erinenud variandist, mis oli saanud mineraalset N-väetist. Kõige suuremat mõju avaldas sõnnik ristik-kõrreliste variandis, kui sõnnikuga variandi $N_{üld}$ sisaldus oli 37 % suurem (0,08 % N) sõnnikuta variandi $N_{üld}$ sisaldusest (0,05

% N). Hübriidlutserni variandis sõnniku lisamine vähendas $N_{üld}$ sisaldust võrreldes PK-väetist saanud hübriidlutserni variandiga. Murukõrreliste variandis avaldas reoveesette muda poolkoski kompostiga samaväärset mõju. Mineraalse N väetisega ja sõnnikuga väetamisel oli odrale sarnane mõju.

3.3. Mulla orgaanilise aine C:N suhe

Antud katses varieerus mulla orgaanilise aine C:N suhe 13-24 (tabel 3, joonis 3). Kõige kitsam oli hübriidlutserni C:N suhe (15,4). Kõige laiem oli ida-kitseherne C:N suhe (24,4). Kõrreliste ja ristiku-kõrreliste segu PK-väetisega väetamine kitsendas C:N suhet.



Joonis 3. Mulla C:N suhe erinevate taimikutega variantides sõltuvalt PK-väetisega väetamisest (PK) (T – taimestikuta, K – kõrrelised, RK – ristiku ja kõrreliste segu, O – oder, IKH – ida-kitsehernes, HL– hübriidlutsern); ([1]väiksed tähed tähendavad usutavat erinevust variantide vahel $P < 0,05$)

Mineraalse N väetisega väetamine kitsendas C:N suhet, samas sõnnikuga väetamine laiendas kõrreliste variandi mulla C:N suhet. Murutaimikutel mulla C:N suhe ei sõltunud erinevatest orgaanilistest väetistest.

3.4. Süsinikuvaru ja jaotus 0-20 cm mullakihis

Katse rajamisel 1964. aastal oli C_{org} varu 4,3 t ha^{-1} 0-20 cm kihis. 2014. aastal oli kõikide variantide keskmine C_{org} varu 0-20 cm kihis 21,9 t ha^{-1}. Odra variantide C_{org} varu sõltuvalt väetamisest oli 16,5 t ha^{-1} ja rohukamaraga variantide C_{org} varu 23,9 t ha^{-1}. Kõige väiksem C_{org} varu (9,4 t ha^{-1}) oli taimestikuta variandis, kus aastas suurenes C_{org} varu 0,11 t ha^{-1} a^{-1}.

Tabel 4. Keskmine orgaanilise süsiniku (C_{org}) varu (t ha^{-1}) erinevatel sügavustel, 0-20 cm kihi C_{org} varu muutus aastas (t ha^{-1} a^{-1}) 2014.aastal

Variant	C_{org} varu				C_{org} varu muutus aastas
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-20 cm	0-20 cm
T[1]	4,4a[2]	2,4[a]	2,6[a]	9,4[a]	0,11
O[3]+PK[4]	6,3[ab]	4,2[b]	4,4[ab]	14,9[ab]	0,22
O+PK+N[5]75	6,1[ab]	5,3[bc]	4,3[ab]	15,7[abc]	0,23
O+PK+S[6]	7,4[ab]	6,3[bc]	5,1[b]	18,8[cd]	0,29
O+PK+N75+S	9,8[b]	7,1[bc]	5,2[b]	22,0[cd]	0,36
K[7]	7,6[ab]	4,2[b]	5,0[b]	16,8[bc]	0,25
K+PK	7,3[ab]	4,3[b]	4,0[ab]	15,7[b]	0,23
K+PKN150	8,6[ab]	5,4[bc]	6,1[bc]	20,1[bcd]	0,32
K+PK+S	10,2[b]	6,9[bc]	6,7[bc]	23,7[def]	0,39
K+TJ[8]	10,5[b]	6,5[bc]	6,3[bc]	23,2[def]	0,38
K+S	11,4[c]	6,6[bc]	9,8[d]	27,8[efg]	0,47
HL[9]+PK+S	11,0[c]	8,1[d]	9,8[d]	28,9[g]	0,50
RK[10]	9,8[b]	6,9[bc]	7,1[c]	23,7[def]	0,39
RK+PK	9,5[b]	6,2[bc]	7,5[c]	23,3[def]	0,38
IKH[11]+PK	10,0[b]	6,3[bc]	6,7[bc]	23,0[de]	0,38
HL+PK	11,4[c]	7,8[c]	7,9[cd]	27,2[efg]	0,46
RK+PK+S	11,2[c]	8,6[d]	8,1[cd]	27,9[fg]	0,48
M[12]+RS[13]	9,2[b]	8,8[d]	9,0[d]	27,0[efg]	0,46
M+PK+Pk[14]	11,0[c]	6,9[bc]	8,9[d]	26,9[efg]	0,46

[1]T-taimistikuta; [2]väiksed tähed veerus tähendavad variantide mõju C_{org} varule 0-20 cm kihis ($P<0,05$); [3]O- oder; [4]PK-fosfor- ja kaaliumväetisega väetamine; [5]N-mineraalse lämmastikväetisega väetamine; [6]S- sõnnikuga väetamine; [7]K-kõrrelised; [8]TJ– taimejäätmed jäeti niitmisjärgselt

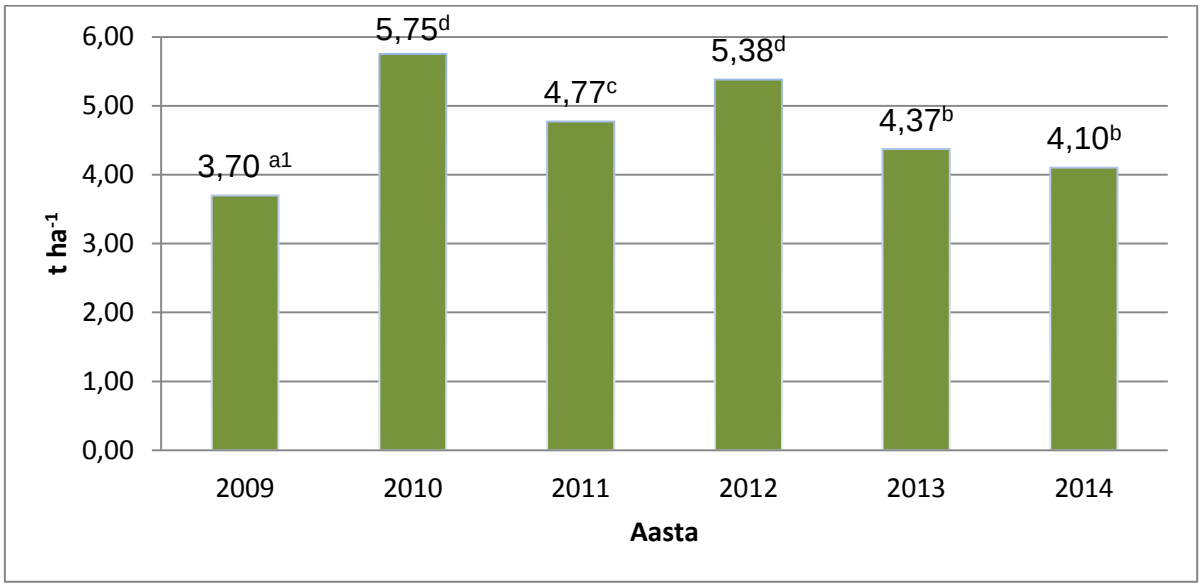
taimikule; [9]HL- hübriidlutsern; [10]RK- ristiku- kõrrelise segu; [11]IKH-ida-kitsehernes; [12]M-murutaimik; [13]RS – reoveesette muda lisamine; [14]Pk – poolkoksi kompostiga väetamine

Kasvatades monokultuurina iga-aastaselt otra ja väetades PK-väetistega, suurenes C_{org} varu 0,22 t ha^{-1} aastas olles 2014.aastal 14,9 t ha^{-1} (tabel 4). Väetades otra mineraalsete ja orgaaniliste väetistega (variant O+PK+N75+S) suurenes C_{org} varu 0,36 t ha^{-1} aastas (22,0 t ha^{-1}). Kõrreliste variandil, millel jäeti taimejäätmed mulla pinnale lagunema, oli C_{org} varu sama suur (ligikaudu 23 t ha^{-1}), kui kõrreliste variandil, mida väetati PK-väetiste ja sõnnikuga. Mineraalse N mõju C_{org} varule jäi sõnniku mõjust väiksemaks: variandis K+PK+N150 suurenes C_{org} varu aastas 0,32 ja variandis K+PK+S 0,39 t ha^{-1} a^{-1}.

Sõnniku mõju avaldus kõige rohkem ($P < 0,05$) kõrreliste seguga variandis, kus variandis K+PK oli C_{org} varu 15,7 t ha^{-1} ja K+PK+S variandis oli 23,7 t ha^{-1}. Hübriidlutserni variandis ei omanud sõnniku lisamine PK-väetistega väetatud variandi C_{org} varule olulist mõju ($P > 0,05$). Ristiku-kõrreliste seguga taimiku PK-väetistega väetamine vähendas ja sõnniku lisamine suurendas C_{org} varu. Murukõrreliste variantide C_{org} varule avaldas reoveesette muda lisamine poolkoksi komposti lisamisega samaväärset mõju.
5-10 cm kihi Corg varu oli madalam kui pindmise kihi oma, seal paiknes keskmiselt 28,5 % variantide kogu 0-20 cm kihi C_{org} varust varieerudes vahemikus 25,5-33,8 %. Kõige vähem oli antud kihis Corg varust kogunenud taimestikuta (25,5 %) ja poolkoksi kompostiga väetatud murukõrreliste variandis ning kõige rohkem odra variantides. 10-20 cm kihis oli variantide keskmisena 28,5 % 0-20 cm kihi C_{org} varust varieerudes 23,6-35,3 %. Kogu 0-20 kihi C_{org} varust oli sellesse kihti kogunenud kõige rohkem sõnnikuga väetatud kõrreliste variandis ja kõige vähem taimestikuta ja odra variantides.

3.4. Moreenikatse maapealne biomass

Katse keskmised maapealsed biomassid varieerusid 2009-2014. aastatel 3,7-5,38 t KA ha^{-1} (joonis 4). Kõige madalam (3,7 t KA ha^{-1}) oli maapealne keskmine biomass aasta pärast taimikute ümberrajamist. Kõige suuremad maapealsed keskmised biomassid (5,75 ja 5,38 t ha^{-1}) saadi aastatel 2010 ja 2012.



Joonis 4. Katse keskmised biomassid (t ha^{-1}) aastatel 2009-2014 ([1]väiksed tähed tähistavad statistiliselt olulist erinevust)

Odra variantide keskmine maapealne biomass oli 3,47 ja mitmeaastate heintaimede 5,03 t ha^{-1}. Kõige madalama maapealse biomassi moodustas oder (1,59 t KA ha^{-1}). Odra maapealset biomassi suurendas kõige rohkem mineraalse N väetisega väetamine (4,93 t ha^{-1}), sõnniku andmine biomassi oluliselt ei suurendanud (5,01 t ha^{-1}). Maapealsed biomassid olid madalad ka kõrreliste ja murukõrreliste variantides. Sõnnikuga väetatud kõrreliste maapealne biomass oli 2,82 t ha^{-1}, PK-väetise lisamine biomassi oluliselt ei suurendanud (3,19 t ha^{-1}). Kõige suurem maapealne biomass oli ida-kitseherne variandis (12,43 t ha^{-1}), hübriidlutserni maapealsed biomassid olid 9,64-10,34 t ha^{-1} sõltuvalt sõnnikuga väetamisest. Kõrreliste segu maapealset biomassi suurendas kõige rohkem mineraalse N-väetisega väetamine. Ristiku-kõrreliste segu maapealset biomassi suurendas kõige rohkem sõnniku ja PK-väetistega väetamine (5,07 t ha^{-1}). Ristiku-kõrreliste segu maapealne biomass oli väikseim väetamata variandil (3,35 t ha^{-1}).

Tabel 5. Moreenikatse variantide keskmised biomassi kuivaine saagid (t KA ha^{-1}) aastatel 2009-2014

Variant/Aasta	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Keskmine
O[1]+PK[2]	1,75	1,89	1,33	1,18	1,62	1,76	1,59[a3]
O+PK+N[4]75	4,03	6,65	3,49	4,59	4,86	5,94	4,93[ef]
O+PK+S[5]	4,20	2,39	1,75	1,61	1,93	2,35	2,37[bc]
O+PK+N75+S	5,52	5,78	4,14	3,46	6,12	5,01	5,01[f]
K[6]	1,19	2,56	1,78	2,49	2,10	1,86	2,00[ab]
K+PK	1,40	2,78	2,38	3,29	2,98	2,28	2,52[bc]
K+PK+N150	4,04	7,97	6,53	8,72	7,31	6,11	6,78[g]
K+PK+S	3,19	4,28	2,66	3,98	3,01	2,71	3,31[d]
K+TJ[7]	1,59	3,44	2,19	3,57	2,77	2,56	2,69[c]
K+S	2,82	4,80	2,71	3,52	3,38	2,50	3,29[d]
HL[8]+PK+S	7,17	10,10	12,41	10,70	8,41	9,06	9,64[h]
RK[9]	1,91	4,26	4,26	4,88	2,65	2,11	3,35[d]
RK+PK	2,59	6,73	5,87	5,93	2,54	2,08	4,29[e]
IKH[10]+PK	10,20	15,06	10,86	16,31	13,43	8,70	12,43[j]
HL+PK	7,28	13,10	13,71	10,66	8,17	9,09	10,34[i]
RK+PK+S	3,91	7,41	6,11	6,75	3,42	2,82	5,07[f]
M[11]+RS[12]	1,94	1,80	1,63	2,21	1,90	2,80	2,05[ab]
M+PK+Pk[13]	2,35	2,43	1,97	2,99	2,11	4,04	2,65[c]

[1]O – oder; [2]PK – fosfor- ja kaaliumväetisega väetamine; [3]väiksed tähed veerus tähendavad variantide mõju maapealse biomassile ($P<0,05$); [4]N –mineraalse lämmastikväetisega väetamine; [5]S- sõnnikuga väetamine; [6]K – kõrrelised; [7]TJ – taimejäätmed jäeti niitmisjärgselt taimikule; [8]HL – hübriidlutsern; [9]RK – ristiku ja kõrreliste segu; [10]M- murutaimik [12]RS – reoveesette muda lisamine; [13]Pk – poolkoksi kompostiga väetamine

4. ARUTELU

Mitmeaastased heintaimed suurendasid mulla C_{org} varu võrreldes odraga oluliselt rohkem ($P < 0,05$). Samuti oli heintaimede maapealne biomass suurem odra maapealset biomassist, mis kinnitab teiste uurimustööde (Nösberg *et al*., 2000; Weigel, Manderscheid, 2012) tulemusi, et C_{org} varu dünaamika on seoses maapealse biomassiga. Samas on oluline nentida, et variandis, mis on olnud 50 aastat taimestikuta, on toimunud samuti C_{org} varu muutus (0,11 t ha^{-1} a^{-1}) ning selle variandi C_{org} varu ei erine oluliselt odra variandi C_{org} varust. Mille arvelt toimub C_{org} varu suurenemine taimestikuta variandis, on raske selgitada. Kuid kuna katse asub looduses, võib see tingitud olla katselappide saastumisest kõrvaloleva variandi taimejäätmetega, katselapid asetsevad kõrvuti ja suure biomassiga taimikud lamanduvad ka kõrvalolevatele lappidele või näiteks sügisese lehesajuga, mida pole piisavalt kiiresti katselapilt koristatud.

Suurimad maapealse biomassi keskmised saagid oli aastatel 2010 ja 2012 (5,75 ja 5,38 t KA ha^{-1}). Nende aastate kasvuperioodi (maist septembrini) keskmised temperatuurid ei erinenud oluliselt teiste aastate omadest, kuid nende aastate keskmine sademete hulk ületas 2009-2014.aastate mai-september perioodi keskmist vastavalt 4,9 mm ja 11,8 mm.

Odra ja kõrreliste variantide maapealne biomass oli sarnane, ning ka C_{org} varu aastane suurenemine oli sarnane, kuigi odra ja kõrreliste variantide agrotehnoloogia iga-aastase harimise osas oli erinev. Odra kasvatamisel toimub iga aastal katselappidel mulla 0-20 cm kihi ulatuses läbi kaevamine, mis soodustab mulla orgaaniline aine lagunemist (Jagadamma *et al*., 2007). Mitmeaastaste heintaimedega variantides toimus mulla läbikaevamine 1 kord 7. aasta jooksul, mistõttu on mulla orgaanilise aine lagunemine aeglane ja ka C_{org} varu on suurem. Seega on oluline nende variantide puhul märkida, et mõju avaldavad mulda mineva orgaanilise aine ehk C-sisendi omadused (näiteks N sisaldus, C:N suhe). Mõlemas variandis moodustus C-sisend taimede juurtest ja tüüst. Ilmselt on odralt pärinev C-sisend raskesti lagunev, mis soodustab C_{org} varu suurenemist ehkki antud variandi mulla orgaaniline aine lagunemistingimused on paremad. Kõrreliste variandi C-sisend on ilmselt kergemini lagunev võrreldes odra C-sisendiga ja sel põhjusel C_{org} varu ei suurenenud. Samas leidsid Abiven ja Recous (2007) oma töös, et pärast 22

päeva ei olnud märgata erinevust laia C:N suhtega nisu jäätmete ja kitsama C:N suhtega liblikõielise sojaoa jäätmete mineralisatsiooni vahel, kuid see erinevuse puudumine võis tingitud olla lühikesest ajast, mille jooksul mineralisatsiooni uuriti.

C_{org} varu suurenemine mitmeaastaste heintaimede kasvatamisel sõltus kasvatatavast kultuurist ja ka taimiku liigilisest koosseisust. Kui kõrreliste seemnesegusse lisati ristikut, siis C_{org} varu suurenes oluliselt võrreldes nii odra, kui kõrreliste seguga, mille põhjus võib olla selles, et antud variandi maapealne biomass oli oluliselt suurem. Ka Gregorich *et al*. (2001) leidsid, et liblikõielisi taimi sisaldanud katselappidel suurenes C sisaldus 40% rohkem, kui monokultuuri all olevas mullas. Meie katses uuritud kultuuridest oli kõige suurema maapealse biomassiga ida-kitsehernes, kuid antud kultuuri mõju C_{org} varule ei olnud oluliselt suurem võrreldes ristiku-kõrreliste seguga variandist ehkki maapealse biomassi erinevus oli 3-4 kordne. Taimede pealsete:juurte suhe on liigiti erinev (Harris, 1992; Bolinder *et al*., 2007). See võib olla näiteks kõrreliste puhul 1,27, kõrreliste ristiku puhul 0,43, mis tähendab, et taimede maa-alune biomass, mis moodustab C-sisendi võib olla sõltuvalt kultuurist, kas suurem või väiksem maapealsest biomassist. Kuna antud katses eemaldati maapealne biomass mõõtmisteks ning seda ei tagastatud, siis võib põhjuseks, miks suure maapealse biomassiga ida-kitsehernes märkimisväärselt C_{org} varu ei suurendanud, olla ida-kitseherne juurekava eripära. Tuginedes antud katse tulemustele, võiks eeldada, et ida-kitseherne maa-alune C-sisend on oluliselt väiksem võrreldes ristiku-kõrreliste maa-aluse sisendiga tingituna näiteks väiksemast juurekavast, kuid tegelikult on juurestik võimas, tungides 60-70 cm sügavusele. Võib-olla põhjus, miks ida-kitseherne suure maapealne biomassi mõju C_{org} varule ei avaldu, on seotud antud variandi mulla laia C:N suhtega. Üldiselt on täheldatud mulla C:N suhte kitsenemist variantides, kus kasvatatakse liblikõielisi. Kitsam C:N suhe osutab parematele mineralisatsioonitingimustele mullas (Elgersma, Hassink, 1997). Liblikõielise kasvatamine avaldab positiivset mõju mulla viljakusele, sest seob atmosfäärist mulda mügarbakterite kaasabil õhulämmastikku (Talgre *et al*., 2009). Tugevama juurekavaga liblikõielised rikastavad mulla pindmist kihti ka teiste mineraalsete toiteelementidega (P, K, Ca), mida nad transpordivad sügavamatest mullakihtidest (Dayegamiye, 2000), parandades mulla viljakust veelgi. Fornara ja Tilman (2008) leidsid oma uurimustöös, et liblikõieliste ja kõrreliste segu suurendas oluliselt juurte biomassi tootmist võrreldes ainult kõrreliste heintaimedega. Kõrreliste-ristiku rohumaa C_{org} sisaldus ja varu suurenesid rohkem, ka juurte biomass oli kõrreliste-ristiku variandil suurem kui ainult kõrrelistel.

Taimeliikide erinev mõju C_{org} varule ilmnes ka siis, kui võrrelda ida-kitseherne ja murukõrreliste variantide C_{org} varu. Ida-kitsehernega oluliselt ($P < 0,05$) väiksemat maapealset biomassi tootev murukõrrelistega taimik suurendas aastas C_{org} varu 0,46 t ha^{-1} a^{-1}, mis on 0,08 t ha^{-1} a^{-1} rohkem, kui ida-kitseherne variandis, kuid see muutus ei ole statistiliselt usaldusväärne. Suur Corg varu erinevus esines ka murukõrreliste ja kõrreliste seguga variands. Murukõrreliste segu ja kõrreliste segu liigiline koosseis ja niitmissagedus erinesid omavahel veidi, kuid siiski on raske leida põhjust, miks murukõrreliste variandi C_{org} varu oluliselt kõrgem oli. Võimalik, et väikse maapealse biomassiga murutaimik suurendas mulla C_{org} sisaldust orgaaniliste väetiste arvelt. Murukõrreliste variandid rajati 2002. aastal ning külvieelselt segati ühe variandi mulda 60 t ha^{-1} reoveesette muda ja teise 60 t ha^{-1} poolkoksi komposti, ilmselt avaldavad need lisatud orgaanilised väetised nii suurt järelmõju. Reoveesette muda on kõrge orgaanilise aine sisaldusega (nt 60-70% KA massist aeroobne lagundamise ajal ja 40-50% KA anaeroobse lagundamise ajal), veel sisaldab reoveesette muda väärtuslikke toitaineid, näiteks fosfori ja lämmastiku (Tenenbaum, 1997). Raave *et al*. (2004) leidsid oma uurimustöös, et pookloksi komposti (40 t ha^{-1}) lisamine suvinisule suurendas saagikust 0,84 t ha^{-1} rohkem, kui sõnniku lisamine. Mõlema murukõrrelise variandi C_{org} varu oli ühesugune, kuid C_{org} varu jaotus 0-20 cm kihis oli erinev. Poolkoksikompostiga variandis oli 40,9% 0-20 cm kihi C_{org} varust kogunenud pindmisse 0-5 cm kihti, reoveesette mudaga variandis oli pindmise kihi C_{org} varu madalam (34,1%), 5-10 cm kihis oli olukord vastupidine. Kui tavaliselt toimub aja jooksul C_{org} varu jaotumine (C_{org} varu on pindmises kihis suurem ja alumistes järjest väheneb) mitmeaastate kultuuride (rohumaade) mullas (Jagadamma *et al*., 2007), siis antud katses suuri olulisi erinevusi C_{org} jaotuses üheaastate odra ja mitmeaastaste taimede mullas ei tekkinud. Iga-aastaselt läbikaevatavas mullas (odra variant) peaks C_{org} varu jaotus olema ühtlane, kuid antud katses see seaduspära täielikult ei avaldunud. Põhjus, miks C_{org} jaotus heintaimede variandis ei avaldunud, võis olla see, et 6-7 aastat on liiga lühike aeg, et C_{org} varu niimoodi jaotuks 0-20 cm kihis, samuti võib 0-20 cm kiht võib olla ka liiga õhuke C_{org} jaotumiseks. Näiteks leidsid Gregorich *et al*. (2001), et murutaimiku all oleva 20 cm sügavuse mullakihi Corg sisaldus oli sarnane 70 cm sügavuse kihi C sisaldusega.

Ristiku-kõrreliste segu ja kõrrelisi PK-väetisega väetades C_{org} sisaldus ei statistiliselt oluliselt ei muutunud, võrreldes väetamata variantidega. Põhjuseks, miks mullal, millel on kasvanud ristiku- kõrrelise segu on suurem C_{org} sisaldus, kui variandil, millel on kasvanud kõrrelised, võib olla see, et ristiku-kõrrelise segu biomass on variandil 1,24 t ha^{-1} (tabel 5)

suurem, kui kõrreliste väetamata variandi mass, ehk mulda tagastatakse rohkem orgaanilist ainet. Ka on väga erinev tagastatava materjali keemiline koostis, kõrreliste C:N suhe on laiem, kui liblikõieliste ja kõrreliste segu, sest liblikõielised sisaldavad rohkem lämmastikku ja seetõttu vabaneb nende jäänustest mulda rohkem lämmastikku (Talgre *et al*., 2009).

Sõnniku ja mineraalse N-väetise mõjul on taimikute juurte mass oluliselt suurem, sest ka maapealne biomass on nendes variantides suurem. Kõige suuremat mõju odra C_{org} varule avaldas NPK väetise ja sõnniku lisamine, suurendades mulla C_{org} varu 0,36 t ha^{-1} a^{-1} (tabel 4). Suurt mõju avaldas odra variandi mullale veel ka PK+sõnnikuga väetamine, suurendades C_{org} varu 0,07 t ha^{-1} a^{-1} võrreldes sõnnikuga väetamata variandiga. Kukal *et al*. (2009) leidsid, et sõnniku lisamine mulda koos mineraalsete väetistega, suurendab C-sisendit rohkem, kui väetades ainult mineraalsete väetistega, sest sõnniku ja mineraalsete väetiste seguga väetatud muldade taimiku biomass on suurem ja ka C-sisend mulda on otsesem. Pikaajaline sõnniku ja mineraalsete väetiste lisamine suurendab mulla C_{org} varu kahel viisil: suurendades orgaanilise aine sisaldust mullas ja suurendades taimejäätmetest tulenevat orgaanilist ainet, sest suurendab saaki (Kundu *et al*., 2007). Samuti moodustab suure osa C-sisendist ka sõnnikust pärinev C, mis võib olla sõltuvalt sõnnikust erinev. Kauer et al. (2015) uurimistöös kasutati orgaanilise väetisena komposteeritud veisesõnnikut, mille C sisaldus oli 14 %, kuid näiteks Mahanta *et al*. (2013) töös olid sõnniku C sisaldus 29,9%.

Kui võrrelda kõrreliste erinevaid variante: PK-väetisega ja sõnnikuga väetatud ning ainult sõnnikuga väetatud, siis selgub, et C_{org} varu on suurenenud sõnnikuga väetatud variandis oluliselt rohkem (0,47 t ha^{-1} a^{-1}) võrreldes PK+sõnniku variandis (0,39 t ha^{-1} a^{-1}). Seega PK-väetise lisamine vähendab sõnniku mõju C_{org} varule. Sarnaselt kõrrelistega vähendab PK-väetis sõnniku mõju oluliselt ka ristiku ja kõrreliste variandis C_{org} varule. PK-väetiste lisamine võib soodustada mullas elutsevate mikroorganismide elutegevust ja sellega soodustada mineralisatsiooni mullas ning kuna PK-väetamine maapealset biomassi ei suurendanud, siis sellest tulenevalt oli mulla süsinikubilanss negatiivne. Kuid hübriidlutseni puhul PK-väetis sõnniku mõju ei vähendanud. Ka oli kõrreliste variandil, millel jäeti taimejäätmed mulla pinnale lagunema, süsinikuvaru sama suur, kui kõrreliste variandil, mida väetati PK- väetiste ja sõnnikuga ehk sõnnikul puudus mõju. Kõrreliste variant, millele jäeti taimejäätmed, sai igal aastal keskmiselt 2,69 t KA ha^{-1} (tabel 5), sellele lisandus veel juurtest pärinev C-sisend. Kõrreliste variandis, mida väetati PK-

väetiste ja sõnnikuga maapealne biomass viidi katselt minema. Selles variandis moodustas C-sisendi juurtest ja sõnnikust pärinev C. Sõnniku andmise norm oli külvi alla 60 t ha^{-1} 6 aasta peale, ehk siis aastas 10 t sõnnikut, mis sisaldab mingis koguses vett. Arvestades, et näiteks komposteeritud sõnnik sisaldab 44 % kuivainet (Kauer *et al*., 2015), siis katsele anti aastas 4,4 t KA ha^{-1} sõnnikut, kuid ilmselt oli antud kastes kasutatud sõnniku KA sisaldus väiksem, sest sõnnikuga kasutati vedelat sõnnikut, seega ka sõnniku KA norm oli väiksem. Seega saab eeldada, et mõlemas variandis on C-sisend on peaaegu sama suur ning seetõttu on ka C_{org} varud on võrreldavad ehkki C-sisendi omadused on ilmselt väga erinevad. Võrreldes kõrreliste väetamata varianti variandiga, mis sai PK-väetisi ja N-väetist normiga 150 kg ha^{-1},ilmneb, et C_{org} varu aastane juurdekasv on väetamise korral suurema C sisendi tõttu 0,07 t ha^{-1}, kuid maapealse biomassi vahe on rohkem kui kolmekordne (1,82 ja 6,17 t ha^{-1}).

Katses olnud kultuurid on botaaniliselt väga erinevad ja ka taimede keemiline koostis on erinev (Redin *et al*., 2014). Kuna katselapil kasvatamine erineb siiski põllul kasvatamisest on saake raske võrrelda, kuna väikeste katselappide saakide ühtlustamisel suurte põldude saakidega ei saa arvesse võtta mitmeid tegureid. Näiteks kahjurite ja haiguste mõju on nii väikesel katselapil palju suurem. Katse odra keskmine maapealne biomass jääb alla isegi tavalisele terade saagile. Kõrreliste saagid varieeruvad suurtes piirides nii variantide kui ka aastate piires. Ristiku- kõrreliste segu andis stabiilselt head saaki.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli uurida Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi Rõhu katsejaama pikaajalise katse (rajatud 1964. aastal) mulla C_{org} sisalduse ja varu muutumist aja jooksul sõltuvalt maakasutusest (monokultuuri versus mitmeaastate heintaimede kasvatamine). Käesolevas töös vaadeldi perioodi 2009-2014. Töö esimeseks hüpoteesiks oli, et mulla orgaanilise süsiniku sisaldus sõltub maakasutusest ning on suurem mullas, millel on kasvatatud mitmeaastasi heintaimi, sest seal ei toimu iga-aastast mulla harimist, mis soodustab orgaanilise aine lagunemist paranenud orgaanilise aine lagunemistingimuste tõttu. Teiseks hüpoteesiks oli, et mineraalse väetise lisamine mulda soodustab orgaanilise aine lagunemist ja seega on orgaanilise süsiniku sisaldus mineraalse väetise väetatud variandis madalam võrreldes variandiga, kus on kasutatud orgaanilist väetist.

Katse tulemused näitasid, et odra variant, mida kaevati igal aastal ümber, suurenes mulla C_{org} varu oluliselt vähem, kui heintaimed, mida rajati uuesti iga kuue aasta järel. Teiseks põhjuseks, miks odra variant suurendas mulla C_{org} sisalduse varu oluliselt vähem, kui heintaimed, oli heintaimede maapealse biomass suurus. Nimelt oli heintaimede maapealne biomass oluliselt suurem odra maapealset biomassist, tootes seega rohkem C-sisendit mulda. Järelikult leidis esimene hüpotees kinnitust ja mulla C_{org} sisaldus ja varu sõltuvad maakasutusest. Samas oli üllatavaks tulemuseks, et variandis, mis oli olnud 50 aastat taimestikuta, oli samuti toimunud C_{org} varu muutus ning selle variandis C_{org} varu ei erinenud oluliselt odra variandi C_{org} varust. Taimestikuta variandi C_{org} varu suurenemine on ilmselt põhjustatud katselapi saastumisest ümbritsevast keskkonnast pärineva orgaanilise ainega (puulehed jms).

Kinnitust leidis ka teine hüpotees: mineraalsete väetiste lisamine mulda soodustas mulla orgaanilise aine lagunemist. Võrreldes kõrreliste varianti, mida on väetatud PK-väetisega ja sõnnikuga ning kõrreliste ja sõnniku variante, ilmnes, et C_{org} varu oli suurenenud oluliselt rohkem kõrreliste variandis, kuhu oli antud sõnnikut. Seega saab eeldada, et PK-väetise lisamine vähendab sõnniku mõju C_{org} varule. Ka ristiku ja kõrreliste variandis vähendab PK-väetis oluliselt sõnniku mõju C_{org} varule. Põhjuseks võib olla PK-väetiste positiivne mõju mullas elutsevate mikroorganismide elutegevusele ja sellega ka

mineralisatsiooni hulgale mullas. Lisaks PK-väetamine ei suurendanud maapealset biomassi, millest tulenevalt oli mulla süsinikubilanss negatiivne.

Mulla C_{org} sisalduse ja varu muutumise uurimise oluliseks eripäraks aeg, mis kulub selleks, et vaadelda muutuseid mullas. Antud katse on tänaseks kestnud 50 aastat, kuid muutused mullahorisontides on alles vähemärgatavad. Kindlasti oleks vaja jätkata selle Eestis ainulaadse katse uurimist tulevikus.

KASUTATUD KIRJANDUS

Abiven, S., Recous, S. 2006. Mineralisation of crop residues on the soil surfake or incorporated in the soil under controlled conditions. Biology and Fertility of Soils 43, 849–852.

Adams, W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. Journal of Soil Science 24(1), 10–17.

Aoyama, M., Angers, D.A., N'Dayegamiye, A., Bissonnette, N. 1999. Protected organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. Canadian Journal of Soil Science79, 419–425.

Bauer, A., Black, A.L. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Science Society of America Journal 58, 185–193.

Blair, N., Crocker, G.J. 2000. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. Australian Journal of Soil Research 38, 71–84.

Brandaranayake, W., Quian, Y.L., Ojima, D.S., Follet, R.F. 2003. Estimation of soil organic carbon hanges in turfgrass systems using the CENTURY model. Agronomy Journal 95, 558–563.

Börjesson , G., Menichetti, L., Kirchmann, H., Kätterer, T. 2012. Soil microbial community structure affected by 53 years of nitrogen fertilisation and different organic amendments. Biology and Fertility of Soils 48, 245–257

Campell, C.A., Biederbeck, V.O., Zetner, R.P., Lafond, G.P. 1991. Crop rotation studies and curtural practices on soil organic matte, microbial biomass and respiration on a thin Black Chemozem. Canadian Jurnal of Soil Science 71, 363–376.

Dalal, R.C., Mayer, R.J. 1986. Long-term trends in fertility of soils under continiuos cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. Australian Journal of Soil Research 24, 281–292.

Dayegamiye, A.M. 2000. Effect of green manures on soil physical and biological properties and wheat yields and N uptake. Canadian Journal of Soil Science 80, 81–89.

Douglas, C.L., Allmaras R.R. Jr., Rasmussen, P.E., Ramig, R.E., Roager N.C. Jr. 1980. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. Soil Science Society of America Journal 44, 833–837.

Elgersma, A., Hassink, J. 1997. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Plant and Soil 197, 177–186.

Eswaran, H., Van Den Berg, E., Reich,P.1993. Organic Carbon in Soils of the World. Soil Science. Society of America Journal, 57, 192–194.

Fornara, D. A., Tilman, D. 2008. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. Journal of Ecology 96, 314–322.

Franzluebbers, A.J., Hons, F.M., Zuberer, D.A. 1995. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. Soil Science Society of America Journal 59, 1618–1624.

Ganzhara NF. 1998. Humus, soil properties and yield. Eurasian Soil Science 31, 738–745.

Gill, R.A, Burke, I.C. 2002. Influence of soil depth on the decomposition of bouteloua gracilis roots in the shortgrass steppe. Plant and Soil 24, 233–242.

Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil orcanic matte quality in agricultural soils. Canadian Journal of Soil Science 74, 367–385.

Gregorich, E.G.,. Drury, C. F., Baldock, J. A. 2001. Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. Canadian Journal of Soil Science 81(1), 21-31.

Hamilton, E.W., Frank, D.A. 2001. Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass. Ecology 82, 2397–2402.

Handayanto, E., Giller, K., Caish, G. 1997. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. Soil Biology and Biochemistry 29,1417–1426.

Harris, R.W. 1992. Root-Shoot ratios. Journal of Arboriculture 18(1), 39-42.

Haynes R.J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. Soil Biology and Biochemistry 32, 211–219.

Hunt, H.W., Ingman, E.R., Coleman, D.C., Elliot, E.T., Reid, C.P.P. 1988. N limitation of production and decomposition in prairie, mountain meadow, and pine forest. Ecology 69, 1009–1016.

Jagadamma, S., Lal, R., Hoeft, R,G., Nafziger, E,D., Adee, E, A. 2007. Nitrogen fertilization and cropping systems effects on soil organic carbon and total nitrogen pools underchisel-plow tillage in Illinois. Soil and Tillage Research 95, 348–356.

Janzen, H.H. 1987. Effect of fertilizervon soil productivity in long-term sprint wheat rotations. Canadian Journal of Soil Science 67, 164–174.

Kauer, K., 2012. The effect of plant residues managementand fertilization on herbage growth and organic carbon content in soil. Väitekiri Filosoofiadoktori kraadi taotlemiseks põllumajanduse erialal. Eesti Maaülikool, Ecoprint, 216 lk.

Kauer, K., Kõlli, R., Viiralt, R., Köster, T., Noormets, M., Laidna, T., Keres, I., Parol, A., Varul, T., Selge, A., Raave, H. 2013. The effect of cut plant residues management and fertilization on the dry matter yield of swards and on carbon content in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44, 205–218.

Kauer, K., Raave, H., Köster, T., Viiralt, R., Noormets, M., Keres, I., Laidna, T., Parol, A., Selge, A. 2012. The decomposition of turfgrass clippings is fast at high air humidity and moderate temperature. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Plant Soil Science 62, 224-234.

Kauer, K., Tein, B., Sanchez de Cima, D., Talgre, L., Eremeev, V., Evelin, L., Luik, A. 2015. Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate. Soil and Tillage Research. (avaldamisel)

Kerr, R.A. 2005. The story of O2. Science 308, 1730-1732.

Koch, H-J., Stockfisch, N. 2005. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. Soil and Tillage Research 86, 73–83.

Koga, N., Tsuju, H. 2009. Effects of reduced tillage, crop residue management and maure application practices on crop yields and soil carbon sequestration on an Andisol in northern Japan. Soil Science and Plant Nutrition 55, 546–557.

Kundu, S., Bhattacharyya, R., Prakash, V., Ghosh, B.N., Gupta, H.S. 2007. Carbon sequestration and relationship between carbon and storage under Rained soybean-wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. Soil and Tillage Research 92, 87–95.

Kundu, S., Bhattacharyya, R., Ved-Prakash Ghosh, B.N., Gupta, H.S. 2007. Carbon sequestration and relationship between carbon addition and storage under rainfed soybean– wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. Soil and Tillage Research 92, 87–95.

Kätterer, T., Bolinder, M.A, Andrén, O., Kirchmann, H., Menichetti, L. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field eksperiment. Agriculture, Ecosystems and Environment 141, 184–192.

Lal, R. 2004a. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304, 1623–1627.

Lal, R. 2004b. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123, 1–22.

Lal, R., Follet, F. 2009. Priorities in soil carbon research in response to climate change. Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect, second ed. SSSA Special Pulblcation 57.

Lal, R., Follet, R.F., Stewart, B.A., Kimble, J.M. 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. Soil Science 172, 943–956.

Larney F.J., Janzen, H.H., Olson, B.M., Lindwall, C.W. 2000. Soil quality and productivity response to simulated erosion and restorative amendments. Canadian Journal of Soil Science 80, 515–522.

Mack, M., Schuur, E., Bret-Harte, M., Shaver, G., Chapin, F. 2004. Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. Nature 431, 440–443.

Mahantaa, D., Bhattacharyya, R.,. Gopinathc, K.A.,. Tuti, M.D, Jeevanandan, K., Chandrashekara, C., Arunkumar, R., Minaa, B.L., Pandeya, B.M,. Mishraa P.K, Bisht, J.K., Srivastvaam, A.K., Bhatt J.C. 2013. Influence of farmyard manure application and mineral fertilization on yield sustainability, carbon sequestration potential and soil property of gardenpea–french bean cropping system in the Indian Himalayas. Scientia Horticulturae 164, 414–427.

Mann, L.K. 1986. Changes in soil carbon storage after cultivation. Soil Science 142, 279–288.

Mazzoncini, M., Sapkota T. B., Baroberi, P., Antichi D., Risaliti, R. 2011. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. Soil and Tillage Research 114, 165–174.

Menichetti, L ., Ekblad, A., Kätterer, T. 2013. Organic amendments affect δ13C signature of soil respiration and soil organic C accumulation in a long-term field experiment in Sweden. European Journal of Soil Science 64, 621–628.

Nösberger, J., Blum, H., Fuhrer, J., 2000. Crop responses to climatic change: productive grasslands. In: Reddy, K.R., Hodges, H.F. (Eds.), Climate Change and Global Crop Productivity. CAB Publishing, 271–292.

Plaza-Bonilla, D., Alvaro-Fuentes, J., Cantero-Martınez, C. 2014. Identifying soil organic carbon fractions sensitive to agricultural management practices. Soil and Tillage Research 139, 19–22

Qin, H., Lu ,K.,. Strong, P.J., Xu , Q ., Wu ,Q., Xu ,Z., Xu ,J., Wang, H. 2014. Long-term fertilizer application effects on the soil, root arbuscular mycorrhizal fungi and community composition in rotation agriculture. Applied Soil Ecology 89, 35–43.

Raave, H., Kuldkepp, P., Leedu, E., Merivee, A. 2004. Recultivation substance and composts produced from semi-coke: the effect on soil characteristics, the yield of field crops and the environment. Oil Shale 21(1), 59–73.

Redin, M., Recous, S., Aita,C., Dietrich, G., Skolaude, A.C., Ludke, W.H., Schmatz, R., Giacomini, S.J. 2014. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. Soil Biology and Biochemistry 78, 65–75.

Rustad, L.E. 2006 From transient to steady-state response of ecosystems to atmospheric CO2-enrichment and globalclimate change: conceptual challenges and need for an integrated approach. Plant and Ecology 182, 43–62.

Sainju U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F. 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. Soil and Tillage Research 63, 167–197.

Sau, A. 1979. Eesti Looduseuurijate Seltsi aastaraamat. 67 köide. Valgus.

Saviozzi, A., Levi-Minizi, R., Riffaldi, R. 1994. The effect of forty years of continuous cropping on soil organic matte characteristics. Plant and Soil 160, 139–145.

Shahzad, T. , Chenu, C., Repinçay C., Mougin, C., Ollier J., Fontaine, S., 2012. Plant clipping decelerates the mineralization of recalcitrant soil organic matte under multiple grassland species. Soil Biology and Biochemistry 51, 73–80

Singh, K.P., Ghoshal, N., Singh, S. 2009. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop productivity in a tropical dryland agroecosystem: Influence od organic inputs of varyng resourse quality. Applied Soil Ecology 42, 243–253.

Smith, P., Powlson, D.S. 2000. Considering manure and carbon sequestration. Science 287, 428–429.

Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., Astover, A. 2009. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. Agronomy Research 7, 125–132.

Tenenbaum, D. 1997. The beauty of biosolids. Environmental Health Perspectives 105, 32–37.

Tong , X., Xu , M., Wanga, X., Bhattacharyya , R., Zhang , W., Cong, R. 2013. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China. Catena 113, 251–259.

Weigel, H-J., Manderscheid, R. 2012. Crop growth responses to free air CO2 enrichment and nitrogen fertilization: Rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. European Journal of Agronomy 43, 97–107.

THE DYNAMICS OF SOIL ORGANIC CARBON CONTENT DEPENDING ON LAND USE

Resume

Soil organic matter is one of the most important indicators of the quality of soil fertility and it is also affecting soil biological, chemical and physical properties. Soil organic matter is composed of approximately 58% of carbon (Lal, 2004b), and it forms a large proportion of carbon, which circulates in the global carbon cycle. The world there is only a few long-term field tests, which detailed soil and crop protocols are available, and the overall quality of the measurement which allows analysing the changes in soil organic carbon with sufficient accuracy (Kätterer *et al*., 2011).

The aim of this study was to investigate a long-term experiment (founded in 1964 at the Estonian University of Life Sciences Institute of Agricultural and Environmental Sciences test station) for the content and stock of the soil organic carbon over time, depending on the land use (monoculture versus several years of grass plants). In this study we focus at the period 2009- 2014. The first hypothesis of the research was that the soil organic carbon content depends on land use, and is higher in a soil, on which have been cultivated perennial grass plants, because there is no annual soil cultivation, which promotes the decomposition of organic material in order to improve organic matter decomposition conditions. And the second hypothesis was that the addition of mineral fertilizers in to the soil, promotes the decomposition of organic matter and thus the content of organic carbon is lower in the variant that was fertilized with mineral fertilizer as compared to a variant, which was fertilized with organic fertilizer.

Soil organic carbon content is linked to the ability to resist the tightening of soil aggregates, water runoff and erosion (Lal *et al*., 2007). Soil organic carbon decrease of the soil leads to a decrease in the productivity and the quality of the soil (Lal *et al*., 2007). When the soils are being cultivated the soil organic carbon content decreases (Dalal, Mayer, 1986; Saviozzi *et al*., 1994; Blair, 2000; Sainju *et al*., 2002), because the cultivation process disturbs the balance between the competing processes, the formation and mineralization of soil organic matter. During cultivation soil organic matter decomposition increases due to improved soil ventilation, moisture and temperature

regimes (Lal *et al*., 2007). Soils organic carbon stock can be increased by increasing the C-input quantity to the soil (Lal, 2004a; Shahzad *et al*., 2012). It is possible to increase biomass output and thus the amount of organic matter going into the soil, by fertilization (Gregorich *et al*., 1994; Sainju *et al*., 2002; Mazzoncini *et al*., 2011; Kätterer *et al*., 2011) using mineral, and organic fertilizers (such as manure or compost).

Currently the experiment has 19 variants. Control has been from the beginning, a variant without vegetation. The main crops, which are being examined for the impact on C stocks of soil are: barley, a mixture of grasses (fescue (*Festuca pratensis*), common timothy (*Phleum pratense*), (*Poa pratensis*)); a mixture of grasses with white clover (*Trifolium repens*) ; hybrid (*Medicago* x *varia*); galega (*Galega orientalis*); sward grasses (perennial ryegrass, red fescue).

Results of the experiments showed that on the barley variant which was ploughed annually the soil organic carbon content increased significantly less than with grasses, which were sowed again after six-years. Another reason why the variant of barley soil organic carbon stocks increased significantly less than the grasses, was that grasses have larger aboveground biomass size thus producing more C input to soil. Consequently, the first hypothesis was confirmed- soil organic content and stock, depend on the land use. However, the surprising result was that, in a variant, which had been 50 years without vegetation, also had changes in its organic matter content, probably due to contamination of the test patch.

The second hypothesis was also confirmed: the addition of mineral fertilizers in the soil contributed to the degradation of soil organic matter. Compared with grasses variant, which is fertilized with PK-fertilizer and manure, and manure and grasses variants, we saw that the soil organic carbon stocks had increased in grasses and manure variant much more. Therefore, we can assume that the PK-fertilizer reduces the effect of manure to soil organic carbon stock. Also, in clover and grasses variants PK-fertilizer reduces the effect of, manure to soil organic carbon stock. This might be because mineral fertilizers have a positive effect to the soil micro-organisms, and thus the amount of mineralization in the soil increases.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Merli Aalja,
(*autori nimi*)
sünniaeg 11.04.1990,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Mulla orgaanilise süsiniku sisalduse dünaamika sõltuvalt maakasutusest,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Karin Kauer,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)