

长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡

I. 对土壤腐殖质积累及其品质的影响

张夫道

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 100081)

摘 要

长期施用有机肥和化肥,对土壤腐殖质积累和改善品质的作用研究,于1986~1991在俄罗斯季米里亚捷夫农学院等地进行。主要结果如下:

1. 有机肥对土壤腐殖质的积累作用大于NPK化肥。施肥所增加的土壤腐殖质,除了砂壤土外,主要是在0~60cm土层,60cm以下土层施肥效果不明显。

2. 长期施用有机肥和NPK化肥,提高了胡敏酸组分 I (游离的及与活性 R_2O_3 结合态)的含量和腐殖酸相对迁移率,而与 Ca^{++} 离子结合的胡敏酸组分 II 含量下降。由于胡敏酸组分 II 与 Ca^{++} 离子结合减弱,增加了腐殖质在水中的溶解,使之在大雨或大量灌水时易于淋失。

3. 施用有机肥和NPK化肥,水溶性腐殖物质的含量明显提高,缓解了干旱条件下土壤高浓度矿物盐的影响。

4. 长期施肥提高了土壤的亲水性;其膨胀容积、膨胀速度常数、土壤吸水量、土壤表面积等指标均不同程度的提高,但砂壤土增加了幅度低于粉砂壤土和粘壤土。

5. 胡敏酸甲氧基功能团的含量多寡是衡量土壤腐殖质化的重要指标。试验表明,长期施肥下低肥力酸性土壤中胡敏酸甲氧基含量提高了46%~300%,高肥力非酸性土壤提高了17%~32%。

关键词 长期施肥,腐殖质积累,腐殖质品质

腐殖质是评价土壤肥力的重要指标之一。国内外长期肥料定位试验积累了大量有关有机肥和化肥对土壤腐殖质作用的资料。绝大多数学者认为,有机肥可促进土壤腐殖质的积累^[1-3],但也有少数人持不同观点^[4]。对于化肥,分歧则很大。一些人认为,化肥对土壤腐殖质的贮存有良好的作用;另一些人认为,与不施肥的对照相比,化肥只是减缓土壤腐殖质的破坏;第三种意见是,化肥破坏了土壤腐殖质,使土壤板结。为了阐明这个极为敏感而又重要的问题,1986~1991在季米里亚捷夫农学院进行了有关研究,并对前苏联主要的长期试验资料进行了系统的分析。为探讨土壤养分的变化规律,还引用了前人的部分研究结果,加以比较分析,对引用资料在有关表中均予以注明。

本文着重探讨长期施肥对土壤腐殖质积累及其品质的影响。

一、材料与方法

(一) 研究方法

本研究采用肥料试验结束时土壤腐殖质的含量以及试验前和结束时土壤腐殖质的差值,个别试验还结合邻近未施肥的耕地和未开垦荒地的资料作比较。并设置大田微区、渗漏池和盆栽等试验,以综合评价长期施肥对土壤腐殖质的作用。

腐殖质各组分分组采用丘林—科诺诺娃法;胡敏酸分为组分 I (游离的及与活性 R_2O_3 结合的稳定态)、组分 II (与 Ca^{++} 结合态)、组分 III (与粘土矿物及 R_2O_3 结合的稳定态);富里酸分为组分 Ia (游离的及与活性 R_2O_3 结合态,又称为易变组分(Aggressive)、组分 I (与胡敏酸组分 I 结合态)、组分 II (与胡敏酸组分 II 结合态)。因组分 III 很难被微生物分解,植物无法利用,本研究未予提取。

(二) 试验土壤

试验土样分别取自前苏联季米里亚捷夫农学院(TCXA)、索里卡姆斯克、托尔若克、彼尔姆斯克、米罗诺夫、布里亚特等73个试验站(点),以及波兰的斯凯尔涅维采试验站,前东德的哈雷试验站。土壤为生草灰化土、黑钙土、脱碱土、灰钙土和灰色森林土。

(三) 测定方法

土壤有机质采用丘林法^[7];土壤腐殖质及其组分用科诺诺娃—别尔切科娃法^[8];甲氧基用半微量法^[9];腐殖质的亲水性用土壤膨胀法^[10]。

二、结果与讨论

(一) 土壤腐殖质的动态和平衡

1. 长期施肥对土壤腐殖质积累的影响 各试验点资料表明,施用有机肥对腐殖质的积累均有良好的作用。在生草灰化土上,砂壤质土壤腐殖质含量比对照提高了0~20%,粉砂壤质土壤提高了3.5%~93.3%,粘壤质土壤提高了25.6%;在黑钙土上,提高了11%~50%;灰色森林土提高了40%;灰钙土提高了1倍。

根据73个试验点取样测定结果,化肥对耕层土壤腐殖质积累的作用也很明显,除了彼尔姆斯克和米罗诺夫试验站7区轮作的化肥区与对照的腐殖质含量相近外,其它测试土壤均有所增加,增长幅度为4.8%~58.3%。

土壤渗漏池试验表明,在一年内,有机肥种类和施用量不同,对土壤腐殖质含量的影响亦不一样。在生草灰化土上,每公顷分别施用3t小麦或豌豆秸秆、10t草木樨鲜体或厩肥,对土壤腐殖质含量几乎无作用,只有高量有机肥(30~100t/ha)方显示出差异。其中厩肥>草木樨>豌豆秸秆>小麦秸秆。土壤游离态腐殖质的胡/富比变化趋势与土壤腐殖质一致。在黑钙土上,施肥对腐殖质含量作用不大,但高量有机肥可提高游离态腐殖质的含量,特别是豌豆秸秆和新鲜草木樨作用较大,其次是小麦秸秆和厩肥(表1)。

在肥料长期定位试验中,仅研究耕作层(0~20cm)的腐殖质和养分的变化是不够的,必需研究它们在20~40cm土层中的动态^[11]。对TCXA普良尼释尼柯夫试验站粉砂质生草灰化土0~40cm土层腐殖质测定结果表明,无论施用还是未施用石灰,施肥均增加了腐殖质的储量。但是,施用石灰后,加速了土壤有机质的分解,不利于腐殖质的积累。除132茬轮作区NPK处理施用石灰腐殖质储量稍大于未施石灰外,其它处理基本上均低于未施石灰区。其中,厩肥的效果优于化肥。

表 1 有机肥不同用量对土壤腐殖质含量的影响(%)
Table 1 Influence of different organic manure rates on content of soil humic(%)

处 理 Treatment	生草灰化土 Soddy podgolic				黑钙土 Chernogem			
	C量	增加率 Increase P.C.	游离态 腐殖质 Free humic	胡/富 (H/F)	C量	增加率 Increase P.C.	游离态 腐殖质 Free humic	胡/富 (H/F)
CK	1.83		0.37	1.40	5.30	-	0.56	3.75
小麦秸秆(W.S.) 3t/ha(C/N 92)	1.84	0.5	0.37	1.40	5.31	0.2	0.57	3.74
小麦秸秆(W.S.) 30t/ha	1.89	3.3	0.43	1.43	5.38	1.5	0.60	3.78
豌豆秸秆(P.S.) 3t/ha (C/N 30)	1.84	0.5	0.37	1.43	5.31	0.2	0.57	3.73
豌豆秸秆(P.S.) 30t/ha	1.90	3.8	0.42	1.46	5.39	1.7	0.61	3.80
草木樨(S.C.) 10t/ha(C/N 14)	1.83	0	0.37	1.40	5.31	0.2	0.57	3.76
草木樨(S.C.) 100t/ha	1.94	6.0	0.41	1.47	5.40	1.9	0.61	3.79
厩肥(M.) 10t/ha	1.84	0.5	0.37	1.42	5.31	0.2	0.57	3.76
厩肥(M.) 100t/ha	1.97	7.6	0.40	1.52	5.40	1.9	0.59	3.82

对不同质地的生草灰化土剖面上腐殖质的分布表明,与对照相比,施用有机肥和化肥均提高了土壤腐殖质含量。6个土壤剖面,除索里卡姆斯克试验站砂壤土施肥处理在60~80cm土层腐殖质有少量增加,其它质地的土壤,施肥所增加的腐殖质均积累于0~60cm土层内(图1)。

表 2 长期施肥土壤中腐殖质的含量和储量(TCXA,1912~1987)
Table 2 Content and reserves of humic in soil with long-term fertilization

轮作方式 Crop rotation	处 理 Treatment	腐殖质含量 Humic content (C%)				0~40cm储量Reserves(C.t/ha)	
		未施石灰 -lime		施石灰 + lime		未施石灰 -lime	施石灰 + lime
		0~20cm	20~40cm	0~20cm	20~40cm		
永久休闲地	CK	0.59	0.27	-	-	22.08	-
	NPK	0.76	0.33	-	-	27.70	-
	M	0.89	0.47	-	-	35.33	-
连作黑麦	CK	0.97	0.37	0.96	0.35	31.67	29.43
	NPK	1.07	0.44	1.04	0.48	36.91	34.59
	M	1.56	0.51	1.48	0.53	46.34	46.54
132茬作物	CK	0.77	0.42	0.76	0.40	31.38	29.64
	NPK	0.95	0.49	0.97	0.44	34.58	35.73
	M	1.16	0.56	1.04	0.57	41.58	38.69

注: 1912~1938每公顷施N7.5kg,P₂O₅15kg, K₂O22.5kg,厩肥18t;1938~1954 N7.5kg, P₂O₅60kg,K₂O90kg,厩肥20t;1955年以后,N50kg,P₂O₅75kg, K₂O60kg,厩肥10t。1949年开始,一半试验地每6年施1次石灰,4.5t/ha。

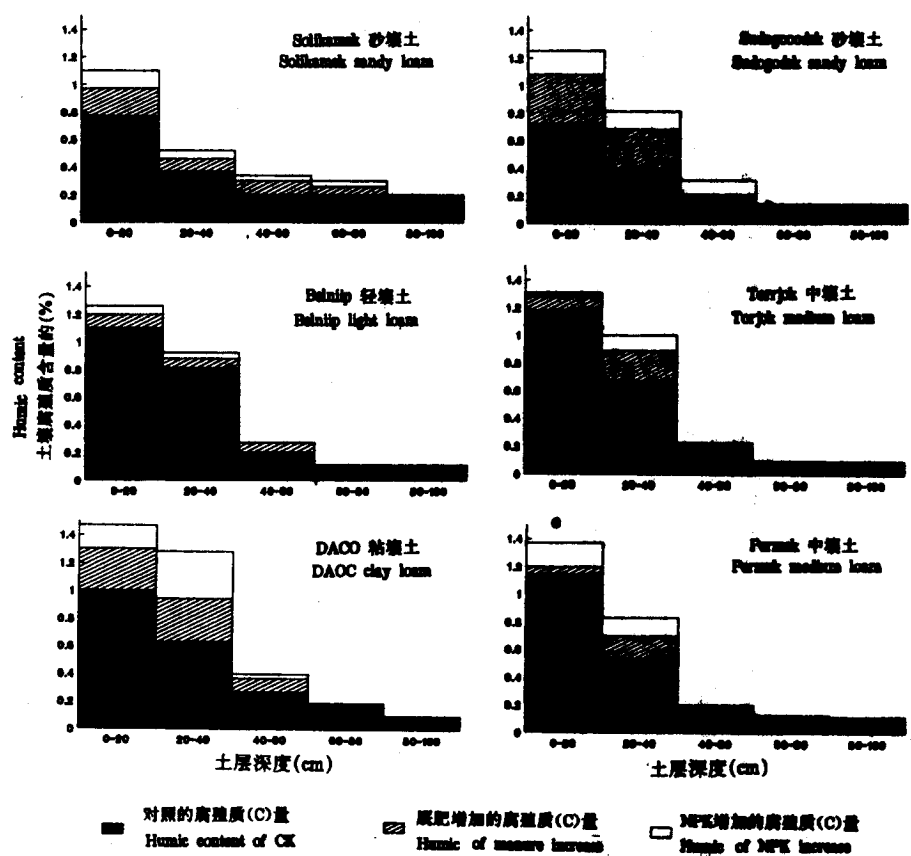


图1 不同施肥条件下0~100cm土壤剖面上腐殖质含量(C,%)变化
Fig.1 Changes of humic content (C %) on 0~100cm soil layers

2. 长期施肥条件下土壤腐殖质的变化 表3表明,由于试验布置于新垦荒地或开垦不久的耕地上,所以在所有处理中,土壤腐殖质的含量均随试验时间的延续而下降,但施肥处理下降幅度小,对照下降幅度大。按其效果的顺序为:NPK + M(占原始土壤的96.4%~105%)>M(66.7%~100%)>NPK(60.2%~80.8%)>CK(50%~79.6%)。如以同一年内各处理之间相互比较,施肥则比对照提高了土壤腐殖质含量。土壤质地不同,腐殖质亏损量差别也很大,土壤质地粗,通透性好,土壤有机质分解快,腐殖质减少也多。其减少顺序为:砂壤土(33.3%~50%)>粉砂壤土(19.5%~20.8%)>粉砂粘壤土和粘壤土(5.3%~28.3%)。试验前耕作状况不同,土壤腐殖质下降的程度也不一样。TCXA试验站建在生草荒地上,75年定位试验看出,所有处理前50年属土壤腐殖质下降阶段,50~60年是腐殖质稳定阶段,60年之后开始缓慢回升;而托尔若克试验站和全苏土壤肥料所试验站建在耕地上,20年之后腐殖质含量即开始回升。

在同一年内,因温度的变化,土壤腐殖质含量也有变化。TCXA试验站资料看出,5~8月份各处理土壤腐殖质(C)含量最高,为0.73%~1.38%;1月份最低为0.59%~1.04%。不同施肥处理,一年内土壤腐殖质含量高峰值对照区出现在8月(0.73%~1.08%),NPK处理区为7月(0.89%~1.13%),厩肥和厩肥+NPK处理分别为6月和5月(0.98%~1.68%和1.15%~1.19%)。

表 3 长期施肥下土壤腐殖质的变化(%)
Table 3 Changes of soil humic with long-term fertilization

试验地点 Sites	测定时间 Time	CK	NPK	NPK+Ca	3NPK	M	M + NPK	资料来源 Information
TCXA (粉砂壤土)	1912	1.20	1.20	1.20	-	1.20		[12]
	1962	0.59	0.89	0.85	-	1.09	1.04	[12]
	1972	0.59	0.99	0.90	-	1.10	1.07	[11]
	1987	0.60	0.97	0.95	-	1.16	1.10	
	占原始土的%	50.0	80.8	79.2	-	96.7	105.8	
Solikamsk 试验站 (砂壤土)	1934	1.08	1.08	1.08	-	1.08	-	[4]
	1968	0.64	0.65	0.69	-	0.81	-	[4]
	1988	0.60	0.65	0.78	-	0.72	-	
	占原始土的%	55.6	60.2	72.2	-	66.7	-	
Torjok 试验站 (粉砂壤土)	1963	1.49	-	1.49	-	1.49	1.49	[13]
	1975	1.16	-	1.10	-	1.22	1.39	[13]
	1988	1.18	-	1.20	-	1.29	1.52	
	占原始土的%	79.2	-	80.5	-	86.6	102.0	
试验站 Permsk (粉砂粘壤土)	1955	1.39	1.39	1.39	-	1.39	1.39	[14]
	1977	0.91	0.85	0.92	-	1.11	1.15	[14]
	1988	1.14	1.00	1.30	-	1.18	1.34	
	占原始土的%	82.0	71.9	93.5	-	84.9	96.4	
IFAS (粘壤土)	1965	1.13		1.13	1.13	1.13	1.13	[15]
	1969	1.06		1.07	1.12	1.16	1.15	[15]
	1973	0.79		0.89	0.88	0.87	0.94	[16]
	1977	0.84		1.05	1.03	1.10	1.10	[16]
	1988	0.90		1.07	1.05	1.13	1.13	
	占原始土的%	79.6		94.7	92.9	100	100	

注：(1) 试验土壤均为生草灰化土,TCXA试验站从1939年开始设NPK+厩肥处理。
(2) 施肥量：TCXA见表2。其它为：N50kg/ha, P₂O₅60kg/ha, K₂O60kg/ha, 厩肥10t/ha。
(3) 除注明来源的资料,其它均为本研究测定。

3. 长期施肥对土壤腐殖质平衡的影响 根据400多个肥料长期定位试验的资料,绘制的生草灰化土和黑钙土腐殖质多年变化的动态曲线(图2)表明,试验开始后7~10年,腐殖质的变化最大,之后,土壤腐殖质化和矿质化两个过程处于动态平衡中,变化较小。在生草灰化土上,无肥对照的腐殖质含量稳定在比原始土含量低20%的水平上;NPK处理比原始土含量降低15%,厩肥处理与原始含量接近;在黑钙土上,土壤腐殖质含量比较稳定,对照比原始土壤降低15%,NPK处理降低12%,厩肥处理与原始土壤接近。

生草灰化土,特别是质地较轻时,若保持腐殖质无亏损平衡,需施用大量有机肥料,其用量取决于土壤腐殖质含量和增加量(ΔC)。在土壤腐殖质含量和ΔC相同的情况下,土壤质地越粗,有机肥施用量越大(图3)。

在作物轮作中增加多年生牧草,可减少有机肥施用量(表4)。在轻质生草灰化土上,无牧草的禾本科作物轮作,若保持土壤腐殖质平衡,每年需施用有厩肥24t/ha,而在禾本科牧草的轮作中,只需厩肥7t/ha。

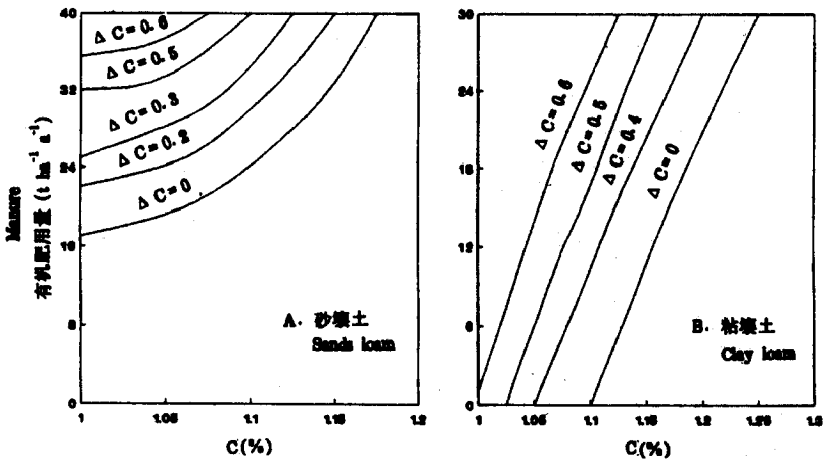


图2 长期施肥条件下土壤腐殖质的动态
Fig.2 Dynamic of soil humic under long-term fertilization condition

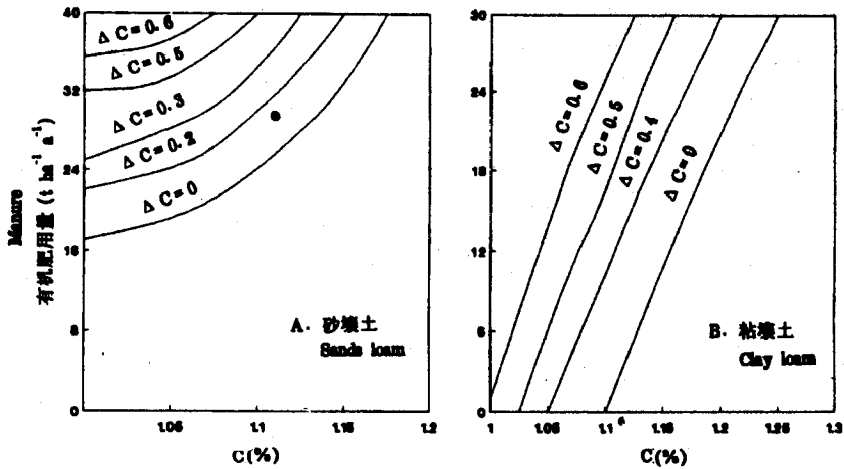


图3 生草灰化土中厩肥用量与土壤腐殖质含量的关系
Fig.3 Relationship between application of manure with content of soil humic

施用化肥,对腐殖质平衡同样有重要作用。这是由于化肥提高了轮作周期中作物的产量,增加了进入土壤的根茬量,激活了土壤的生物活性。在禾本科与中耕作物的轮作中,为了保证腐殖质的无亏损平衡和作物高产,单独施用厩肥,需27t/ba ;与NPK配合施用,厩肥施用量可减至7t/ba。可见在各种轮作制中,欲使土壤腐殖质增长,又要作物高产,单独施用厩肥不可能达到预期目标,必需有机-无机肥料配合施用。

(二) 长期施肥对土壤腐殖质品质的影响

1. 对土壤腐殖质组成的影响 长期施用有机肥和化肥,不仅提高了土壤腐殖质含量,而且提高了总腐殖酸量。在三种类型土壤中,生草灰化土效果最好,灰钙土次之,黑钙土最差。在同一类型的土壤中,粉砂粘壤土和粉砂壤土的效果优于砂壤土。就施肥处理而论,厩肥+NPK >

厩肥>NPK。胡敏酸含量的增加趋势与腐殖酸总量一致。而富里酸,除了生草灰化土有所增加,黑钙土和灰钙土施肥处理均未增加或略有下降。灰钙土无论施用有机肥还是化肥,其胡/富(H/F)比均有提高;生草灰化土厩肥处理H/F增加,NPK处理则下降;黑钙土变化不大(表5)。

表 4 腐殖质良性平衡条件下轻质生草灰化土的肥料用量
Table 4 The effect of fertilizer rates on humic balance in light soddy podzalic soil

轮作布局 Rotation system			腐殖质增长量 Humic increment (ΔC , %)									
			0.2		0.4		0.6		0.8		1.0	
CC	RC	PG	M	M+N	M	M+N	M	M+N	M	M+N	M	M+N
80	20	0	-	30(60)	-	48(100)	-	-	-	-	-	-
80	0	20	18	15(30)	29	26(40)	42	31(70)	-	50(55)	-	-
60	20	20	21	12(70)	33	17(70)	47	22(80)	-	38(55)	-	42(70)
55	22.5	22.5	34	16(80)	-	37(60)	-	44(85)	-	51(110)	-	-
50	30	20	-	24(60)	-	36(80)	-	43(100)	-	50(128)	-	-
40	20	40	20	13(70)	33	22(80)	48	30(90)	-	46(75)	-	50(100)
30	30	40	27	12(80)	47	21(100)	-	38(75)	-	44(98)	-	52(135)
20	40	40	43	10(100)	-	34(75)	-	39(85)	-	46(110)	-	52(155)

注: CC—禾谷类作物 Cereal crop; RC—中耕作物 Row Crop; PG—多年生牧草 Perennial grass
厩肥用量:吨/公顷 Manure rate: t/ha; 括号内为N用量:公斤/公顷。N rate (in bracket): kg/ha.

表 5 长期施肥对土壤腐殖质组成的影响 (占风干土%)
Table 5 Influence of long-term fertilization on composition of soil humic (% of dry soil)

土壤 Soil	试验地点 Site	处理 Treatment	全C Total C	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 Hummin	H/F
生草灰 化土	TCXA 试验站	CK	1.35	0.40	0.46	0.49	0.86
		M	2.06	0.58	0.59	0.89	0.98
		NPK	1.41	0.41	0.49	0.51	0.83
		M+NPK	2.32	0.75	0.57	1.00	1.31
黑钙土	Mironov 试验站	CK	2.44	0.75	0.30	1.38	2.40
		M	2.70	0.78	0.31	1.61	2.50
		NPK 2:1:2	2.44	0.76	0.34	1.34	2.20
		NPK 1:1:2	2.51	0.75	0.33	1.43	2.27
		1/2M+1/2NPK	2.62	0.78	0.32	1.52	2.44

注: 施肥量: TCXA同表2, 其它为N120,P₂O₅60,K₂O60kg/ha, 厩肥10~20t/ha

对胡敏酸和富里酸的成分进行分组(表6)可看出,在所有试验土壤上,施用有机肥和化肥的处理均提高了胡敏酸组分 I 的含量;腐殖酸相对迁移率(CH₁+CF₁/CH₂+CF₂)和胡敏酸相对迁移率(CH₁/CH₂)增加,特别是厩肥处理增加幅度更大;而胡敏酸组分 II 含量下降。但在生草灰化土上NPK+石灰处理中,这三项指标均大幅度降低了。胡敏酸组分 I 的增加和胡敏酸组分 II 的减少,势必伴随着土壤酸化。由于胡敏酸组分 II 与Ca⁺⁺离子结合减弱,促进了在水中的溶解,在

灌溉定额较大或暴雨时,将增加淋失的可能性,造成耕层土壤腐殖质减少,降低土壤肥力。所以,在酸性的生草灰化土上,施用石灰的作用之一是防止腐殖质淋失。

表 6 长期施肥对腐殖质酸组成的影响 (占土壤全C%)

Table 6 Influence of long-term fertilization on composition of humie acid (% of tol.C)

地点 Site	处理 Treatment	土壤全C Total C (%)	胡敏酸 (HA)		富里酸(FA)			未水解 残渣 Residue	CH CF	CH ₁ + CF ₁ CH ₂ + CF ₂	CH ₁ CH ₂
			I	II	Ia	I	II				
Solikamsk 试验站 (砂质生草 灰化土)	CK	0.60	12.7	2.6	13.2	16.6		59.9	0.60	11.3	4.9
	M	0.72	13.0	1.5	7.8	21.3	痕	59.3	0.60	22.3	8.7
	NPK	0.65	12.8	2.5	13.4	19.8	迹	54.4	0.50	13.0	5.1
	NPK + Ca	0.78	7.6	7.8	6.9	15.6		57.2	0.70	3.0	1.0
Halle 试验站 (黑钙土)	CK	1.33	2.9	27.4	4.4	5.3	9.1	41.8	1.40	0.22	0.11
	M	1.65	4.1	30.5	3.3	5.6	8.1	37.4	1.66	0.25	0.13
	NPK	1.44	2.9	29.8	3.7	5.2	8.8	40.5	1.56	0.21	0.10

2. 对游离态和水溶性腐殖质的影响 按丘林分组法,游离态腐殖质属于组分 I,它对肥料的作用最敏感,最容易分解而供作物利用。表7看出,在生草灰化土上,有机肥(秸秆、厩肥)提高了游离态和水溶性腐殖物质,比对照分别增加了4%~10.2%和14.4%~50.9%。施用化肥

表 7 长期施肥对游离态和水溶性腐殖质酸的影响

Table 7 Influence of long-term fertilization on free and soluble humie matters

土壤 Soil	地点 Site	处理 Treatment	0.1mol/LNaOH提取 Extract by0.1mol/L NaOH(% of tol.C)	与Ca ⁺⁺ 结合态 Combined to Ca ⁺⁺	水溶性C Soluble C (mg/kg)	pH (KCl)
生草灰化土	Solikamsk 试验站	CK	46.7		90	4.2
		M	48.6		103	4.2
		NPK	53.8		91	4.1
		NPK + Ca	45.0		106	4.3
生草灰化土	Skiernewice 试验站	CK	39.1		125	5.2
		(NH ₄) ₂ SO ₄	45.8		207	3.8
		NPK + Ca	23.2		132	6.2
黑钙土	Mironov 试验站	CK	12.3	31.1	203	5.7
		M	11.5	29.2	214	6.0
		NPK	14.3	28.7	220	5.3
		1/2M + 1/2NPK	13.7	28.3	256	5.5

条件下,游离态腐殖物质的积累在很大程度上取决于土壤酸度,二者呈显著负相关(r=-0.77)。施用NPK,土壤变酸,游离态腐殖物质增加;NPK+石灰处理,降低了土壤酸度,游离态腐殖物质含量减少,水溶性腐殖物质含量增加。在黑钙土上,施肥也可提高游离态腐殖物质的含量,但变化较小,有机肥的效果低于化肥。由此可见,无论是有机肥还是化肥,均可明显地提高水溶性腐

殖物质的含量,从而缓解高浓度矿质盐的影响,在缺水的旱地土壤上可保证作物高产。

(三) 长期施肥对土壤腐殖质亲水性的影响

有机物料中的有机质腐殖化过程大致为:有机物料→分解的亲水阶段→分解的疏水阶段→分解的离子-分子阶段,即矿质化阶段。亲水胶体的特殊性质之一是胶粘性,所以,亲水的腐殖物质具有将土壤胶结为有机-矿质复合体的能力。在微生物的作用下,它是结构性腐殖物质和供给植物养分的来源。土壤胶体的亲水性可根据其膨胀度或溶胶粘度的变化进行测定。

表 8 施肥对土壤膨胀特性的影响
Table 8 Influence of fertilization on soil expansibility

土壤 Soil	地点 Site	处理 Treatment	QM	$K \times 10^{-2}$	q	S	A
生草灰化土	TCXA (粉砂壤土)	CK	57	21.9	0.67	33.4	1.71
		M	65	25.5	0.81	39.8	1.63
		NPK	60	23.0	0.76	37.5	1.60
		NPK + Ca	89	24.9	0.92	45.3	1.96
黑钙土	Mironov	CK	127	13.1	2.18	107.8	1.18
	11区轮作	M	134	11.5	2.22	109.7	1.22
	(粉砂壤土)	NPK	150	13.3	1.82	90.0	1.67

注: QM—膨胀容积 Expansion volume, K—膨胀速度常数 Constant of expansion velocity,

Q—土壤吸水量(g/100g干土) Water absorption of soil, S—表面积 Surface area (m^2/g), A—常数 Constant

表8看出,土壤质地不同,其膨胀容积、膨胀速度常数、单位表面积和亲水常数差异较大。同为生草灰化土,多尔戈普鲁特的粘壤土,除了膨胀速度常数外,其它指标均最高;而柳别尔齐的砂质土各项指标均最低。肥料品种不同,对土壤膨胀的各项指标影响亦不一样。NPK+石灰处理对土壤膨胀影响最大,其次是厩肥,单独施用NPK影响最小。在轻质土壤上施石灰的作用大于粘质土壤。土壤类型不同,土壤膨胀度也不同,黑钙土大于生草灰化土和灰钙土。黑钙土中大多数粘土矿物具有可扩展的晶体晶格,施用有机肥,增加了有机-矿质复合体,提高了其亲水性(增加常数A),从而促进了土壤膨胀;施用化肥,这些矿物晶格虽局部被破坏而降低了表面积,但黑钙土养分丰富,激发了微生物生长,对提高土壤亲水性的作用大于作物残茬中的主要成分纤维素。所以,黑钙土各项膨胀指标均大于生草灰化土。

(四) 长期施肥对腐殖酸物理化学特性的影响

腐殖质的作用,在很大程度上取决于腐殖酸表面大量功能团的含量。胡敏酸的功能团有羧基、甲氧基等,不仅决定了其化学反应的能力,而且是土壤有机质腐殖化程度的重要指标。

胡敏酸化学元素分析表明(表9),长期施肥胡敏酸中元素组成发生较大变化,碳量减少,氢增加,H/C比例值提高。说明长期施肥土壤中脂肪族化合物增加,它们更多地参与了土壤胡敏酸分子的构成。

表 9 长期施肥条件下胡敏酸物理化学特性的变化

Table 9 Changes of Physico-chemical properties of humic acids under long-term fertilization condition

土壤 Soil	地点 Site	处理 Treatment	H/C	-OCH ₃ -		
				占无灰物质 % % of free ash matter	占总C % % of tot. C	增加 % Increase
生草灰化土	Solikamsk 试验站	CK	1.87	0.89	1.48	100
		M	1.89	1.54	2.13	173
		NPK	1.93	1.42	2.19	160
		NPK + Ca	1.86	1.30	1.67	146
	Skierniewice 试验站	CK	1.79	1.04	2.28	100
		NPK	2.11	2.10	4.38	202
		NPK + Ca	1.90	2.05	3.66	197
		M (60t/ha)	3.06	4.30	2.40	413
黑钙土	Mironov 试验站	CK		0.92	0.37	100
		M		1.44	0.55	132
		NPK		1.36	0.56	107
	Halle 试验站	CK	1.38	1.45	1.61	100
		M	1.57	2.58	1.72	177
		NPK	1.53	1.83	1.66	126

在土壤有机质胡敏化过程中,如果羧基含量提高,甲氧基含量必然减少,则胡敏化程度提高。表9还看出,生草灰化土施肥处理甲氧基含量比对照增加,最多达1~3倍;黑钙土增加幅度较小。肥料品种不同,其效果迥然不同。在生草灰化土上,有机肥效果最好,化肥次之;而黑钙土上有机肥与化肥的差异小。在同一类型土壤上试验土壤的基础不一样,甲氧基含量也有变化。在生草灰化土上,斯凯尔涅维采试验站粉砂质土壤胡敏酸甲氧基含量最高,多尔戈普鲁特市普良尼释尼柯夫农化试验站的粘壤土中甲氧基含量最低。原因在于斯凯尔涅维采试验站土壤熟化度较高,而后者建于砍伐后的生草荒地上。同样是黑钙土,哈雷试验站土壤胡敏酸甲氧基相对含量与生草灰化土接近(1.61%~1.72%),可能是该土壤腐殖质含量较低(0.9%~1.5%)的缘故。

三、结 论

1. 与对照相比长期而连续地施用有机肥和化肥对土壤腐殖质积累均有良好的作用,其效果主要集中于0~60cm土层,60cm以下土层施肥效果不明显。

2. 在不同类型的土壤上,施用有机肥和化肥,均明显地提高了腐殖质活性部分(组分 I)、水溶性腐殖物质和甲氧基功能团的含量,增加了土壤腐殖质的亲水性和亲水常数A,但黑钙土不如生草灰化土显著。长期而持续地施用NPK,与Ca⁺⁺离子结合的胡敏酸组分 II 含量降低,在灌水定额大时,有可能增加淋失量,造成土壤耕层腐殖质含量减少,降低土壤肥力,应予以重视。

3. 在轮作中,增加牧草的比例是保证腐殖质良性平衡的主要因素;连续地施用化肥,既提高了作物产量,也增加了进入土壤的根茬量,从而促进了土壤腐殖质的良性平衡。认为施用化肥破坏了土壤腐殖质的论点值得商榷。

参 考 文 献

- [1] Готманец А.Я., 1969: Влияние длительного систематического применения удобрений на природу и некоторые свойства гуминовых кислот мощного слабовищечоченного чернозёма, Почвоведение No. 10
- [2] Егоров В.Е., Лыков А.М., 1962: Содержание и состав гумуса при длительном применении удобрений, севооборота и монокультуры, Изв. вып. 3, с467
- [3] Кононова М.М.: Органическое вещество почвы Изд. АН СССР М1953
- [4] Прокошев В.Н., 1971: Влияние длительного применения удобрений на урожай и качества ячменя, Агрохимия No.8
- [5] Монтуляк Г.С., 1960: Динамика органического вещества почвы под бессменной монокультурой ржи, Почвоведение No.3
- [6] Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов Сб. статей М. вып. 1
- [7] Кауричев И.С., 1986: Проктикум по почвоведению, АГРОХИМИЗДАТ.
- [8] Покомарева В.В., Плотнокова: Гумуса и почвообразование, Ленинград [Наука], 1980.
- [9] Орлов Д.С. и др. 1969: Проктикум по биохимии гумуса Изд. МГУ.
- [10] Алешин С.И., Черников В.А., 1971: Агрохимия, No. 6, с49.
- [11] Лыков А.М., 1973: Превращение органического вещества и азота в дерново-подзолистой почве в длительном опыте ТСХА, Почвоведение No. 11, с53.
- [12] Егоров А.М., Лыков А.М., 1963: Изменение органического вещества дерново-подзолистого почвы после 50-летнего освоения, Почвоведение No. 10, с37.
- [13] Щевцова Л.К. и др., 1981: Содержание гумуса в почвах нечернозёмья при длительном применении удобрений, Почвоведение No. 10, с113.
- [14] Попова С.И., 1978: Влияние удобрений при систематическом их применении на плодородие дерново-подзолистых тяжёлых почв, Сб. науч. тр. Пермск. оп. ст., Пермь.
- [15] Мамченков И.П. и др., 1978: Сравнительная эффективность навозноминеральной и минеральной системы удобрений, бюл. ВИУА. No. 133.
- [16] Минеев В.Г. и др., 1978: Влияние длительного применения удобрений на гумус почвы и урожай культур, Агрохимия, No. 7

DYNAMIC AND BALANCE OF SOIL NUTRIENTS UNDER LONG-TERM FERTILIZATION CONDITIONS

I. Effects of fertilization on accumulation of soil humus and its qualities

Zhang Fudao

(Soil and Fertilizer Inst. CAAS. 100081)

Summary

Long-term trials of the effects of manure and chemical fertilizers on the accumulation of soil and its qualities were conducted in 1986~1991 in Russia and other places. The main results are as follow:

1. Application of manure has a better effect than NPK fertilizers on accumulation of soil humus. With the exception of sandy soil, the increase of soil humus was mainly in 0~60cm, and litter effect in lower layer.

2. Long-term application of manure and NPK fertilizers increased the content of component I of humus acid (free form and active R_2O_3 combined form) and the relative transport velocity, however, the content of component II of humus acid which combined with Ca^{2+} was decreased. The combination between component II of humus acid and Ca^{2+} declined, the dissolution of humus in water increased and the humus leached easily in the case of heavy rain or irrigation.

3. Application of manure and NPK fertilizers increased the content of soluble humus, and the adverse effect caused by high salinity on the crops under dry conditions could be reduced.

4. Long-term fertilization increased the hydrophilicity of soil, and the expansion volume, constant of expansion velocity, water absorbing capacity and the surface area of soil were also improved to a certain degree. The effects were less in the sandy loam soil than in silt loam and clay loam soil.

5. The content of methyl functional group of humus is an important index to evaluate the humification of soil. The experimental results showed that the content of methoxyl increased by 46%~300% in the acid soil with low fertility and by 17%~32% in the non-acid soil with high fertility under long-term fertilization condition.

Key Words Long-term fertilization, Accumulation of humus, Qualities of humus