

Определяне на разпределението на мезо-порите в почвата чрез на кривата на водозадържане

Цветина Папаркова

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкиarov”, София
E-mail: cvetinanikilieva@abv.bg

Резюме

Разпределението на мезо-порите определя важни показатели на структурата на поровото пространство в почвата. Целта на изследването е да се определи разпределението на мезо-порите в почвата чрез кривата на водозадържане, определена чрез два лабораторни метода – капиляриметър с висящ воден стълб и апарат TDR/MUX/mpts за едновременно измерване на матричния потенциал и обемната влажност. Изследването е извършено на почвени проби с различен механичен състав, съдържание на органичен въглерод и структура, взети от хумусните хоризонти на необработваема Делувиално-ливадна почва, обработваема Алувиално-ливадна почва и необработваема и обработваема Кафява горска почва. При двете обработваеми почви количеството на мезо-порите в пробите е около 15%, като разликата, получена по двата метода, е малка – под 1%. Възможността за получаване на голям брой данни в диапазона на мезо-порите в почвата чрез апарата TDR/MUX/mpts дава възможност за получаване не само на основните функционални категории пори в този диапазон, но и за представянето им чрез детайлна диференциална крива. Независимо, че използва проби в нарушено състояние, методът е показателен за оценка на изменения в структурата на поровото пространство под влияние на обработка на почвата в сравнение с необработваеми почви.

Ключови думи: криви на водозадържане, капиляриметър с висящ воден стълб, лабораторен TDR сензор, мини тензометър

Determination of soil meso-pores distribution via soil water retention curve

Tsvetina Paparkova

Institute of soil science, Agrotechnologies and Plant Protection “N. Poushkarov”, Sofia
Corresponding author: cvetinanikilieva@abv.bg

Citation: Paparkova, Ts. (2021). Determination of soil meso-pores distribution via soil water retention curve. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 55(3-4), 63-70.

Abstract

The soil meso-pores distribution determines important indicators of soil pore structure. The aim of the current study was to determine the distribution of meso-pore in soil via soil water retention curve using two laboratory methods – suction plate method with hanging columns and TDR/MUX/mpts device for simultaneous measurements of matric potential and soil water content per volume. The analyses were performed on soil samples with different soil texture, soil organic carbon content and structure taken from the humic horizons of non-cultivated Deluvial-meadow soil, cultivated Fluvisol and non-cultivated and cultivated Haplic Cambisol. The volume of meso-pores in the cultivated soils was around 15% with less than 1% difference between the methods. The possibility of obtaining great amount of data in the range of soil meso-pore using the TDR/MUX/mpts device allowed to obtain information on different functional categories of pores and to present them as detailed differential curves. Although the measurements with TDR/MUX/mpts were done on disturbed soil, the method was indicative for changes in structure of soil porous system provoked by soil tillage in comparison to non-cultivated soil.

Key words: soil water retention curve, suction plate apparatus, laboratory TDR sensor, mini tensiometer

Въведение

Съществуват различни методи за описание на поровото пространство в почвата, които имат различни предимства и ограничения (Rabot et al., 2019). Най-широко приложение има методът, базиран на зависимостта на водозадържането от приложеното отрицателно налягане, т.н. крива на водозадържане. В основата на този индиректен метод е представата за поровото пространство чрез сноп от цилиндрични капилляри, в които водата се придвижва в резултат на капиллярността. Ефективният радиус (r , cm) на тези капилляри се изчислява по приложеното отрицателното налягане ($-h$, cm воден стълб) по формулата на Жюрен (по-късно развита в закона на Йънг-Лаплас): $h = a/r$, където a е константа, зависеща от контактния ъгъл, повърхностното напрежение на течността и геометрията на порите и е $0,149 \text{ cm}^2$ за системата въздух-вода-почва. По този начин може да се получи разпределението на обема на порите по размери в кумулативен или диференциален вид. Порите са класифицирани в зависимост от основните функции, които изпълняват (Greenland, 1981, Kutílek et al., 2006) или в зависимост

само от техния размер (Luxmoore, 1981). Според класификацията на Luxmoore (1981) макро-порите са пори с ефективен диаметър $D > 1000 \text{ } \mu\text{m}$ ($h > -3 \text{ cm}$), мезо-порите са с $D = 10 - 1000 \text{ } \mu\text{m}$, съответстващ на воден стълб от -3 до -300 cm , а микро-порите са с $D < 10 \text{ } \mu\text{m}$ и съответно $h < -300 \text{ cm}$. Трябва да се има предвид, че във физикохимичните изследвания се използват пори със същото наименование, но с нанометрични размери: макро-пори $d > 50 \text{ nm}$, мезо-пори $2 - 50 \text{ nm}$ и микро-пори $d < 2 \text{ nm}$ (Everett, 1972). Настоящото изследване касае мезопорите в почвата, дефинирани от Luxmoore (1981).

Разпределението на мезо-порите определя важни показатели за структурата на поровото пространство, като обем на дрениращите пори, пределна полска влагоемност, аерационен капацитет, инфлексна точка, максимум на структурните пори (Greenland, 1981; Reynolds et al., 2009; Dexter et al., 2006; Kutílek et al., 2006; Dilkova, 2014; Rousseva et al., 2017; Kercheva et al., 2017, 2019). За получаване на някои от тези индикатори е необходим по-голям брой експериментални точки, отколкото могат да се получат със стандартните методи за определяне

на кривата на водозадържане (Kercheva, 2015). В това отношение апаратът TDR/MUX/mpts, измерващ едновременно влажността и матричния потенциал в почвените проби, позволява да се получат голям брой точки от кривата на водозадържане при потенциал от 0 до -800 mbar ($h=-816$ cm воден стълб) (Manual, 2013).

Целта на изследването е да се определи разпределението на мезо-порите в почвата чрез кривата на водозадържане, определена чрез два лабораторни метода – капилариметър с висящ воден стълб и апарат TDR/MUX/mpts, позволяващ едновременно измерване на потенциала и обемната влажност.

Материал и методи

Изследването е извършено с почвени проби с контрастен механичен състав и структура, взети от хумусните хоризонти на необработваема Делувиално-ливадна почва от биоклиматичния полигон край с. Горни Лозен, Софийско (23.459E, 42.625N, 585 m); обработваема Алувиално-ливадна почва от опитно поле с. Цалапица, Пловдивско (24.547E, 42.181N, 192 m), необработваема и обработваема Кафява горска почва край опитната станция по картофите и планинско земеделие в гр. Самоков (23.535E; 42.336N; 945 m). Подробна информация за изследваните почви е публикувана от Dimitrov (2014), Kercheva et al. (2018) и Paparkova (2021).

Почвените проби за определяне на обемната плътност (ISO 11272:1998) и водозадържането с капилариметър с висящ воден стълб са взети в ненарушено състояние в метални пръстени с обем 100 cm^3 в 4 повторения. Механичният състав на почвата е определен на въздушно суха, стрита и пресята през сито 2 mm, почвена проба чрез прилагане на пипетен метод и пресяване, съгласно процедура, описана в ISO 11277:2009. Фракциите на пясъка (2-0,063 mm), праха (0,063-0,002 mm) и глината (<0,002 mm) са използвани за класифициране на почвената текстура, съгласно IUSS Working Group WRB (2015). Съдържанието на общ органичен въглерод (SOC, %) е определено

по модифицирания метод на Тюрин (Filcheva & Tsadilas, 2002; Kononova, 1963). Почвената киселинност е определена във вода с рН метър (ISO 10390: 2011).

Специфичната плътност е измерена във вода с пикнометри с обем 100 cm^3 (ISO 11508:1998). Общата порьозност (Pt) е изчислена по данни за обемната (Db) и специфична (Ds) плътност по формулата $Pt=(1-Db/Ds)\times 100\%$.

Кривите на водозадържането при $h>-330$ cm са определени по два метода. Първият (M1) използва ненарушените почвени проби в пръстени от 100 cm^3 , които се поставят на капилариметър с висящ воден стълб. Пробите са предварително навлажнени на пясъчна вана до потенциал – 0,25 kPa ($h=-2,5$ cm) за период от около 20 дни. Методът е сходен на описания в ISO 11274:1998, като в случая се използват Shot филтри G5, свързани с висящ воден стълб за определяне водозадържането при -10, -50 и -100 cm ($pF=\log|h|=1, 1,7$ и 2) или с вакуумна камера за определяне водозадържането при -330 cm ($pF=2.5$) Kercheva et al. (2017, 2019).

Вторият метод (M2) използва апарата TDR/MUX/mpts (Time Domain Reflectometry) за едновременно измерване на обемната влажност с TDR сензор и матричното налягане с минитензиометри (Manual, 2013). Почвените проби в нарушено състояние са поставени и уплътнени чрез стръскване в пръстени с височина 10 cm и диаметър 5,5 cm с отвори в стената, през които са фиксирани хоризонтално сензорите за влажност и потенциал. Вертикално в почвата е поставен и сензор за измерване на температурата, който също е част от комплекта на апарата TDR/MUX/mpts. Измерванията се извършват на всеки 10 минути и се запаметяват в свързания с апарата компютър чрез специализиран софтуер (Manual, 2013).

Водозадържането при матричен потенциал -1500 kPa ($pF 4,2$) е определено чрез използване на пресата на Ричардс след предварително навлажняване на стрити почвени проби в пръстени с височина 1 cm. Хигроскопичната влажност ($pF 5,6$) е определена на стрити почвени проби в ексикатори при контролирана с наситен разтвор на NaCl относителна влажност

на въздуха 75%.

Ефективният диаметър (d) на порите е изчислен по закона на Йънг-Лаплас:

$$d = \frac{4 \sigma}{|h|} = \frac{30}{|h|}$$

където $\sigma = 7,29 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ е повърхностното напрежение, h е водният напор в m ; d е ефективният диаметър в μm .

Разпределението на мезо-порите е представено в кумулативен и диференциален вид. За представяне в диференциален вид данните за матричния потенциал са усреднени за всяка стойност на влажността. Подобно изглаждане на експерименталните данни може да се направи чрез кубична сплайн интерполация (Kutílek et al., 2006) или чрез нелинейна апроксимация с кривата на ван Генухтен (Dexter, 2006) с цел да се елиминират случайни флукуации при измерването на матричния потенциал или запълване на липсващи данни.

Резултати и обсъждане

Изследваните почвени проби от Делувиално-ливадна почва, Алувиално-ливадна и Кафява горска почва са съответно с тежък, лек и среден механичен състав (таблица 1). Стойностите на хигроскопичната влажност ($W_{5,6}$) и влажността на завяхване ($W_{4,2}$), отговарящи на матричен потенциал pF 5,6 и pF 4,2, следват съдържанието на глината. Съдържанието на органичен въглерод (SOC) е ниско в Алувиално-ливадната и средно в Делувиално-ливадната. Двете почви са с леко кисела почвена реакция. Обработваемата и необработваема Кафява горска почва от района на Самоков са съответно с ниско и високо SOC и кисела реакция. Данните, получени за почвените свойства в слоя 10-15 cm на Делувиално-ливадната почва са близки до получените пет години по-рано стойности (Dimitrov, 2014).

Кумулативното разпределение на обема на порите по размери в почвените проби, взети в пръстени от полето (метод M1) и в нарушената и насипана в пръстени почва (метод

M2) е представено на фиг. 1. Сходството в разпределението на порите в обработваемата Кафява горска почва, получено по двата метода, е потвърждение за влошената ѝ структура вследствие на обработката ѝ (Papakova, 2021). При обработваемата Алувиално-ливадна почва обемът на микро-порите в ненарушените проби е по-нисък с близо 3% от този в нарушените (фиг. 1, 3). При двете обработваеми почви количеството на мезо-порите в пробите е около 15%, като разликата, получена по двата метода, е малка – под 1%.

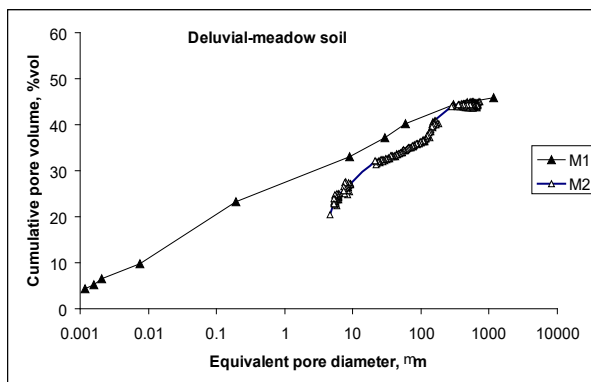
При необработваемите почви се наблюдава съществена разлика в разпределението на порите в ненарушено и нарушено състояние. Микро-порите, които представляват порите задържащи водата в почвата, са повече в ненарушено състояние отколкото в нарушено състояние с 6% при глинестата Делувиално-ливадна почва и с 8% при средната по механичен състав Кафява горска почва. Относителното намаление на микро-порите в насипната почва е 18-20% в сравнение с ненарушената почва. Най-високо е количеството на мезо-порите при ненарушената Кафява горска почва под трева, която е с високо SOC, като мезо-порите с размер от 10 до 300 μm са 18%, а най-ниско е при ненарушената Делувиално-ливадна почва – 11,5%, което показва уплътнение на тази почва в естествени условия (фиг. 3). Различното поведение на двете почви, може да се обясни с уплътняването на глинестата почва в естествено състояние, което при раздробяването ѝ води до увеличаване на по-едрите пори.

Диференциалното разпределение на порите, получено от регистрираните с голяма честота данни с апарата TDR/MUX/mpts (метод M2) е представено на фиг. 2. Ходът показва разпределението на пиковите на порите в диапазона от 5 μm до 600 μm , а при Кафявата горска почва до 1000 μm . Тенденциите за повече пикове около пределната полска влагемност отразяват получените обобщени резултати за различните категории пори (фиг. 3). Анализът на данните от обработваемата и необработваемата Кафява горска почва (фиг. 1с, 2 и 3с, d), показва, че методът е показателен

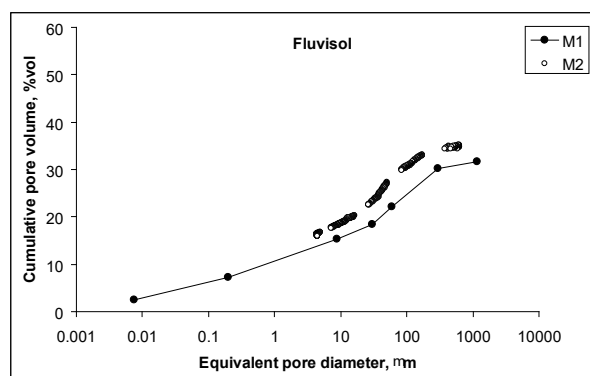
Таблица 1. Основни почвени показатели на изследваните повърхностни слоеве. SOC съдържание на почвена органичен въглерод, Db – обемна плътност, Ds специфична плътност, Pt – обща порьозност, W_{4,2} тегловна влажност при рF 4,2 (влажност на завяхване), W_{pF5,6} хигроскопична влажност, отговаряща на рF 5,6

Table 1. Main soil properties of studied topsoil layers. SOC - soil organic carbon content, Db - soil bulk density, Ds - soil particle density, Pt - total porosity, W_{4,2} soil water content at pF 4,2, W_{5,6} hygroscopic soil water content at pF 5.6

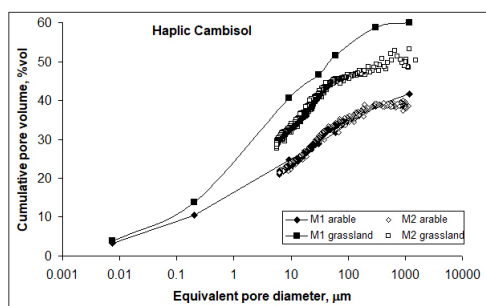
Начин на земе- ползване Land use	Пясък Sand %	Прах Silt %	Глина Clay %	Тексту- рен клас Texture class	SOC %	pH H ₂ O	Db, g cm ⁻³	Ds, g cm ⁻³	Pt. %	W _{4,2} , %wt	W _{5,6} , %wt
Делувиално-ливадна почва (Deluvial-meadow soil), 10-15 cm											
Трева Grassland	12	40	48	Clay	0,92	6,2	1,47	2,71	45,8	15,8	6,6
Алувиално-ливадна почва (Fluvisol), 0-10 cm											
Угар Arable	65	23	12	S a n d y Loam	0,51	6,2	1,55	2,65	41,8	4,7	1,6
Кафява горска почва (Haplic Cambisol), 0-10 cm											
Угар Arable	46	32	22	Loam	1,10	3,8	1,15	2,65	56,5	9,0	2,8
Трева Grass- land	39	36	25	Loam	1,97	3,8	1,04	2,59	59,8	13,2	3,8



а) Делувиално-ливадна почва (Deluvial meadow soil), Лозен (Lozen)



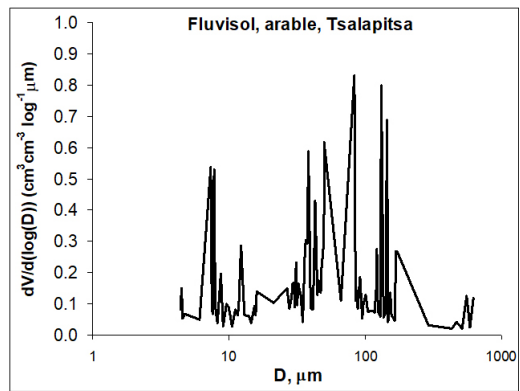
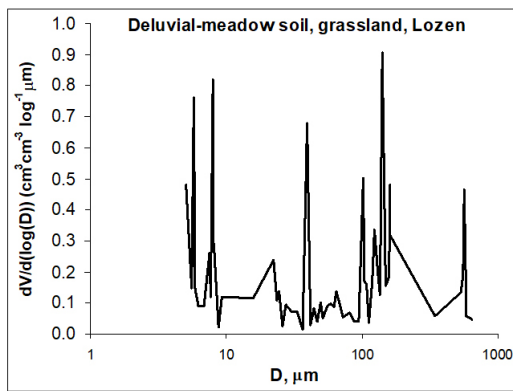
б) Алувиално-ливадна почва (Fluvisol), Цалапица (Tsalapit-sa)



в) Кафява горска почва (Haplic Cambisol), Самоков (Samokov)

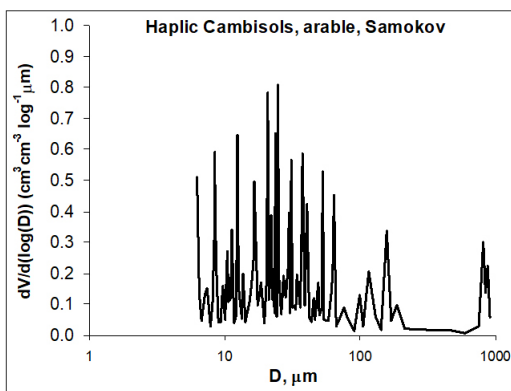
Фиг. 1. Кумулативно разпределение на обема на порите с различен размер (ефективен диаметър на порите) при ненарушено състояние (метод M1) и нарушено състояние (метод M2) на проби от: а) Делувиално-ливадна почва; б) Алувиално-ливадна почва; в) Кафява горска почва

Fig. 1. Cumulative size (equivalent pore diameter) distribution of pore volume in undisturbed soil cores (method M1) and disturbed sample (method M2) of: a) Deluvial-meadow soil; б) Fluvisol; в) Haplic Cambisol

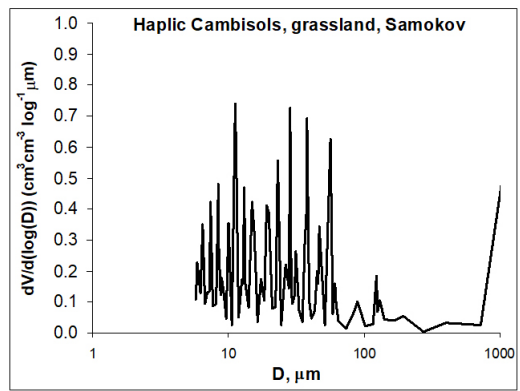


a) Делувиално-ливадна почва (Deluvial meadow soil), Лозен (Lozen)

b) Алувиално-ливадна почва (Fluvisol), Цалапица (Tsalapitsa)

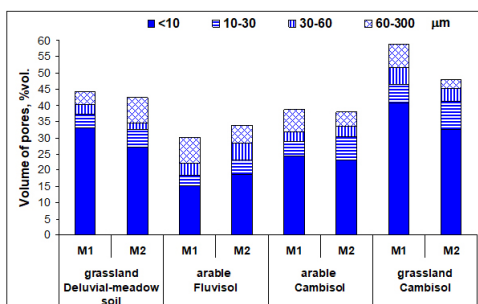


с) Кафява горска почва (Haplic Cambisol), обработваема (arable) Самоков (Samokov)



d) Кафява горска почва (Haplic Cambisol), необработваема (non-cultivated), Самоков (Samokov)

Фиг. 2. Диференциално разпределение на обема на порите с различен размер (D ефективен диаметър на порите) в нарушено състояние (метод M2) на проби от: a) необработваема Делувиално-ливадна почва; b) обработваема Алувиално-ливадна почва; c) обработваема Кафява горска почва; d) необработваема Кафява горска почва
Fig. 2. Differential size (D equivalent pore diameter) distribution of pore volume in disturbed sample (method M2) of: a) non-cultivated Deluvial-meadow soil; b) cultivated Fluvisol; c) cultivated Haplic Cambisol; d) non-cultivated Haplic Cambisol



Фиг. 3. Обем на микро-пори (<10 μm) и основни категории мезо-пори (10-300 μm) в ненарушени (метод M1) и нарушени (метод M2) почвени проби
Fig. 3. Volume of micro-pores (<10 μm) and categories of meso-pores (10-300 μm) in undisturbed soil cores (method M1) and disturbed soil samples (method M2)

за оценка на структурни промени в поровото пространство независимо, че използва почвени проби в нарушено състояние.

Заклучение

Сравнени са два метода за оценка на разпределението на порите в почвата от кривата на водозадържане при използване на проби в ненарушено състояние и нарушено състояние при три почви с различен механичен състав. Възможността за получаване на голям брой данни в диапазона на мезо-порите чрез апарата TDR/MUX/mpts в почвата дава възможности за получаване не само на основните функционални категории пори в този диапазон, но и за представянето им диференциален вид. Независимо, че използва проби в нарушено състояние, методът е показателен за оценка на изменения в структурата на поровото пространство под влияние на обработка на почвата в сравнение с необработваеми почви.

Благодарности авторът изказва благодарност на национална програма „Млади учени и постдокторанти” към МОН за финансовата подкрепа.

Литература

- Dexter, A. R.** (2006). Application of S-theory in tillage research. In: *17th Triennial Conference. Proceedings of ISTRO 17. Christian-Albrechts-University, Kiel, Germany*, p 429–442. CD-ROM. (ISBN 3-9811134-0-3).
- Dilkova, R.** (2014). *Structure, physical properties and aeration of Bulgarian soil*. PSSE. Sofia (Bg).
- Dimitrov, E.** (2014). *Spatial temporal variability of soil physical properties across the scales*. Dissertation, Sofia, Bulgaria (Bg).
- Everett, D. H.** (1972). Manual of Symbol and Terminology for Physico-chemical Quantities and Units, Appendix, Definitions, Terminology and Symbols in Colloid and Surface Chemistry, Part I, *Pure Appl. Chem.*, 31(4), 579.
- Filcheva, E., & Tsadilas, C.** (2002). Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. *Commun. of Soil Sci. and Plant Analysis*, 33(3-4), 595-607.
- Greenland, D. J.** (1981). Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.* 32, 301–322.
- ISO 11272:1998.** *Soil quality - determination of dry bulk density.*

ISO 11274:1998. *Soil quality - Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods.*

ISO 11277: 2009. *Soil Quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation. Second edition.*

ISO 10390: 2011. *Soil Quality. Determination of pH.*

ISO 11508: 1998. *Soil quality. Determination of particle density.*

IUSS Working Group WRB (2015). *World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. Rome, FAO.*

Kercheva, M. (2015). Recent developments in soil structure characterization via water retention curves. *Digital book of proceedings of International conference “Soil and agrotechnology in a changing world”* 11-15 May 2015. p 46-53. http://www.issapp-pushkarov.org/sites/default/files/pictures/confrence_2015.pdf. ISBN: 978-619-90560-0-4

Kercheva, M., Sokolowska, Z., Hajnos, M., Skic, K. & Shishkov, T. (2017). Physical Parameters of Fluvisols on Flooded and Non-Flooded Terraces. *Int. Agrophysics*. 31, 73-82. doi: 10.1515/intag-2016-0026

Kercheva, M., Dimitrov, E., Doneva, K. & Stoimenov, G. (2018). Biochar of grape vine canes: Effect on water properties of Meadow-Cinnamonic soil. *J. Balkan Ecology*, 21(2), 135-140.

Kercheva, M., Dimitrov, E., Doneva, K., Velizarova, E., Glushkova, M. & Shishkov, T. (2019). Soil water retention properties of forest soils under different land use. *Silva Balcanica*, 20(2), 73-85.

Kutilek, M., Jendele, L., & Panayiotopoulos, K. P. (2006). The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils. *Soil & Tillage Research*, 86, 27-37.

Kononova, M. (1963). *Soil organic matter*. AN SSSR, Moskva (Rus).

Luxmoore, R. J. (1981). Micro-, meso- and macroporosity of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 241-285.

Manual FOM/mts and TDR/MUX/mpts and TDR/MUX/mpts/dlog, v1.41. (2013). *Institute of Agrophysics, PAS, Lublin, Poland.*

Paparkova, Ts. (2021). Effect of soil structure deterioration on water retention of Cambisols. In: *Proceedings of 3rd International AGBIOL Conference*, 1-3 Sep 2021, Edirne, Turkey.

Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S. & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: a review. *Geoderma*, 314, 122-137.

Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A. & Yang, X.M. (2009). Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152, 252-263. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009>.

Rousseva, Sv., Kercheva, M., Shishkov, T., Lair, G. J., Nikolaidis, N., Moraetis, D., Krám, P., Bernasconi, St., Blum, W.E.H., Menon, M.& Banwart, St. (2017). *Soil water characteristics of European SoilTrEC Critical Zone Observatories. - Chapter in Advances in Agronomy.* ISSN 0065-2113. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.004>.