

Trópusi talajok zsugorodási és vízgazdálkodási tulajdonságai

DVORACSEK MIKLÓS

Agrártudományi Egyetem, Földműveléstani és Növénytermesztési Intézet, Keszthely

Az INRA havannai talajtani laboratóriumában, a kubai talajok fizikai tulajdonságainak megismerését célzó munka keretében, 17 különböző talajszelvény részletes kémiai és fizikai vizsgálatát végeztük el [2]. E vizsgálatok lehetőséget adtak arra, hogy az egyes talajfizikai jellemzők közötti összefüggéseket megfelelő pontossággal megállapíthassuk. A következőkben a fenti munkából a kubai talajok duzzadására, illetve zsugorodására, egyes vízgazdálkodási tulajdonságaik vizsgálatára, valamint ezeknek egyszerűbben meghatározható talajfizikai jellemzőből való megfelelően megbízható számítására vonatkozó eredményeimet foglalom össze.

A vizsgált talajok és a mért talajjellemzők felsorolása

1. Jelen tanulmányhoz a bevezetőben idézett 17 talajszelvény közül 14 teljes szelvény, valamint 2 további szelvényből egyes rétegek vizsgálati eredményeit dolgoztam fel (1. táblázat). Nem tárgyalom a homok szövetű Norfolk és Herradura szelvényeket, valamint a Maboá szelvényből a kimondottan homokos szövetű rétegeket, mivel ezekben duzzadási és zsugorodási jelenségek nincsenek (a Herradura szelvényből egy réteget azonban a vízgazdálkodási vizsgálatokhoz felhasználtam).

A vizsgált jellemzőket és a vizsgálati eredményeket a 2., 3. és 4. táblázatok tartalmazzák.

— A h_{y_2} -érték a telített NH_4Cl -oldat feletti, 79,5% relatív nedvességtartalmú levegővel egyensúlyban lévő talaj nedvességtartalma. Alkalmazását a bevezetésben ismertetett munka keretében javasoltam, egyrészt mert a kubai éghajlati-időjárási viszonyok között a légszáraz talaj nedvességtartalma Kubában ehhez az értékhez közelálló, másrészt pedig mert a telített NH_4Cl -oldat és a felette lévő légtár relatív páratartalma közötti egyensúlyi állapot a levegő hőmérsékletétől majdnem függetlenül állandó érték [2].

— A $h_{y(\text{agy.})}$ az agyagtartalom h_{y_2} -értéke. Alkalmazását a H_y vonatkozásában KLIMES-SZMIK javasolta a kubai talajok fizikai osztályozásához [5]. Ennek alapján a kaolinitos talajok $h_{y(\text{agy.})}$ -értéke 10-nél kisebb, a montmorillonitos talajoké pedig 10-nél nagyobb.

— A bolygatatlan talajmintákat 10 cm magas, 5 cm átmérőjű fémhengerekbe vettük [4].

— A talaj fajsúlyát a talaj, valamint a mintában lévő konkréciók (perdigón-ok) külön-külön mért fajsúlyából a súly-%-os konkréciótartalom figyelembevételével számítottam.

— A szabadföldi vízkapacitás a vízzel kapillárisan telített, majd 100%-os relatív páratartalmú

térben ugyanabból a rétegből származó légszáraz talajra állított bolygatatlan talajminta 5 napos leszívárgás után mért súly-%-os nedvességtartalma.

— A holtvíztartalmat tenyészedényben, kukorica jelzőnövényvel határoztam meg DOLGOV módszere szerint (cit. in [1]).

2. A duzzadás és zsugorodás egymással ellentétes irányú folyamatok, és a talaj vízfelvétele, illetve vízleadásával állnak kapcsolatban. Mértékük elsősorban a talaj kolloid frakciójának mennyiségétől és minőségétől függ. A jelenség laboratóriumban

1. táblázat

A vizsgált talajok típusa és a minták száma

(1) Genetikai nagy csoport	(2) A talaj neve	(3) A vizsgált	
		bolygatott	bolygatatlan
rétegek száma			
a) Latosol talajok	Nipe	6	3
b) Latosolos talajok	Matanzas-1	7	4
	Matanzas-2	4	3
	Perico	6	4
	Truffin	5	3
	Pinar del Rio	6	3
c) Trópusi sárga talajok	Herradura*	1	1
	Hatuey	8	3
	Santa Clara	5	3
d) Trópusi barna talajok	Santa Clara	5	3
e) Trópusi fekete talajok	Bayamo	5	3
	Francisco	4	3
f) Mésztalajok	Palmarito	4	3
	Habana	5	3
	Jucaro	5	3
g) Humuszos mésztalajok	Herrera	6	3
	Maboa	2	—
	i) Összesen	79	45

* csak a vizsgádzalkodási vizsgálatokhoz felhasználva.

sokkal egyszerűbben és egzaktabban tanulmányozható, ha az előzetesen vízzel beduzzasztott talaj zsugorodását vizsgáljuk, mintha a duzzadás menetét kívánnánk nyomon követni. Munkám során én is az előzetesen beduzzasztott talaj zsugorodását tanulmányoztam az alábbi jellemző paraméterek mérésével:

a) A *lineáris zsugorodást* a bolygatott talajmintákon a kötöttségi számnak megfelelően benedvesített és homogenizált, beduzzadt talajpéppel határoztam meg. A talajpépet olyan speciális fémedénybe kentem, amelynek hossza szélességéhez és mélységéhez viszonyítva aránytalanul nagy volt ($20 \times 1 \times 0,3$ cm). Zsugorodó talajoknál a talaj kiszáradása során a talajpép hossza csökken. Lineáris zsugorodásként a légszáraz állapotig kiszáradt talajminta hosszának csökkenését az eredeti hosszúság %-ában fejeztem ki.

2. táblázat A bolygatott talajminták néhány állandó (anyagi) talajfizikai jellemzője

(1) A talajminta		(2) K _A	(3) Agyag- tart., %	(4) hy ₂	(5) hy _(agy.)	(1) A talajminta		(2) K _A	(3) Agyag- tart., %	(4) hy ₂	(5) hy _(agy.)
száma	mélysége, cm					száma	mélysége, cm				
Nipe											
1	— 9	65	44,9	5,95	12,71	41	70—91	87	57,9	4,84	8,36
2	9—25	69	63,7	6,28	9,77	42	91—119	81	49,9	4,32	8,66
3	25—46	70	70,8	6,35	8,94	43	119—141	83	52,5	4,75	9,05
4	46—92	72	74,1	6,41	8,98	Santa Clara					
5	92—133	89	68,3	5,72	8,37	44	0—10	103	58,4	12,80	20,45
6	133—147	89	65,0	5,67	8,72	45	10—28	96	61,3	12,31	19,26
Matanzas-1.											
7	0—16	67	80,5	5,23	6,30	46	28—51	86	58,5	11,68	19,56
8	16—35	74	91,3	5,00	5,38	47	51—72	68	42,8	7,89	18,43
9	45—60	73	93,0	4,69	5,01	48	72—87	65	41,2	5,79	14,05
Bayamo											
10	65—80	73	94,9	4,74	4,97	49	0—20	110	57,8	10,88	17,22
11	95—110	73	95,3	5,18	5,44	50	20—45	112	61,7	11,49	17,68
12	125—140	73	94,8	5,30	5,59	51	67—88	114	62,3	11,97	18,39
13	160—180	70	93,0	5,41	5,82	52	88—102	99	56,8	11,41	19,81
Matanzas-2.											
14	0—26	69	81,2	5,92	7,06	53	102—140	95	46,9	9,65	20,40
15	26—60	72	87,7	5,62	6,34	Francisco					
16	60—83	72	88,8	5,47	6,11	54	0—3	108	50,1	10,83	19,66
17	83—130	70	93,5	5,38	5,72	55	3—21	112	58,1	10,30	16,43
Perico											
18	0—23	68	77,1	6,30	7,87	56	21—44	128	65,5	12,22	17,63
19	23—72	80	87,3	5,48	6,21	57	44—65	143	76,5	14,85	18,63
20	72—98	81	87,7	5,67	6,43	Palmarito					
21	98—147	82	87,5	6,37	7,25	58	0—19	82	51,9	8,79	16,10
22	147—192	89	87,8	6,30	7,18	59	19—33	71	38,2	5,84	14,86
23	192—240	89	89,0	6,80	7,64	60	33—69	47	28,1	3,58	12,65
Truffin											
24	0—25	70	65,8	6,64	9,50	61	69—110	56	28,4	4,17	14,68
25	25—72	95	80,1	5,35	6,61	Habana					
26	72—93	98	85,7	5,64	6,58	62	0—25	129	66,6	14,29	19,90
27	93—130	73	86,4	5,78	6,69	63	25—35	115	64,0	12,70	18,90
28	130—173	72	78,6	6,13	7,80	64	35—46	88	48,9	7,85	15,64
Pinar del Rio											
29	0—21	39	26,7	1,88	6,55	65	46—88	54	27,7	2,65	9,46
30	21—50	46	28,2	1,90	6,55	66	88—102	52	24,2	2,54	10,50
31	50—80	51	50,4	2,33	4,58	Jucaro					
32	80—107	60	44,0	2,79	6,30	67	2—21	118	75,9	12,65	15,89
33	107—130	74	46,9	2,91	6,20	68	21—38	122	81,4	12,88	15,54
34	130—161	60	45,0	2,63	5,84	69	38—64	127	79,2	12,74	15,98
Herradura											
35	80—117	47	21,2	1,05	4,98	70	64—74	131	74,0	12,30	16,51
Hatuey											
36	0—10	39	28,2	2,34	7,80	71	74—112	132	73,1	12,17	16,65
37	10—17	43	34,0	2,73	7,76	Herrera					
38	17—37	67	44,2	3,49	7,67	72	0—20	123	75,0	12,46	15,77
39	37—53	81	50,2	5,14	10,06	73	20—43	113	81,0	12,87	15,56
40	53—70	86	63,1	5,02	7,89	74	43—74	129	79,5	13,24	16,45
Maboa											
						75	74—137	137	81,8	14,15	17,11
						76	137—165	145	91,6	16,21	17,64
						77	165—170	136	71,2	12,88	18,09
						78	48—59	40	22,8	1,75	7,68
						79	59—94	68	58,1	5,28	9,09

3. táblázat
A bolygatatlan talajminták vizsgálati eredményei

(1) A minta száma	(2) Fs vízben, g · cm ⁻³	(3) Térfogatsúly, g · cm ⁻³		(4) Nedvességtartalom, súly-%			(5) A kolloid rész SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ aránya
				kap. telített	szabad- földi VK	holtvíz	
		nedvesen	szárazon	állapotában			
Nipe							
2	3,53	1,28	1,37	45,7	26,9	21,3	1,05
3	3,66	1,34	1,44	41,6	24,8	17,8	0,91
5	3,80	1,45	1,48	37,4	25,6	17,4	0,49
Matanzas-1.							
8	2,78	1,27	1,47	34,0	26,1	18,6	5,87
10	2,80	1,15	1,24	37,6	25,2	17,9	6,00
12	2,77	1,20	1,27	37,7	25,0	19,0	6,50
13	2,75	1,22	1,30	37,9	26,5	19,5	6,81
Matanzas-2.							
14	2,91	1,19	1,40	42,0	29,8	20,6	3,37
15	2,97	1,20	1,35	40,4	27,5	20,0	2,93
17	3,01	1,20	1,29	41,9	26,8	19,3	2,41
Perico							
18	2,69	1,03	1,18	42,3	27,8	21,4	6,37
19	2,76	1,22	1,34	39,5	28,2	19,5	7,01
21	2,87	1,37	1,49	36,1	26,9	21,6	7,44
23	2,83	1,40	1,55	34,1	25,3	22,4	8,10
Truffin							
24	2,71	1,11	1,30	46,7	30,9	22,3	8,88
25	2,80	1,35	1,49	35,3	26,5	19,3	7,86
27	2,82	1,37	1,48	34,1	25,5	20,2	8,75
Pinar del Rio							
29	2,78	1,51	1,58	22,8	13,9	8,6	6,74
30	3,11	1,64	1,66	18,2	10,9	4,9	6,27
33	2,87	1,57	1,63	22,5	14,5	11,5	5,52
Herradura							
35	2,78	1,62	1,62	20,0	14,0	3,6	13,13
Hatuey							
36–37	2,70	1,48	1,52	27,2	15,7	7,7	10,54
40	3,01	1,75	1,80	18,1	11,6	9,4	8,02
43	2,98	1,73	1,80	22,1	16,2	10,6	7,59
Santa Clara							
45	2,53	1,08	1,60	48,5	39,8	26,5	12,45
46	2,57	1,12	1,71	49,1	42,0	25,0	11,53
47	2,62	1,23	1,41	57,7	29,5	17,9	17,86

3. táblázat folytatása

(1) A minta száma	(2) Fs vízben, g · cm ⁻³	(3) Térfogatsúly, g · cm ⁻³		(4) Nedvességtartalom, súly-%			(5) A kolloid rész SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ aránya
				kap. telített	szabad- földi VK	holtvíz	
		nedvesen	szárazon	állapotában			
Bayamo							
49—50	2,51	1,20	1,72	42,9	38,2	24,1	12,50
51	2,56	1,21	1,85	45,1	39,3	25,8	11,53
53	2,64	1,44	1,89	33,3	29,1	21,2	11,58
Francisco							
55	2,58	1,06	1,39	48,4	38,7	18,9	12,78
56	2,59	1,14	1,45	43,8	34,5	20,8	14,75
57	2,58	0,92	1,54	66,6	56,4	30,3	12,40
Palmarito							
58	2,60	1,25	1,78	37,9	31,7	19,8	11,38
59	2,64	1,51	1,76	27,6	21,9	13,7	12,79
60	2,70	1,71	1,84	20,9	15,0	9,5	11,77
Habana							
62	2,49	0,95	1,64	58,9	49,5	30,1	13,90
64	2,62	1,22	1,56	39,7	32,7	17,7	16,86
65	2,64	1,36	1,42	31,5	22,1	7,8	15,94
Jucaro							
67	2,59	1,13	1,76	51,9	44,7	26,6	12,01
68	2,63	1,06	1,68	54,4	47,7	26,9	11,71
69	2,70	1,11	1,72	52,4	44,8	26,8	13,54
Herrera							
72	2,58	1,07	1,56	49,2	40,5	26,6	13,08
73	2,64	1,13	1,70	48,3	42,0	27,7	11,66
74	2,67	1,16	1,84	49,5	43,1	27,8	14,03

A kolloid rész kémiai vizsgálatát Dr. Maul Ferenc végezte

b) A *térfogat* (köbös) *zsugorodás* a bolygatatlan szerkezetű mintákon mértem az alábbi képlet szerint:

$$\text{térfogat} \text{ zsugorodás } \% \text{-ban} = \left(1 - \frac{T_s \text{ nedvesen}}{T_s \text{ szárazon}} \right) \times 100$$

c) A természetben a talaj térfogat zsugorodását csak két dimenzióban, a két horizontális irányban érzékeljük. A függőleges irányú térfogatcsökkenés a talaj felszínének süllyedését eredményezi, ezt pedig — mivel mindig a mindenkor talajfelszínén járunk — nem érzékeljük. Mivel a zsugorodás gyakorlatilag a talaj repedezésében nyilvánul meg, indokoltnak láttam a *potenciális repedezőképesség* fogalmának bevezetését és számítását. A potenciális repedezőképesség a kiszáradt talaj felületének a repedések által elfoglalt %-át, vagyis a kétdimenziós

4. táblázat A különböző zsugorodási értékek és a zsugorodási határ

(1) A minta száma	(2) Line- áris	(3) Térfo- gatos	(4) Pot. repedező képesség, %	(5) Zsugoro- dási határ (nedv. súly-%)	(1) A minta száma	(2) Line- áris	(3) Térfo- gatos	(4) Pot. repedező képesség, %	(5) Zsugoro- dási határ (nedv. súly-%)
Nipe									
1	6,5	—	—	—	42	12,0	—	—	—
2	8,5	6,6	3,5	40,9	43	12,5	3,9	3,8	19,9
3	8,0	6,9	4,5	36,8	Santa Clara				
4	7,0	—	—	—	44	21,3	—	—	—
5	5,5	2,0	0,4	36,3	45	20,5	32,5	20,9	19,9
6	5,0	—	—	—	46	18,5	34,5	23,2	18,8
Matanzas-1.									
7	7,0	—	—	—	47	15,3	12,8	8,9	28,0
8	8,5	13,6	8,2	24,5	48	11,8	—	—	—
9	8,0	—	—	—	Bayamo				
10	9,5	7,3	3,8	32,3	49	22,0	—	—	—
11	8,0	—	—	—	49-50	(22,0)	30,2	18,8	17,9
12	8,5	5,5	4,1	33,6	50	22,0	—	—	—
13	8,5	6,2	3,4	33,3	51	22,0	34,6	24,9	15,0
Matanzas-2.									
14	6,5	15,0	8,9	30,6	52	20,0	—	—	—
15	7,0	11,1	6,0	32,1	53	18,2	23,8	15,0	15,0
16	7,0	—	—	—	Francisco				
17	7,0	7,0	5,6	36,7	54	20,0	—	—	—
Perico									
18	6,0	12,7	8,6	32,2	55	21,0	23,7	16,0	27,7
19	10,5	9,0	6,0	32,7	56	21,0	21,4	14,3	26,1
20	11,0	—	—	—	57	21,5	40,3	26,0	25,5
21	10,0	8,1	5,3	30,4	Palmarito				
22	7,5	—	—	—	58	20,5	29,8	19,5	15,2
23	7,5	9,7	6,4	27,4	59	17,5	14,2	9,3	18,4
Truffin									
24	10,0	14,6	8,2	34,5	60	11,0	7,1	3,4	16,8
25	9,0	8,8	5,6	28,7	61	13,0	—	—	—
26	11,0	—	—	—	Habana				
27	7,5	7,4	4,5	28,9	62	27,5	42,1	29,8	18,5
28	10,5	—	—	—	63	26,0	—	—	—
Pinar del Rio									
29	1,0	4,4	3,0	20,2	64	22,0	21,8	15,0	22,8
30	1,5	1,2	0,2	17,5	65	4,0	4,2	3,0	28,5
31	2,5	—	—	—	66	3,5	—	—	—
32	5,5	—	—	—	Jucaro				
33	6,5	3,7	2,2	20,4	67	25,0	35,8	21,5	18,2
34	7,5	—	—	—	68	24,0	36,9	27,8	20,3
Hatuey									
36	4,5	—	—	—	69	23,0	35,5	25,5	20,7
36-37	(4,3)	2,6	0,4	25,5	70	23,0	—	—	—
37	4,0	—	—	—	71	21,5	—	—	—
38	9,0	—	—	—	Herrera				
39	11,0	—	—	—	72	21,5	31,4	21,2	21,5
40	12,0	2,8	1,2	16,8	73	22,5	33,5	23,9	19,4
41	13,0	—	—	—	74	23,0	37,0	22,2	16,9
Maboa									
					75	23,0	—	—	—
					76	23,5	—	—	—
					77	25,0	—	—	—
					78	1,2	—	—	—
					79	11,5	—	—	—

horizontális zsugorodást jelenti. Számítása a bolygatatlan talajminta felületének %-ban kifejezett zsugorodásából történik az alábbi képlet szerint:

$$\text{potenciális repedezőképesség \% -ban} = \left(1 - \frac{\text{légszár az talajminta felülete}}{\text{beduzzadt, vízzel telített talajminta felülete}} \right) \times 100$$

A zsugorodásra vonatkozó fenti három jellemzőre kapott vizsgálati eredményeket a 4. táblázat tartalmazza.

3. A vízzel telített, beduzzadt talaj a száradás első szakaszában a vízvesztésének megfelelő térfogatban zsugorodik, majd elérve egy minimális térfogatot — ez a bezsugorodott talaj térfogata — a további száradás során a vízvesztés már csak a talajpórusok levegőtartalmát növeli. Azt a súly-%-ban kifejezett nedvességtartalmat, melynél a további zsugorodás megszűnik, a talaj *zsugorodási határának* nevezzük [3].

E talajfizikai jellemzőt az eredeti szerkezetű minták differenciált porozítása és zsugorodási adatai alapján számoltam. A zsugorodási határ kiszámításának elvi alapja az alábbi:

a) Ha a kapillárisan telített, beduzzadt talajban nincsenek gravitációs pórusok, a talajminta térfogatszázalékos nedvességtartalma azonos az összporozítással. A minta száradásakor, a zsugorodás befejeződésének állapotában a pórustér még ugyancsak teljesen telítve van vízzel. Ezért az ilyen minta zsugorodási határának megfelelő súly-%-os nedvességtartalom a bezsugorodott talaj összporozításának és térfogatsúlyának hányadosa:

$$\text{a zsugorodási határnak megfelelő súly-\% -os nedvességtartalom} = \frac{\text{a száraz talaj összporozítása}}{\text{a száraz talaj térfogatsúlya}}$$

b) Amennyiben a beduzzadt talajban levegőt tartalmazó gravitációs pórusok is voltak, a bezsugorodott, száraz talaj összporozításából ezek %-os mennyiségét le kell vonni.

Pl. ha a beduzzadt talajban a gravitációs pórustér a talajminta beduzzadt állapotban mért térfogatának %-ában 2,5%, a számítás az alábbi:

$$\text{a zsugorodási határnak megfelelő súly-\% -os nedvességtartalom} = \frac{\text{a száraz talaj összporozítása} - 2,5}{\text{a száraz talaj térfogatsúlya}}$$

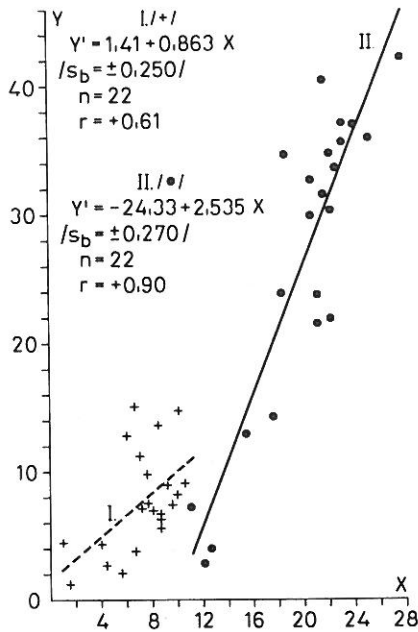
A zsugorodási határ számított értékeit a 4. táblázat utolsó oszlopa mutatja.

A talajfizikai jellemzők közötti összefüggések vizsgálata

A mért talajjellemzők feldolgozásával — az egyes talajtípusok tulajdonságainak megismerésén kívül — az volt a célom, hogy megállapítsam, egyrészt milyen összefüggések vannak a zsugorodást kifejező különböző paraméterek között, másrészt, hogy egy olyan, egyszerűbben meghatározható talajfizikai jellemzőt keressek, amelyből megfelelő megbízhatósággal lehet megkapni e bonyolultabban mérhető jellemzőket, valamint a talaj vízgazdálkodási paramétereit.

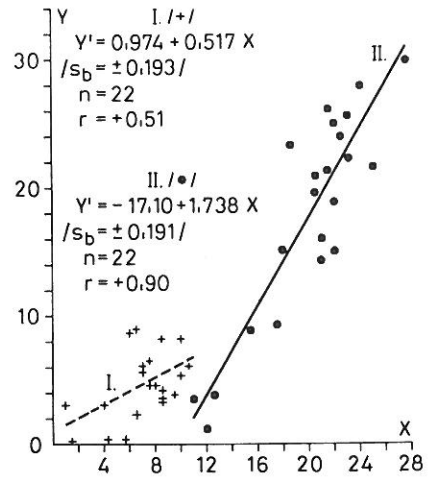
1. A különböző, zsugorodást jelző paraméterek közötti összefüggések

a) A lineáris és térfogatos zsugorodás közötti kapcsolat. — A két paraméter kapcsolatát mutató 1. ábrából kitűnik, hogy minden talajra egyaránt érvényes összefüggés nincsen. A rendelkezésemre álló 44 adatpár két csoportra bontásával lehetett csak érvényes összefüggést megállapítani. Az egyik csoportot a latosol és latosolos (továbbiakban vörös), valamint az összes többi típusból a 10%-nál kisebb



1. ábra

A lineáris (X) és a térfogatos zsugorodás (Y) kapcsolata. I. A vörös és a 10%-nál kisebb lineáris zsugorodású talajok. II. Az összes többi talaj



2. ábra

A lineáris zsugorodás (X) és a potenciális repedezőképesség (Y) közötti összefüggés. I. és II.: lásd 1. ábra

lineáris zsugorodású talajok képezik, a másik csoportba pedig az összes többi talaj sorolható. Az utóbbi csoportba tartozó 22 talajminta esetében szoros lineáris összefüggést találtam (1. ábra, II.).

A determinációs együttható %-os értéke szerint a térfogatos zsugorodást ebben a csoportban 81,6%-ban a lineáris zsugorodás determinálja. 1%-os lineáris zsugorodásnövekedés durván 2,5% térfogatos zsugorodásnövekedést eredményez (6. táblázat).

A vörös és a 10%-nál kisebb lineáris zsugorodású talajok esetében lazább a kapcsolat (1. ábra, I.), és a százalékos determinációs együttható szerint a lineáris zsugorodás csak 37%-ban felelős a térfogatos zsugorodás alakulásáért (6. táblázat).

5. táblázat
A talajminták hy_2^2 -értékei

(1) A minta száma	hy_2^2	(1) A minta száma	hy_2^2	(1) A minta száma	hy_2^2	(1) A minta száma	hy_2^2
Nipe		22	39,7	41	23,4	60	12,8
1	35,4	23	46,2	42	18,7	61	17,4
2	39,4	Truffin		43	22,6	Habana	
3	40,3	24	44,1	Santa Clara		62	204,2
4	41,1	25	28,6	44	163,8	63	161,3
5	32,7	26	31,8	45	151,5	64	61,6
6	32,1	27	33,4	46	136,4	65	7,0
Matanzas-1.		28	37,6	47	62,3	66	6,5
7	27,4	Pinar del Rio		48	33,5	Jucaro	
8	25,0	29	3,5	Bayamo		67	160,0
9	22,0	30	3,6	49	118,4	68	165,9
10	22,5	31	5,4	49-50	125,2	69	162,3
11	26,8	32	7,8	50	132,0	70	151,3
12	28,1	33	8,5	51	143,3	71	148,1
13	29,3	34	6,9	52	130,2	Herrera	
Matanzas-2.		Herradura		53	93,1	72	155,3
14	35,0	35	1,1	Francisco		73	165,6
15	31,6	Hatuey		54	117,3	74	175,3
16	29,9	36	5,5	55	106,1	75	200,2
17	28,9	36-37	6,4	56	149,3	76	262,8
Perico		37	7,5	57	220,5	77	165,9
18	39,7	38	12,2	Palmarito		Maboa	
19	30,0	39	26,4	58	77,3	78	3,1
20	32,1	40	25,2	59	34,1	79	27,9
21	40,6						

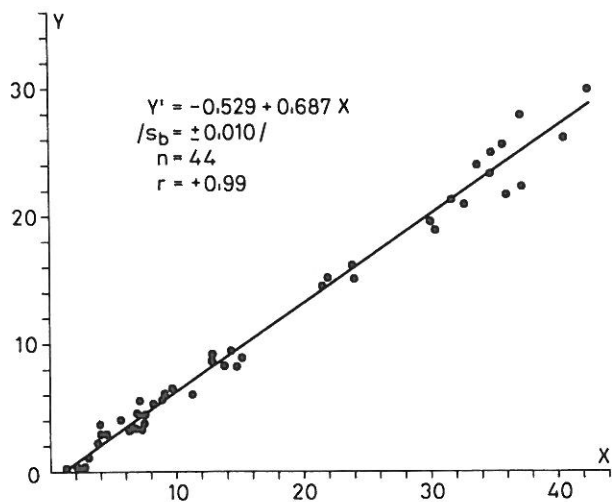
b) A lineáris zsugorodás és a potenciális repedezőképesség összefüggése. — A kapcsolat jellege hasonló az előző pontban tárgyaltával (2. ábra). A vörös és a 10%-nál kisebb lineáris zsugorodású talajok esetében az összefüggés nagyon gyenge ($r = +0,51$). Mivel azonban ez a gyenge összefüggés $P = 5\%$ -os szinten szignifikáns, indokolt volt a kapcsolat számszerűségének kiszámítása (2. ábra, I.).

Hangsúlyozni kell azonban, hogy a determinációs együttható szerint a lineáris zsugorodás csak 26,4%-ban felelős a repedezőképesség nagyságáért (6. táblázat).

A többi talajoknál itt is szoros lineáris kapcsolat van a két paraméter között (2. ábra, II.). A determinációs együttható 80,6%.

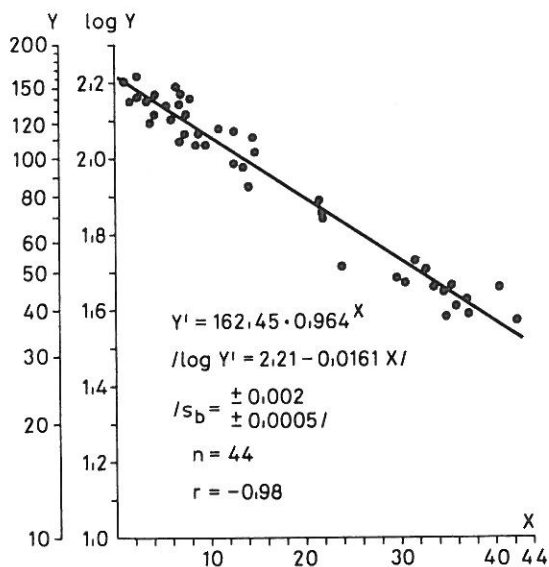
c) A térfogatos zsugorodás és a potenciális repedezőképesség közötti összefüggés. — A mind a 44 rendelkezésemre álló adatpárból számított kapcsolat lineáris (3. ábra).

A potenciális repedezőképesség a determinációs együttható szerint 98,5%-ban a talaj térfogatos zsugorodásától függ (6. táblázat). Mivel az 1,5%-nyi egyéb felelős tényezőt nyugodtan tekinthetjük mérési pontatlanságnak, egyértelműen megállapítható, hogy a talajok zsugorodásában nincsen anizotrópia, a duzzadás és a zsugorodás a tér minden irányában azonos mértékben történik.



3. ábra

A térfogatos zsugorodás (X) és a potenciális repedezőképesség (Y) kapcsolata



4. ábra

A térfogatos zsugorodás (X) és a vízkapacitás %-ában kifejezett zsugorodási határ (Y) kapcsolata

6. táblázat
A számított függvénykapcsolatok összefoglaló táblázata

(1) Független változó (X)	(2) Függő változó Y	(3) A kapcsolat érvényessége	(4) A kapcsolat típusa	(5) n	(6) Az egyenlet	(7) $\pm s_b$	(8) r	(9) A determinációs együttható %-os értéke	(10) P %
a) Lineáris zsgorodás	b) térfogatos zsgorodás	g) vörös és lín. zsg. < 10% talajok h) az összes többi talaj	l) lineáris	22	$Y' = 1,41 + 0,863 X$	0,250	+0,61	37,0	1
a) Lineáris zsgorodás	c) potenciális repedezőképeség	g) vörös és lín. zsg. < 10% talajok h) az összes többi talaj	l) lineáris	22	$Y' = -24,33 + 2,535 X$	0,270	+0,90	81,6	0,1
b) Térfogatos zsgorodás	c) potenciális repedezőképeség	i) minden talaj	l) lineáris	44	$Y' = -0,974 + 0,517 X$	0,193	+0,51	26,4	5
b) Térfogatos zsgorodás	d) zsgorodási határ a VK %-ában	i) minden talaj	l) lineáris	22	$Y' = -17,10 + 1,738 X$	0,191	+0,90	80,6	0,1
hy ²	a) lineáris zsgorodás	i) minden talaj	m) exponen- ciális	44	$Y' = -0,529 + 0,687 X$	0,010	+0,99	98,5	0,1
hy ²	b) térfogatos zsgorodás	j) vörös talajok kivéte- lével minden talaj	n) logarit- mikus	50	$Y' = 162,45 \cdot 0,964^x$	0,002	-0,98	95,8	0,1
hy ²	c) potenciális repedezőképeség	hy ² < 20 hy ² > 20	n) logarit- mikus	6 38	— $Y' = -52,9 + 39,36 \log X$	— 1,92	+0,69 +0,96	— 92,1	p) nem szign. 0,1
hy ²	e) VK súly-%-ban	hy ² < 20 hy ² > 20	n) logarit- mikus	6 38	— $Y' = -31,7 + 24,70 \log X$	— 1,47	+0,44 +0,94	— 88,7	p) nem szign. 0,1
hy ²	Hy HV súly-%-ban	k) vörös és tróp-sárga talaj (SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ < 10) h) összes többi talaj (SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ > 10)	l) lineáris	24	$Y' = 12,62 + 0,386 X$	0,057	+0,82	67,8	0,1
hy ²	Hy HV súly-%-ban	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ < 10 SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ > 10	o) hatvány- függvény	21 19 26	$Y' = 18,13 + 0,157 X$ $Y' = 5,45 X^{0,368}$ $Y' = 3,24 X^{0,410}$	0,012 0,022 0,012	+0,95 +0,97 +0,99	89,9 94,2 97,8	0,1 0,1 0,1

2. A zsugorodási határral végzett számítások

A zsugorodási határt jelentő nedvességtartalmat a szabadföldi vízkapacitás %-ában fejeztem ki, és ennek az értéknek mint függő változónak a kapcsolatát kerestem a térfogatos zsugorodással. A számítást 44 adatpár alapján végeztem el. Amint a 4. ábrából látható, a két talajjellemző között határozott összefüggés van. A kapcsolat exponenciális, vagyis a térfogatos zsugorodással a vízkapacitás %-ában kifejezett zsugorodási határ logaritmusosa van fordítottan lineáris kapcsolatban.

Az összefüggés szerint tehát minél nagyobb a talaj térfogatos zsugorodása, zsugorodási határa a szabadföldi vízkapacitáshoz viszonyítva csökken.

3. A zsugorodási értékek számolása más talajfizikai paraméterből

A talaj duzzadása és/vagy zsugorodása elsősorban, és a legfőbb mértékben nyilvánvalóan a talaj kolloid részeinek mennyiségétől és minőségétől függő jelenség. Ha tehát egy olyan talajfizikai jellemzőt keresünk, amelyből a talaj zsugorodási tulajdonságai kiszámíthatók, csak olyan paraméter kerülhet szóba, amely tükrözi a kolloid rész mennyiségét és minőségét is.

Az agyagtartalom egyértelműen mennyiségi jellemző, ez tehát nem lehet alkalmas a kívánt célra. A kötöttségi szám, valamint a higroszkóposág olyan paraméterek, amelyek többé-kevésbé a kolloid frakció mennyiségétől és minőségétől is függenek, de értékük e két jellemző eredőjét mutatja, tehát ismét csak nem valószínű, hogy önmagukban alkalmasak arra, hogy köztük és a talaj zsugorodási jelenségei között megfelelően szoros kapcsolatot lehessen találni. Végül a KLIMES-SZMIK által javasolt $h_{y(\text{agy.})}$ kizárólagosan a kolloid részek minőségét kifejező érték, önmagában tehát ugyancsak nem lehet megfelelő mennyiségi és minőségi értékektől is függő kapcsolat vizsgálatára. (A továbbiakban tárgyalt összefüggéseket a kötöttségi számmal mint független változóval is kiszámítottam, de — a várakozásnak megfelelően — az ismertetetteknel lazább függvénykapcsolatokat találtam.)

A megoldás csak két paraméter kombinálásával lehetséges. Ezek közül az egyiknek kizárólagosan minőségi, a másiknak kizárólagosan mennyiségi jellemzőnek kell lennie. E két paraméternek a $h_{y(\text{agy.})}$ -ot és az agyagtartalmat választottam. (Meg kell jegyezni, hogy az agyagtartalom kifejezés nem egészen szabatos, mert mennyiségébe a talaj szerves anyagainak kolloid méretű részei is beleszámítanak. Helyesebb lenne tehát „a talaj kolloid részeinek mennyisége” kifejezés használata. Az egyszerűség kedvéért azonban az agyagtartalom megnevezést alkalmazom. Annál is inkább megengedhetőnek tartom ezt az egyszerűsítést, mivel csak ásványi talajokat vizsgáltam, amelyek szervesanyag-tartalma nem volt túl sok. (Természetesen ezek a megállapítások ugyanúgy vonatkoznak a $h_{y(\text{agy.})}$ -ra is.)

A $h_{y(\text{agy.})}$ a talajkolloidok minőségét, közelebbről fajlagos felületüket, illetve ezzel arányos vízmegkötő képességüket fejezi ki. Nyilvánvaló, hogy minél nagyobb a talajban lévő kolloidok vízmegkötő képessége, annál hajlamosabb a talaj a duzzadásra, illetve zsugorodásra. Mivel azonban a duzzadó- és/vagy zsugorodóképesség a kolloidok vízmegkötő képességének növekedésével nem arányosan, hanem annál sokkal nagyobb mértékben növekszik, a kialakítandó kombinált jellemzőhöz nem a $h_{y(\text{agy.})}$ -gal, hanem annak négyzetével számoltam.

A képzendő paraméterbe a kolloidok minőségén kívül azok mennyiségét is figyelembe kell venni. Emiatt — tekintettel arra, hogy a kolloidok növekvő mennyiségének befolyása a duzzadó- és/vagy zsugorodóképességre ugyancsak nagyobb mértékű, mint a számszerű növekedés értéke — az egységnyi talajban lévő agyag mennyiségének négyzetével számoltam. Végül a kombinált talajfizikai jellemző számításához a fenti két négyzetet összeszoroztam. A képzett jellemző tehát:

$$\text{kombinált talajfizikai jellemző} = hy_{(\text{agy.})}^2 \cdot \left(\frac{A\%}{100}\right)^2,$$

mivel azonban

$$hy_{(\text{agy.})} = \frac{100 \cdot hy_2}{A\%},$$

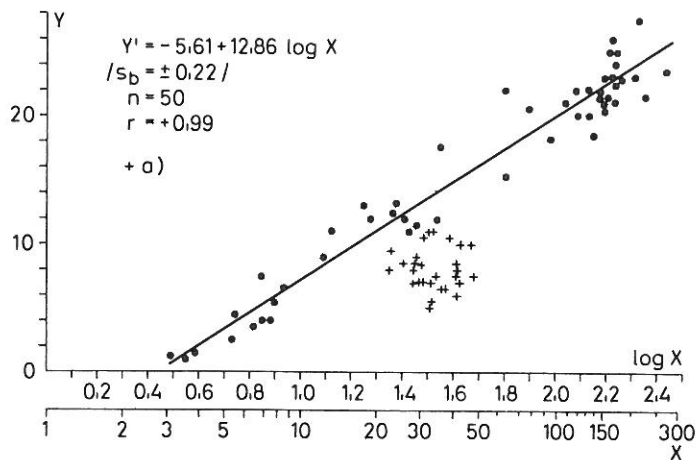
a kombinált talajfizikai jellemző:

$$\left(\frac{100 \cdot hy_2}{A\%} \cdot \frac{A\%}{100}\right)^2 = hy_2^2.$$

Vagyis a higroszkóposág négyzete egy olyan talajfizikai jellemzőnek tekinthető, amelynek értékében a talaj kolloid részeinek mind minőségi, mind mennyiségi viszonyai kifejezésre jutnak. A hy_2^2 -értékeket az 5. táblázatban foglaltam össze.

a) A hy_2^2 és a lineáris zsugorodás közötti kapcsolat. — A két tényező között a vörös talajok kivételével talált kapcsolatot logaritmikus függvény fejezi ki, vagyis a hy_2^2 szorzatos növekedésével a lineáris zsugorodás additív növekedése van lineáris függvénykapcsolatban (5. ábra).

Amint az ábrán látható, a vörös talajok ($n = 28$) a fenti összefüggéstől eltérően viselkednek. Mivel mind hy_2^2 -értékük, mind lineáris zsugorodásuk egymáshoz nagyon



5. ábra

A hy_2^2 (X) és a lineáris zsugorodás (Y) közötti összefüggés. a) az egyenletben nem szereplő vörös talajok adatai

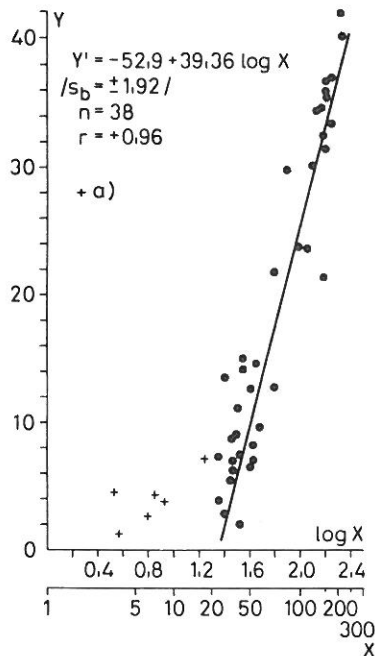
közeliálló határértékek között variál, függvénykapcsolat kereséséhez az adatok nem alkalmasak.

b) A hy_2^2 és a térfogatos zsugorodás összefüggése. — A két talajjellemző közötti kapcsolatot a 6. ábra mutatja, amelyen világosan látható, hogy azok a talajok, amelyek hy_2^2 -értéke 20-nál kisebb (6 db minta), a többi 38 adatpártól eltérő „kapcsolatot” mutatnak. Kiszámítva azonban a köztük levő regressziós kapcsolatot, az még $P = 10\%$ -os szinten sem mutat szignifikanciát. Az ily kis hy_2^2 -értékű talajok térfogatos zsugorodását egyéb tényezők (pl. szerkezet) nagyon erősen befolyásolják. A 20-nál nagyobb hy_2^2 -értékű talajoknál a hy_2^2 és a térfogatos zsugorodás között szoros logaritmikus függvénykapcsolat van.

c) A hy_2^2 és a potenciális repedezőképesség összefüggése. — Szoros, logaritmikus függvénykapcsolat van a két paraméter között a $hy_2^2 > 20$ értékű talajokban (7. ábra).

A 20-nál kisebb hy_2^2 -értékű talajokban összefüggés nem mutatható ki.

4. A talaj vízgazdálkodási jellemzőinek számítása a hy_2^2 -ből



6. ábra

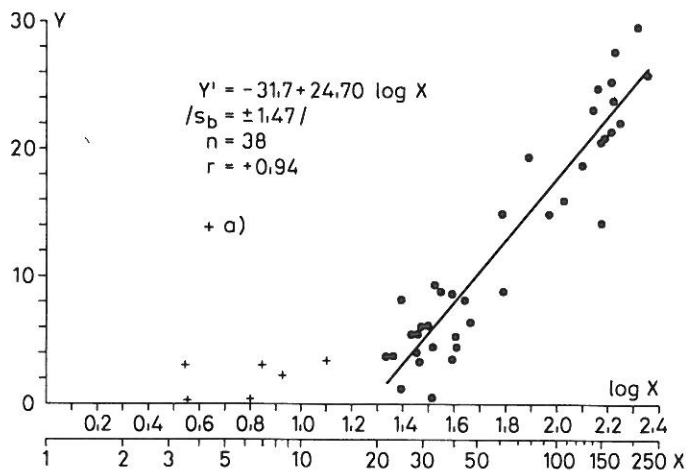
A hy_2^2 (X) és a térfogatos zsugorodás (Y) közötti kapcsolat. a) az egyenletben nem szereplő, 20-nál kisebb hy_2^2 -értékű talajok adatai; $r = +0,69$

Mivel mind a szabadföldi vízkapacitás, mind a holtvíztartalom meghatározása csak bonyolult és időigényes vizsgálattal lehetséges, indokoltnak tartottam vizsgálni e jellemzők hy_2^2 -ből történő számításának lehetőségét. A számításokból az 1-nél kisebb hy_2^2 -értékű talajokat kihagytam, ezek kolloidtartalma ugyanis olyan kevés, hogy a vízgazdálkodási jellemzők kialakításában nem lehet domináló szerepe.

a) A szabadföldi vízkapacitás számítása a hy_2^2 -értékből. — A feldolgozott 44 adatpár ábrázolásából (8. ábra) kitűnt, hogy nem lehet minden talajra egyaránt érvényes függvénykapcsolatot számolni. A talajok két csoportra osztásával azonban két, egymástól lényegesen eltérő, szoros összefüggés volt megállapítható. Az egyik csoportot a vörös és a trópusi sárga talajok, a másikat pedig az összes többi talajtípus mintái alkotják. A kapcsolat mindkét csoport esetében lineáris.

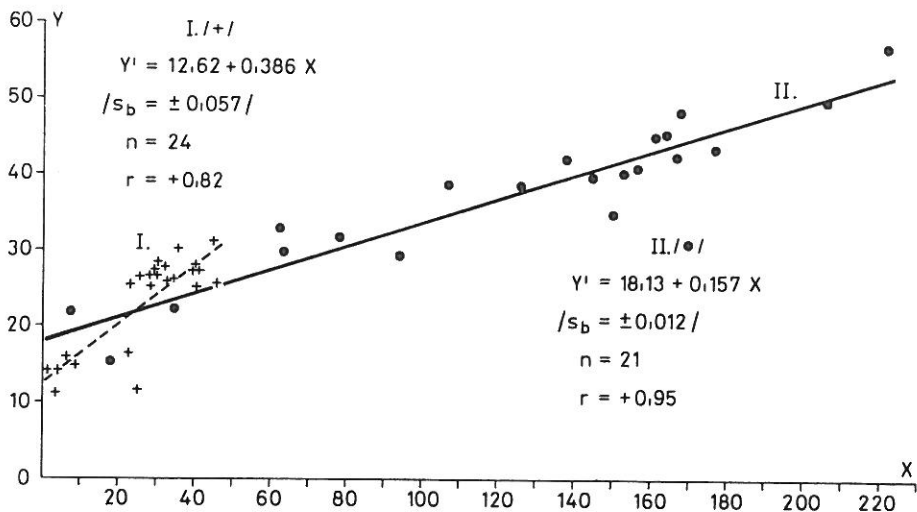
Az I. csoport vörös és trópusi sárga talajainak agyagfrakciója kaolinitos, a többi talajé montmorillonitos típusú. Ezen a minőségi különbségen kívül a két csoport agyagfrakciójának molekuláris SiO_2/Fe_2O_3 aránya is különböző. Ez az arány a vörös talajok esetében egyértelműen szűkebb 10-nél (a latosol talajokat reprezentáló Nipe

esetében pedig a legtöbb rétegben még 1-nél is kisebb), a másik csoportban pedig — ugyancsak egyértelműen — 10-nél tágabb. A trópusi sárga talajok esetében azonban nem teljesen egyértelmű a $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arány alakulása. A Pinar del Rio szelvényben az arány minden rétegben szűkebb 10-nél, az Hatuey szelvényben egyes rétegekben szűkebb, egyesekben tágabb. Végül az Herradura szelvényben minden rétegben 10-nél tágabb $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arányt találtam (e szelvényből, annak erősen homokos szövete



7. ábra

A hy_2^2 (X) és a potenciális repedezőképesség (Y) kapcsolata. a) lásd 6. ábra. $r = +0.44$

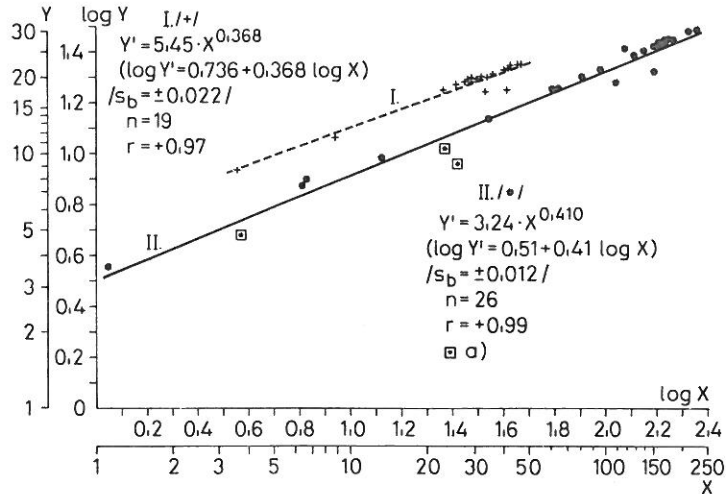


8. ábra

A hy_2^2 (X) és a súlyszázalékos vízkapacitás (Y) közötti összefüggés. I. Vörös és trópusi sárga talajok; $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10$. II. Az összes többi talaj; $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10$

miatt — hy_2^2 -értékük 1-nél kisebb — csak egy réteget vontam be az összefüggés-vizsgálatokba). Mivel az e genetikai nagy csoportban is inkább a 10-nél szűkebb SiO_2/Fe_2O_3 arány az uralkodó (az ide tartozó 7 minta közül 2 mintában van csak 10-nél tágabb arány), és a hy_2^2 — vízkapacitás kapcsolat tekintetében az adatok a vörös talajokéhoz állnak közelebb, a trópusi sárga talajokat ebbe a csoportba soroltam be.

b) A holtvíztartalom számítása. — Amint a 9. ábrából látható, a hy_2^2 és a holtvíztartalom között is szoros kapcsolat van. Azonban az előzőekben ismertetett



9. ábra

A hy_2^2 (X) és a holtvíztartalom (Y) kapcsolata. I. Vörös és részben a trópusi sárga talajok; $SiO_2/Fe_2O_3 < 10$. II. Néhány trópusi sárga talaj és az összes többi talajtípus; $SiO_2/Fe_2O_3 > 10$. a) szabálytalan viselkedésű trópusi sárga talajok

vízkapacitással való kapcsolathoz hasonlóan, a vizsgált talajokat ebben az esetben is két csoportba kellett besorolni. A besorolás fő kritériuma itt is az agyagfrakció molekuláris SiO_2/Fe_2O_3 aránya. Csupán a trópusi sárga talajok viselkedésében található ebben az esetben is némi rendellenesség. A 7 talajmintából 4 minta az SiO_2/Fe_2O_3 aránynak megfelelően, 3 minta azonban rendellenesen viselkedik. Bár SiO_2/Fe_2O_3 arányuk 10-nél szűkebb, holtvíztartalmuk alapján azonban egyértelműen a II. csoportba tartozóknak kell tekinteni őket. Végeredményként meg kell tehát állapítani, hogy a trópusi sárga talajok viselkedése bizonytalan.

A hy_2^2 és a holtvíztartalom között a regressziós kapcsolat hatványfüggvénnyel fejezhető ki, vagyis a két talajfizikai jellemző logaritmusai között van lineáris összefüggés (9. ábra).

A két egyenlet regressziós együtthatója (b) között nincs szignifikáns különbség, így a két egyenes egymással párhuzamosnak tekinthető, és amint látható, azonos hy_2^2 -érték mellett az I. csoportba tartozó — tehát elsősorban a vörös — talajok holtvíztartalma nagyobb a többi talajénál.

Az eredmények értékelése

A munka során megállapított összefüggéseket a megfelelő helyeken ismerttettem, a könnyebb áttekinthetőség kedvéért azonban a 6. táblázatban összefoglalva is közlöm az összes számított függvénykapcsolatot, azok típusát és minden matematikai-statisztikai jellemzőjét.

1. A vizsgált kubai talajok genetikai szempontból nagyon különbözőek, így kiválóan alkalmasak voltak egyrészt a talajfizikai jellemzőikben kimutatható szélsőségeknek, másrészt az egyes talajfizikai jellemzők közötti általános összefüggések törvényszerűségeinek vizsgálatára, illetve bemutatására.

Kubában megtalálhatók a jelen tanulmányban részletesen nem tárgyalt homokoktól (Norfolk, Herradura) a rendkívül nagy, 80—90% kolloid frakciót tartalmazó talajokig (Matanzas, Herrera) a legkülönbözőbb mechanikai összetételű talajok. Az alapvizsgálati eredményekből látható az is, hogy e talajtípusok kolloid frakciójának a minősége is nagyon különböző. Erre utalnak a nagyon eltérő $h_{y(agy.)}$ -értékek, valamint a kolloid frakció kémiai elemzése során megállapított különböző molekuláris SiO_2/Fe_2O_3 arányok.

Mindezek alapján teljesen érthető, hogy a jelen tanulmány szorosabb tárgyát képező duzzadási-zsugorodási és vízgazdálkodási tulajdonságok tekintetében is nagyon szélsőséges talajfizikai jellemzőket figyelhetünk meg. Itt elegendő a Jucaro szelvényben talált 35—37% közötti, és a Francisco talajban regisztrált 40% feletti térfogatosságra utalni.

2. Fontosnak tartom az általam javasolt potenciális repedezőképességnek, mint új talajfizikai jellemzőnek a bevezetését. A talajok zsugorodását a gyakorlati életben ugyanis nem mint térfogatosságot, hanem mint a talaj repedezését észleljük.

3. Annak ellenére, hogy a lineáris zsugorodást bolygatott, a laboratóriumi vizsgálatokhoz előkészített mintából kell meghatározni, ez az érték mégis szoros kapcsolatot mutat az eredeti szerkezetű talajmintákon mért zsugorodási jellemzőkkel. Igaz, kimondottan szoros kapcsolat csak a 10%-nál nagyobb lineáris zsugorodású talajok esetében volt kimutatható. Az ennél kisebb lineáris zsugorodású talajokban a másik két zsugorodási értékkel csak lazább, és más állandókkal jellemezhető összefüggést találtam. E talajoknál a térfogatossághoz, illetve a potenciális repedezőképességhez viszonyítva kisebbek voltak a lineáris zsugorodás értékei (lásd az 1. és 2. ábrát). Nehéz eldönteni, mennyire okozta ezt a jelenséget a kisebb értékeket terhelő, nyilvánvalóan nagyobb mérési hiba, de valószínűbbnek tartom, hogy ebben elsősorban a talajok kolloid frakciójának minőségi különbsége játsza a fő szerepet. Az ebbe a csoportba tartozó adatpárok ugyanis egy minta kivételével mind a latosol, latosolos és a trópusi sárga talajok genetikai nagy csoportokba tartozó talajokból kerültek ki. (Amint azt már tárgyaltam, e talajok kolloid frakciója kaolinitos, és ennek SiO_2/Fe_2O_3 aránya is más, mint a többi típusba tartozó talajokban.) Különösen a vörös talajok viselkednek egyértelműen eltérően a többi talajtól. A trópusi sárga talajok ebből a szempontból átmenetet képeznek. Egyes kapcsolatok — és egyes minták — esetében a vörös talajokhoz, más esetekben a többi talajtípushoz hasonlóan viselkednek.

4. A térfogatossághoz és a potenciális repedezőképesség közötti nagyon szoros összefüggés alapján bizonyítást nyert — amint azt a megfelelő helyen már említettem —, hogy a talajok zsugorodásában anizotropia nem mutatható ki.

5. A térfogatos zsugorodás és a vízkapacitás %-ában kifejezett zsugorodási határ közötti szoros összefüggésből a gyakorlat számára levonható az a megállapítás, hogy a kisebb térfogatos zsugorodású talajokon duzzadási és zsugorodási jelenségekkel csak a vízkapacitásnál nagyobb nedvességtartalmú állapotban (pl. túllöntözés, elárasztódás) kell számolnunk. Ezzel szemben a nagyobb térfogatos zsugorodású talajoknál a duzzadási és zsugorodási jelenségek — összes káros következményeikkel együtt — már a vízkapacitásnál kisebb nedvességtartalmaknál is fellépnek. Ezek a talajok a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő nedvességi állapotban már számottevően beduzzadt állapotban vannak, a száradás folyamán zsugorodni, tehát repedezni fognak, ami például a növények gyökereinek rendszeres károsodását okozhatja. A kritikus határ a kb. 12—14% térfogatos zsugorodású talajoknál van, ugyanis ezekben a talajokban azonos a zsugorodási határ a szabadföldi vízkapacitással.

6. A talajok kolloid frakciójának minőségi különbözősége miatt a duzzadási-zsugorodási, valamint a legfontosabb vízgazdálkodási tulajdonságok egyetlen közvetlenül mérhető talajfizikai jellemzővel sem állnak közvetlen törvényszerű kapcsolatban, mert e jellemzők mindegyike általában vagy csak a kolloid frakció mennyiségét vagy csak minőségét mutatja. Sikerült egy olyan, egyszerűen számítható talajfizikai jellemzőt találni, amely egyidejűleg fejezi ki jó megközelítéssel a talaj kolloid frakciójának mind mennyiségi, mind minőségi tulajdonságait mindazokban a talajokban, amelyekben e frakció mennyisége nem túlságosan kicsi. Ez a számított talajfizikai jellemző a telített NH_4Cl -oldat tenziójával egyensúlyt tartó higroszkópos nedvesség négyzete ($h_{\frac{1}{2}}^2$). Alkalmazásával igen jó megközelítéssel lehet a talajok különböző zsugorodási értékeit, valamint szabadföldi vízkapacitását és holtvíztartalmát számítani. Nem lehet azonban az összes talajtípusra egyaránt érvényes, azonos számszerű összefüggést kimutatni.

Amíg az egyes zsugorodási jellemzők egymás közötti kapcsolata lineáris, a $h_{\frac{1}{2}}^2$ -tel való függvénykapcsolatuk logaritmikus.

7. A $h_{\frac{1}{2}}^2$ és a lineáris zsugorodás kapcsolatát feltüntető 5. ábrán jól látható, hogy a vörös talajok nem illeszkednek bele az általános összefüggésbe. Lineáris zsugorodásuk kisebb, mint amennyi $h_{\frac{1}{2}}^2$ -értéküknek megfelelő lenne. (Ez tökéletesen egybevág az 1. és 2. ábrán ismertetett összefüggések tárgyálásánál mondottakkal.)

A $h_{\frac{1}{2}}^2$ és a térfogatos zsugorodási értékek között csak a $h_{\frac{1}{2}}^2 > 20$ talajok esetében van törvényszerű kapcsolat. Az ennél lazább talajoknál mért kisebb értékeket a talaj szerkezeti állapota valószínűleg erősebben befolyásolja.

Természetesen ugyanez állapítható meg a $h_{\frac{1}{2}}^2$ és a potenciális repedezőképesség közötti összefüggés vonatkozásában is. Egyenlettel kifejezhető, szoros kapcsolat csak a $h_{\frac{1}{2}}^2 > 20$ talajok esetében van.

8. Amint a 8. és 9. ábrából látható, a $h_{\frac{1}{2}}^2$ és a talajok legfontosabb vízgazdálkodási jellemzői között is szoros kapcsolatot lehet kimutatni. A $h_{\frac{1}{2}}^2$ és a vízkapacitás között egyszerű lineáris összefüggés, előbbi és a holtvíztartalom között bonyolultabb, hatványfüggvénnyel kifejezhető kapcsolat van.

Mindkét esetben más számszerű összefüggés érvényes a kaolinitos, kolloid frakciójában általában 10-nél szűkebb $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arányú, és a montmorillonitos, 10-nél tágabb $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arányú talajokra. Ezen a törvényszerűségen belül elsősorban a holtvíztartalom nagyságát tekintve a trópusi sárga talajok viselkedése bizonytalan. Egyes rétegek — részben $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arányuktól függetlenül is — a kaolinitos vörös

talajokra, más rétegeik pedig a montmorillonitos talajokra jellemző összefüggés szabályait követik.

A kaolinitos vörös és részben a sárga talajokban a növények számára nem felvehető holtvíztartalom a montmorillonitos talajtípusokhoz viszonyítva azonos hy_2^2 -érték mellett nagyobb, így bennük a hasznosítható vízkészlet kisebb. (Ezt a kedvezőtlen tulajdonságukat a gyakorlatban az ellensúlyozza, hogy általában jó szerkezetűek és mély rétegűek, így a gyökerek vastagabb talajréteg vízkészletét tudják hasznosítani, mint az általában rosszabb szerkezetű egyéb talajokban.)

9. Végezetül a 6. táblázatban megadott, %-ban kifejezett determinációs együtthatók nagyságából megállapítható, hogy az anyagi talajfizikai tulajdonságok (hy_2 , agyagtartalom, lineáris zsugorodás) szignifikánsan és általában szorosan befolyásolják az eredeti szerkezethez kötött talajfizikai jellemzőket is, de az eredeti szerkezet kisebb-nagyobb mértékű módosító hatása is kimutatható minden esetben.

Nevezetesen a determinációs együttható (illetve annak %-os értéke) minden olyan esetben kisebb volt, amelyekben anyagi jellemzőt eredeti szerkezethez kötött tulajdonsággal hoztam kapcsolatba. Az ilyen jellegű összefüggések esetében a százalékos determinációs együtthatók átlaga 70,5%. Ezzel szemben azoknál az összefüggéseknél, amelyekben anyagi tulajdonságot anyagi tulajdonsággal (pl. a hy_2^2 és lineáris zsugorodás) vagy elsősorban anyagi tulajdonságtól függő jellemzővel (pl. hy_2^2 és holtvíztartalom), valamint ahol eredeti szerkezeti állapotban mért tulajdonságok egymás közötti kapcsolatát vizsgáltam (pl. térfogatos zsugorodás és zsugorodási határ), a determinációs együtthatók %-os értékeinek átlaga 97,0% volt. Megállapítható tehát, hogy az anyagi és az eredeti szerkezettől függő tulajdonságok egymás közötti kapcsolatában a szerkezeti állapot általában mintegy 26–27%-ban felelős a vizsgált tulajdonság számszerű értékének kialakításáért.

Összefoglalás

Különböző típusú kubai talajokon vizsgáltam a zsugorodási (lineáris, térfogatos és potenciális repedezőképesség), valamint vízgazdálkodási adottságok egymás közötti és egyéb — egyszerűbben meghatározható — talajfizikai jellemzőkkel való kapcsolatát. Az egyszerűbben meghatározható jellemzők közül a telített NH_4Cl -oldat felett mért higroszkóposság négyzetét (hy_2^2) találtam olyan paraméternek, amely a talajkolloidok mennyiségi és minőségi hatásának eredőjét jól kifejezi. Megállapításaim a következők:

1. A zsugorodási jellemzők egymással lineáris, a hy_2^2 -értékkel logaritmusos függvénykapcsolatban állnak. Az általános szabályszerűség alól csak a kaolinitos vörös (latosol és latosolos) talajok mutatnak kivételt.

2. A talajok térfogatos zsugorodása és potenciális repedezőképessége közötti nagyon szoros kapcsolat ($r = +0,99$) azt bizonyítja, hogy a talajok zsugorodása nem mutat anizotrópiát.

3. A kb. 12–14%-nál nagyobb térfogatos zsugorodású talajokban a duzzadási és zsugorodási folyamatok már a szabadföldi vízkapacitásnál szárazabb nedvességi állapotban is fellépnek.

4. A hy_2^2 és a talajok szabadföldi vízkapacitása között szoros lineáris összefüggés van. Más összefüggés érvényes azonban a kaolinitos vörös és trópusi sárga, valamint az egyéb talajtípusok esetében. A két csoport között az agyagfrakció molekuláris SiO_2/Fe_2O_3 arányában is különbséget találtam.

5. A hy_2^2 a talajok holtvíztartalmával hatványfüggvény kapcsolatban áll. Más számszerű összefüggés érvényes azonban itt is a vörös és trópusi sárga, valamint az egyéb talajtípusokra. Azonos higroszkóposág mellett előbbiek holtvíztartalma nagyobb.

6. Az anyagi és az eredeti szerkezettől függő tulajdonságok egymás közötti kapcsolatában a szerkezeti állapot általában mintegy 26—27%-ban felelős a vizsgált tulajdonság számszerű értékének kialakításáért.

Irodalom

- [1] DI GLÉRIA J.—KLIMES-SZMIK A.—DVORACSEK M.: Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó, Budapest. 1957.
- [2] DVORACSEK, M.: Características físicas de algunos suelos cubanos de importancia agropecuaria. (Resumen de los trabajos investigativos 1968—1971.) La Habana. 1971. Kézirat.
- [3] KÉZDI Á.: Talajmechanika I. Tankönyvkiadó, Budapest. 1977.
- [4] KLIMES-SZMIK A.: A talaj pórustérének beosztása a víz mozgása alapján. Agrokémia és Talajtan. 11. 41—54. 1962.
- [5] KLIMES-SZMIK, A. et al.: Suelos de Cuba. Tomo II. Editorial Orbe. La Habana. 1980.

Érkezett: 1983. május 3.

The Shrinking Capacity and the Water Regime Properties of Tropical Soils

M. DVORACSEK

Agricultural University, Keszthely (Hungary)

Summary

The relationship of the shrinkage of soils (linear, volumetric and potential cracking capacities) to the water regime properties, as well as the relationship of the former to other soil physical parameters which can be easily determined were studied on different Cuban soil types. From among the latter parameters it is the square of hygroscopicity measured over saturated NH_4Cl solution (hy_2^2 value) which expresses adequately the resultant of the quantitative and qualitative effects of soil colloids. It has been established that:

1. As a rule the shrinkage characteristics are in linear correlation to each other and they have a logarithmic functional relationship with the hy_2^2 value. The kaolinitic red soils (latosols and latosolic soils) are the only exception to this rule.

2. The very close correlation ($r = +0.99$) between volumetric shrinkage and the potential cracking capacity of the soils proves that the shrinkage of soils is not anisotropic.

3. In soils the volumetric shrinkage of which exceeds 12—14 per cent, swelling and shrinking processes occur even if the moisture content is below field capacity.

4. A close linear correlation has been observed between the soils' hy_2^2 values and field capacities. The correlation, however, is different, on the one hand, for kaolinitic red soils and tropical yellow soils and, on the other hand, for all the other soil types. The SiO_2/Fe_2O_3 ratios in the clay fractions of the two soil groups differ, too.

5. The correlation between the soils' hy_2^2 values and moisture contents at the wilting point can be described by a power function which, however, is different for red and tropical yellow soils and for the other soil types. At the same level of hygroscopicity the moisture content unavailable for plants is higher in red and tropical yellow soils.

6. In the relationship of material soil properties to those depending on the original soil structure, soil structure influences to the extent of 26—27 per cent the numerical value of any soil characteristics examined.

Table 1. Soils used in the study. (1) Large genetic soil groups. a) latosols; b) latosolic soils; c) tropical yellow soils; d) tropical brown soils; e) tropical black soils; f) calcareous soils; g) humous calcareous soils; h) tropical gley soils. (2) Series. (3) Number of the disturbed and undisturbed layers examined. *Used only for studies on the water regime properties.

Table 2. Some constant (material) physical characteristics of the soil samples collected from disturbed layers. (1) No. of sample and sampling depth, cm. (2) Upper limit of plasticity. (3) Clay content, %. (4) Hygroscopicity of the soil measured over saturated NH_4Cl solution. (5) Hygroscopicity of the clay fraction.

Table 3. Some relevant analytical data of soil samples collected from undisturbed layers. (1) No. of sample. (2) Specific weight (measured in water), $g \cdot cm^{-3}$. (3) Bulk density measured in swelled and in air dry conditions, $g \cdot cm^{-3}$. (4) Moisture content (in weight percentage) at capillary capacity, at field capacity and at the wilting point. (5) The molecular SiO_2/Fe_2O_3 ratio in the colloid fraction.

Table 4. The various shrinkage values and the shrinkage limit. (1) No. of sample. (2) Linear shrinkage, %. (3) Volumetric shrinkage, %. (4) Potential cracking capacity as a percent of the soil surface. (5) Shrinkage limit (moisture content in weight percentage).

Table 5. The hy_2^2 values of the soil samples. (1) No. of sample.

Table 6. Comprehensive table of the calculated functional relationships. (1) Independent variable (X). (2) Dependent variable (Y). (3) Validity of relationship. (4) Type of relationship. (5) Number of data. (6) Equation. (7) Standard deviation of the regression coefficient. (8) Correlation coefficient. (9) Percentual value of the determination coefficient. (10) Level of significance. a) linear shrinkage; b) volumetric shrinkage; c) potential cracking capacity; d) shrinkage limit as a percent of field capacity; e) field capacity in weight percentage; f) moisture content at wilting point in weight percentage; g) red soils and soils whose linear shrinkage is less than 10%; h) all the other soils; i) all soils; j) all soils except red soils; k) red and tropical yellow soils; l) linear; m) exponential; n) logarithmic; o) power function; p) not significant.

Fig. 1. Relationship of linear shrinkage (X) to volumetric shrinkage (Y). I. Red soils and soils whose linear shrinkage is less than 10%. II. All the other soils.

Fig. 2. Relationship of linear shrinkage (X) to potential cracking capacity (Y). For. I. and II. see Fig. 1.

Fig. 3. Relationship of volumetric shrinkage (X) to potential cracking capacity (Y).

Fig. 4. Relationship of volumetric shrinkage (X) to the shrinkage limit expressed as a percent of field capacity (Y).

Fig. 5. Relationship of the hy_2^2 value (X) to linear shrinkage (Y). a) data for red soils (for red soils the equation is not valid).

Fig. 6. Relationship of the hy_2^2 value (X) to volumetric shrinkage (Y). a) data for soils whose hy_2^2 value is less than 20 (for these soils the equation is not valid); $r = +0.69$.

Fig. 7. Relationship of the hy_2^2 value (X) to potential cracking capacity (Y). For a) see Fig. 6. $r = +0.44$.

Fig. 8. Relationship of the hy_2^2 value (X) to field capacity (in weight percentage) (Y). I. Red and tropical yellow soils; SiO_2/Fe_2O_3 ratio is less than 10. II. All the other soils; SiO_2/Fe_2O_3 ratio is more than 10.

Fig. 9. Relationship of the hy_2^2 value (X) to the moisture content at the wilting point (Y). I. Red soils and some of the tropical yellow soils; SiO_2/Fe_2O_3 ratio is less than 10. II. Some of the tropical yellow soils and all the other soils; SiO_2/Fe_2O_3 ratio is more than 10. a) tropical yellow soils with irregular behaviour.

Indices del encogimiento y propiedades hidrofísicas de los suelos tropicales

M. DVORACSEK

Universidad de Ciencias Agrícolas, Keszthely (Hungría)

Resumen

Las relaciones de los índices del encogimiento (longitudinal, cúbico y poder de agrietamiento potencial) además de algunas propiedades del régimen hídrico entre sí y con otras características, cuya determinación es sencilla, fueron examinadas en diferentes tipos de suelos cubanos.

De entre las características últimamente mencionadas es el cuadrado de la higroscopicidad determinada sobre la solución saturada de NH_4Cl (valor de hy_2^2) el cual expresa de modo adecuado la resultante de los efectos cuantitativos y cualitativos de los coloides del suelo.

Llegamos a las siguientes conclusiones:

1. La relación de los índices del encogimiento entre sí la expresa una función lineal y la con el valor de hy_2^2 una función logarítmica. La única excepción a esa regla general son los suelos rojos caoliniticos (latosol y latosoles).

2. La relación muy estrecha ($r = +0,99$) del encogimiento cúbico con el poder de agrietamiento potencial demuestra que el encogimiento de los suelos no es anisotrópico.

3. En los suelos cuyo encogimiento cúbico es superior al 12—14% los procesos del hinchamiento y del encogimiento ya ocurren cuando contienen menos humedad de la correspondiente a la capacidad de campo.

4. Entre el valor de hy_2^2 y la capacidad de campo de los suelos existe estrecha correlación lineal. Pero los valores numéricos de las constantes de la ecuación son diferentes por un lado para los suelos caoliniticos rojos y amarillos tropicales y por el otro para todos los demás tipos de suelo. También hay diferencia entre las proporciones moleculares de SiO_2/Fe_2O_3 de la fracción arcilla de los dos grupos de suelo.

5. La relación del valor de hy_2^2 con el contenido de humedad en el punto de marchitez la expresa una función de potencia. Pero los valores numéricos de las constantes de la ecuación son también en este caso diferentes para los suelos rojos y amarillos tropicales y para los demás tipos de suelo. En el caso de igual higroscopicidad el contenido de humedad en el punto de marchitez de los suelos rojos y amarillos tropicales es mayor.

6. En la relación de las propiedades permanentes con las que dependen de la estructura natural de los suelos entre sí, la estructura influye en general hasta el 26—27% al valor numérico de las características de los suelos examinados.

Tabla 1. Los suelos investigados y el número de las muestras de suelo. (1) Grande grupo genético. a) Latosol; b) Latosolico; c) Amarillo tropical; d) Pardo tropical; e) Negro tropical; f) Calizo; g) Calizo humificado; h) Gley tropical. (2) Serie. (3) Número de capas investigadas con muestras de suelo disturbadas y las de estructura natural. i) Total. * Utilizado solamente para la investigación de las propiedades hidrofísicas.

Tabla 2. Algunos índices físicos permanentes de las muestras del suelo disturbado. (1) Número de la muestra y la profundidad, cm. (2) Límite superior de la plasticidad. (3) Arcilla, %. (4) La higroscopicidad del suelo determinada sobre la solución saturada de NH_4Cl . (5) La higroscopicidad de la fracción arcilla.

Tabla 3. Resultados obtenidos con las muestras de suelo de estructura natural. (1) Número de la muestra. (2) Densidad real determinada en agua, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. (3) Densidad aparente del suelo hinchado y la del suelo seco al aire, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. (4) Contenido de humedad en el estado de la saturación capilar, correspondiente a la capacidad de campo y al punto de marchitez, expresados en % de peso. (5) Proporción molecular $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ en la parte coloidal del suelo.

Tabla 4. Distintos valores del poder de encogimiento y el límite del mismo. (1) Número de la muestra. (2) Encogimiento longitudinal, %. (3) Encogimiento cúbico, %. (4) Poder de agrietamiento potencial en % de la superficie del suelo. (5) Límite del encogimiento (contenido de humedad, % de peso).

Tabla 5. Los valores de la hy_2^2 de las muestras de suelo. (1) Número de la muestra.

Tabla 6. Tabla sinóptica de las funciones calculadas. (1) Variable independiente (X). (2) Variable dependiente (Y). (3) Validez de la función. (4) Tipo de la función. (5) Número de muestras. (6) La ecuación. (7) Desviación típica del coeficiente de regresión. (8) Coeficiente de correlación. (9) Coeficiente de determinación en %. (10) Nivel de significación. a) encogimiento longitudinal; b) encogimiento cúbico; c) poder de agrietamiento potencial; d) límite del encogimiento en % de la capacidad de campo; e) capacidad de campo, % de peso; f) contenido de humedad en el punto de marchitez, % de peso; g) los suelos rojos y los cuyo encogimiento longitudinal es < 10 ; h) todos los demás suelos; i) todos los suelos; j) todos los suelos excepto de los suelos rojos; k) los suelos rojos y los suelos amarillos tropicales; l) lineal; m) exponencial; n) logarítmica; o) función de potencia; p) no significativo.

Fig. 1. Relación del encogimiento longitudinal (X) con el encogimiento cúbico (Y). I. Los suelos rojos y los cuyo encogimiento longitudinal es < 10 . II. Todos los demás suelos.

Fig. 2. Relación del encogimiento longitudinal (X) con el poder de agrietamiento potencial (Y). I. y II. veanse en la Fig. 1.

Fig. 3. Relación del encogimiento cúbico (X) con el poder de agrietamiento potencial (Y).

Fig. 4. Relación del encogimiento cúbico (X) con el límite del encogimiento expresado en % de la capacidad de campo (Y).

Fig. 5. Relación de la hy_2^2 (X) con el encogimiento longitudinal (Y). a) los datos referentes a los suelos rojos que no figuran en la ecuación.

Fig. 6. Relación de la hy_2^2 (X) con el encogimiento cúbico (Y). a) los datos referentes a los suelos cuyo valor de $hy_2^2 < 20$ y no figuran en la ecuación; $r = +0,69$.

Fig. 7. Relación de la hy_2^2 (X) con el poder de agrietamiento potencial (Y). a) vease la Fig. 6. $r = +0,44$.

Fig. 8. Relación de la hy_2^2 (X) con la capacidad de campo expresada en % de peso (Y). I. Suelos rojos y suelos amarillos tropicales; $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10$. II. Todos los demás suelos; $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10$.

Fig. 9. Relación de la hy_2^2 (X) con el contenido de humedad en el punto de marchitez (Y). I. Suelos rojos y en parte los suelos amarillos tropicales; $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10$. II. Algunos suelos amarillos tropicales y todos los demás suelos; $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10$. a) anómalos suelos amarillos tropicales.

Водно-физические свойства и усадка кубинских почв

М. ДВОРАЧЕК

Институт земледелия и растениеводства, Аграрный Университет, Кестхей (Венгрия)

Резюме

На различных типах кубинских почв автор изучил зависимости между усадкой (линейной, объемной и потенциальной возможностью образования трещин), водными и другими просто измеряемыми физическими параметрами.

Из просто определяемых показателей величину гигроскопичности, возведенную в квадрат (h_2^2) и определенную над насыщенным раствором NH_4Cl , считает таким параметром, который хорошо отражает равнодействующую качественного и количественного влияния почвенных коллоидов.

Полученные результаты позволили установить следующее:

1. Показатели усадки между собой находятся в прямой зависимости, с гигроскопичностью (h_2^2) — в логарифмической зависимости. Исключение составляют только каолиновые красные почвы (latosol и latosolos).

2. Весьма прочная связь между объемной усадкой почвы и потенциальной трещиноватостью ($r = +0,99$) показывает, что почвы не обладают анизотропией.

3. В почвах с объемной усадкой более 12—14% процесс набухания и усадки уже идет при влажности ниже полевой влагоемкости.

4. Между h_2^2 и полевой влагоемкостью имеется прямая зависимость. Совершенно другие закономерности проявляются в случае каолиновых красных- и тропических желтых почв, а также других типов почв. Между двумя группами нашли различия между молекулярным соотношением $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ в глинистой фракции.

5. h_2^2 находится в степенной зависимости с содержанием в почве неподвижной влаги. И в этом случае совсем иная численная зависимость действительна для красных и желтых тропических почв, а также для других почвенных типов. При тождественной гигроскопичности запас мертвой воды в последних гораздо выше.

6. Во взаимосвязи между свойствами, зависящими от материала и природного сложения, на структурное состояние почв, в формировании числовых показателей изученных свойств, приходится 26—27%.

Табл. 1. Типы изученных разрезов и количество образцов. (I) Большая генетическая группа. а) Латосоли. б) Латосолосы. в) Тропические желтые почвы. д) Тропические бурые почвы. е) Тропические черные почвы. ф) Карбонатные почвы. г) Гумусные карбонатные почвы. h) Тропические глеевые почвы. (2) Название почвы. (3) Число изученных слоев с нарушенной и ненарушенной структурой. и) Всего. + Используя только для анализа воднофизических свойств.

Табл. 2. Некоторые постоянные показатели физических свойств почвенных образцов с нарушенной структурой. (1) Номер почвенного образца и глубина в см. (2) Связность по Арань. (3) Содержание глины, %. (4) Гигроскопичность при насыщении почвы над хлористым аммонием. (5) Гигроскопичность глинистой фракции.

Табл. 3. Результаты исследования почвенных образцов с ненарушенной структурой. (1) Номер образца. (2) Удельный вес измеренный в воде. (3) Объемная масса определенная при набухании и в воздушносухом состоянии. (4) Влажность в весовых процентах в состоянии капиллярного насыщения, при полевой влагоемкости и запас мертвой влаги в %. (5) Молекулярное соотношение $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ в коллоидной части почвы.

Табл. 4. Различные величины усадки и граница усадки. (1) Номер образца. (2) Линейная усадка, %. (3) Объемная усадка, %. (4) Потенциальная трещиноватость в % почвенной поверхности. (5) Граница усадки (влажность в весовых процентах).

Табл. 5. Значения h_2^2 для почвенных образцов. (1) Номер образца.

Табл. 6. Сводная таблица рассчитанных зависимостей. (1) Независимая переменная (X). (2) Зависимая переменная (Y). (3) Закономерность связи. (4) Тип связи. (5) Количество образцов. (6) Уравнение. (7) Рассеивание коэффициентов корреляции. (8) Коэффициент корреляции. (9) Процентная величина коэффициента детерминации. (10) Уровень достоверности. а) линейная усадка; б) объемная усадка; в) потенциальная трещиноватость; д) предел усадки в % от полевой влагоемкости; е) в весовых процентах от полевой влагоемкости; ф) в % от запаса мёртвой воды; г) красные почвы и почвы с линейной усадкой меньше 10%; х) все остальные почвы; и) все почвы; j) все почвы кроме красных почв; к) красные и тропические желтые почвы; л) линейная; м) экспоненциальная; н) логарифмическая; о) степенная зависимость; р) не достоверно.

Рис. 1. Связь между линейной (X) и объемной (Y) усадкой. I. Красные почвы с линейной усадкой меньше 10%. Все остальные почвы.

Рис. 2. Связь между линейной усадкой (X) и потенциальной трещиноватостью (Y). I. и II. смотри на рисунке 1.

Рис. 3. Связь между объемной (X) усадкой и потенциальной трещиноватостью (Y).

Рис. 4. Связь между объемной усадкой (X) и пределом усадки выраженным в % от влагоемкости (Y).

Рис. 5. Зависимость между h_2^2 (X) и линейной усадкой (Y). а) данные, относящиеся к красным почвам (для них уравнение не действительно).

Рис. 6. Связь между h_2^2 (X) и объемной усадкой (Y). а) данные, относящиеся к почвам с h_2^2 ниже 20 (для этих почв уравнение не действительно). $r = +0,69$.

Рис. 7. Связь между h_2^2 (X) и потенциальной трещиноватостью (Y). а) смотри на рис. 6. $r = +0,44$.

Рис. 8. Зависимость между h_2^2 (X) и влагоемкостью в весовых процентах (Y). I. Красные и желтые тропические почвы; $SiO_2/Fe_2O_3 < 10$. II. Все остальные почвы $SiO_2/Fe_2O_3 > 10$.

Рис. 9. Зависимость между h_2^2 (X) и запасом мёртвой воды (Y). I. Красные и частично желтые тропические почвы; $SiO_2/Fe_2O < 10$. II. Некоторые желтые тропические почвы и все остальные почвы. $SiO_2/Fe_2O > 10$. а) Желтые тропические почвы со специфическими свойствами.