

不同肥料配合施用土壤有机碳盈亏分布

马 成 泽

(安徽农学院, 230036)

周 勤 何 方

(六安行署土肥站)

(安徽农学院)

摘 要

几种施肥处理的田间试验结果表明: 连续四年不施肥, 土壤有机碳亏缺主要来自松结态有机无机复合体及缩合程度较低的腐殖质。因此, 四年间土壤供肥能力明显降低。仅施化肥保持高产, 土壤有机碳亏缺不多, 亏损主要来自稳结态和紧结态腐殖质, 由于残体“自然归还”的补偿, 松结态碳尚有盈余, 因此, 对土壤复合体和供肥性能的不良影响较轻。有机肥与化肥配合施用, 土壤有机碳均呈盈余平衡。土粪与化肥配合, 盈余碳几乎在松结态与稳结态及紧结态复合体之间均衡分配, 增加有机碳未能明显提高腐殖质的活性; 在一定数量的化肥配合下施稻草或稻草加土粪, 有机碳积累主要形成富啡酸并分配在松结态复合体中, 因而可以促进土壤有机质周转并能改善土壤供肥性能。

关键词 农田施肥, 土壤有机碳盈亏分布, 有机无机复合体, 腐殖质组分

为了维持农田土壤有机质的适宜水平, 人们曾对土壤有机质动态平衡的研究给予了较多的关注^[7,9]。但在农业措施作用下, 土壤有机质分解和积累对不同结合态有机无机复合体和腐殖质各组分的影响, 研究尚少^[14,21]。不同的施肥配方, 土壤有机质呈不同程度的平衡盈亏, 可能对各种结合状态的复合体及腐殖质的不同组分有不同影响。对此进行研究, 似能更深刻地揭示土壤有机质在分解和积累过程中, 复合体和腐殖酸形成、稳定和分解的规律, 从而更好地说明土壤有机质消长对土壤性状和肥力影响的本质。

1983 年起, 我们拟定几种施肥方案, 进行了连续四年的田间试验, 研究配合施肥对农田生产力、土壤有机质平衡状况及有机碳盈亏的分配。有关土壤有机质平衡状况前已报道^[3], 本文将报道土壤有机碳盈亏在有机无机复合体和腐殖质各组分中的分布。

一、试验条件和方法

(一) 试验条件

田间试验设在安徽省中部江淮岗地。这里常年平均气温 15—16℃, 年降水量 1000—1100mm。土壤是下蜀黄土发育的潴育型水稻土, 其基本性质见表 1。试验前长期实行水旱轮作, 试验期间为麦稻两熟轮作制。

(二) 田间试验

考虑到所追求的生产力水平, 基本采取当地条件下欲获得一定的产量对肥料氮磷的需求水平, 确

定施肥量和肥料配合比例, 施肥处理见表 2。试验小区面积 66.7 m², 重复两次。试验期间测定了土壤有机质矿化率、作物残体“自然归还”量及有机肥料和残茬的腐殖化系数, 用以核算土壤有机碳周年平衡, 并对土壤有机碳含量实际变化进行监测^[3]。试验结束, 于最后一季水稻收获后, 采集耕作层的土样进行有关项目测定。

(三) 分析方法

土壤有机无机复合度测定, 用杜列溶液分离法。结合态腐殖质分离, 采用傅积平等 (1981) 改进的方法^[4]。

土壤腐殖质组分分离, 用 Кнопова 等 (1961) 提供的方法^[5]。

土壤和各种复合体及腐殖酸组分含碳量的测定用 Тюрин 法。土壤及各种复合体含氮量用 Kjeldahl 法测定。

表 1 供试土壤的性质

Table 1 Basic properties of soil from the experimental plots

土层 Soil depth (cm)	质地 Texture	pH	有机碳 O.C. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Available P(mg/kg)	有效钾 Available K(mg/kg)	CEC [cmol(+)/kg]
0—20	粘壤土	6.2	8.70	0.91	7	114	13.8
20—30	壤质粘土	6.7	5.16	0.55	4	67	15.2

表 2 施肥处理

Table 2 Treatments of fertilization

处理 Treatment	作物 Crop	肥料配合方式 Combined form of fertilizer (kg/ha)	养分总量 Total quantity of nutrient (kg/ha)		
			N	P	O.C.
0	小麦 Wheat 水稻 Rice	不施肥	—	—	—
I	小麦 Wheat	化肥 N 225.0 + 化肥 P 97.5	225.0	97.5	0
	水稻 Rice	化肥 N 187.5	187.5	0	0
II	小麦 Wheat	化肥 N 112.5 + 化肥 P 49.5 + 土粪 30000	244.5	88.5	1530
	水稻 Rice	化肥 N 112.5 + 土粪 30000	244.5	39.0	1530
III	小麦 Wheat	化肥 N 150.0 + 化肥 P 66.0 + 土粪 15000	216.0	85.5	765
	水稻 Rice	化肥 N 150.0 + 稻草 6000	186.0	6.0	2535
IV	小麦 Wheat	化肥 N 187.5 + 化肥 P 49.5	187.5	49.5	0
	水稻 Rice	化肥 N 150.0 + 化肥 P 33.0 + 稻草 6000	186.0	39.0	2535

注: 化肥氮用碳酸氢铵 (含 N 17.0%); 化肥磷用普通过磷酸钙 (含有效 P 7.2%); 土粪含有机 C 51.0、全 N 4.41、全 P 1.32 (g/kg 干物质, 下同); 稻草含有机 C 422、全 N 5.92、全 P 1.10。

二、结果和讨论

(一) 有机无机复合度的变化

不同施肥处理的土壤有机无机复合度测定结果见表 3。连续四年不施肥和仅施化肥,

表 3 不同施肥处理土壤有机

Table 3 The contents of soil organic carbon and organic-mineral

处 理 Treatment	全 碳 Total C (g/kg)	轻 组 碳 Light fraction C		重 组 碳 Heavy fraction C	
		(g/kg)	占全碳% (of total C %)	(g/kg)	占全碳% (of total C %)
原土 ¹⁾ Rew soil	8.70	0.68	7.8	8.02	92.5
0	6.47	0.22	3.4	6.25	96.6
I	8.22	0.41	5.0	7.81	95.0
II	9.51	0.81	6.5	8.71	91.5
III	9.37	0.67	7.2	8.70	92.8
IV	9.21	0.66	7.2	8.55	92.8

1) 试验前的土壤。 2),3) 土壤有机碳减少 100, 复合碳减少值。

表 4 不同施肥处理土壤

Table 4 The surplus, deficit and distribution of soil organic

处 理 Treatment	有机碳总量盈亏 Surplus-deficit of O. C.	有机碳总量盈亏分布 Surplus-deficit distribution of O. C.			
		轻 组 Light fraction		重 组 Heavy fraction	
		盈亏值 Value	占总盈亏% Of total value	盈亏值 Value	占总盈亏% Of total value
0	$\frac{-2.23}{25.6}$	$\frac{-0.46}{67.6}$	-20.9	$\frac{-1.77}{22.1}$	-79.1
I	$\frac{-0.48}{5.5}$	$\frac{-0.27}{39.7}$	-57.1	$\frac{-0.21}{2.6}$	-42.9
II	$\frac{0.81}{9.3}$	$\frac{0.13}{19.1}$	15.4	$\frac{0.69}{8.5}$	84.6
III	$\frac{0.67}{7.7}$	$\frac{0.01}{1.5}$	-1.3	$\frac{0.68}{8.5}$	101.3
IV	$\frac{0.51}{5.9}$	$\frac{0.02}{2.9}$	-5.1	$\frac{0.53}{6.6}$	105.1

注: 分子为绝对盈亏量 (C g/kg), 分母为盈亏值占原土含碳量的%(下同)。

随着土壤有机质含量降低, 复合量降低。但由于土壤有机碳总量减少中游离态有机质分解的更多: 与原土相比, 不施肥和施化肥的处理, 轻组有机碳分别减少了 67.6% 和 39.7%, 而重组碳只减少 22.1% 和 2.6%(表 4)。这就是说, 有机碳总量减少主要是游离态有机质大量分解引起的, 复合态有机质损失不多, 所以复合度反而提高。显然, 有机无机复合限制了土壤有机质分解消耗。尽管如此, 复合量还是下降了(表 3)。因此, 复合度提高不是土壤肥力提高的标志。所有施有机肥的处理, 土壤有机碳总量和复合量均增加, 但复合度有增有减。施稻草有利于增值复合度提高。看来, 仅复合量或复合度的增减, 不能作为土壤肥力变化的指标, 只有增值复合度最能表明施肥对土壤肥力的效应。因此, 本试验中化肥与稻草和土粪配合施用有最好的培肥效果。其次是化肥加稻草。化肥加土粪可

碳含量和有机无机复合度

complexing degree under different fertilizing treatments

复合碳量 Complexing quantity C (g/kg)	复合度 Complexing degree (%)	追加复合碳量 Additional complexing C(g/kg)	追加复合度 Additional complexing degree (%)
7.65	87.9	—	—
5.94	91.8	-1.71	-76.7 ²⁾
7.44	90.5	-0.21	-43.8 ³⁾
8.26	86.9	0.61	75.3
8.28	88.4	0.63	94.0
8.12	88.2	0.47	92.2

有机碳盈亏及其分布

Carbon under different fertilizing treatments

重组碳盈亏分布 Surplus-deficit distribution of heavy fraction C					
松结态 Loosely combined state		稳结态 Stably combined state		紧结态 Tightly combined state	
盈亏值 Value	占重组盈亏% Of heavy fraction value	盈亏值 Value	占重组盈亏% Of heavy fraction value	盈亏值 Value	占重组盈亏% Of heavy fraction value
1.40 47.1	-79.1	0.15 34.9	-8.5	0.22 4.8	-12.4
0.03 1.0	14.3	0.14 32.6	-66.7	0.10 2.2	-47.6
0.37 12.5	53.6	0.11 25.6	15.9	0.21 4.5	30.4
0.51 17.2	75.0	0.08 18.6	11.8	0.09 1.9	13.2
0.36 12.1	67.9	0.12 27.9	22.6	0.05 1.1	9.4

以较多地增加土壤有机质,但增加复合体的效果不如在化肥配合下施稻草或稻草加土粪明显。仅施化肥,由于残体“自然归还”较多^[3],而自然还田的稻麦根茬有利于形成复合体^[6],所以短期内土壤有机无机复合体的破坏不甚明显。

(二) 有机碳盈亏在复合体中的分配

以试验前土壤为比较基础,不同施肥处理下,土壤有机碳总量盈亏及其分配见表4。连续四年不施肥,土壤有机碳总量亏损值占试验前土壤有机碳含量的1/4,其中近4/5由重组付出,来自轻组的只有1/5。因此,长期不施肥将使复合体遭到严重破坏。与原土相比不同结合态碳损失的比例是松结态>稳结态>紧结态。仅施化肥,有机碳总量亏损中来自重组不到一半,较多地由轻组供出。这表明土壤有机质一定数量的平衡亏缺,对复合

体的破坏较轻。值得注意的是重组碳亏缺量竟全部分配在稳结态和紧结态,而松结态碳反而略有盈余。这可能是由于大量施用化肥和残茬较多的还田,首先激发了各种结合态的有机质分解,而后残茬积累的有机质则主要补偿松结态腐殖质之故^[10]。因此,单施化肥似有利弊双关效应:使稳定结合的复合体遭到破坏,短期内新形成的腐殖质只能形成松结态复合体,降低了复合体的稳定度,但提高了土壤有机质的活性,促进了老腐殖质更新^[3,8,11]。

有机肥与化肥配合施用,土壤有机碳呈不同程度的盈余平衡。盈余碳的分布各有不同。化肥与土粪配合施用,有机碳盈余总量最多,但盈余碳向重组分配比施稻草处理的少。施用稻草或稻草加土粪处理的重组碳盈余超过了总盈余量,轻组碳反而略有亏缺。表明稻草或稻草加土粪与化肥配合施用所积累的有机质更有利于与矿物质复合,表观上看似能促进轻组有机质向重组转移。重组盈余碳向松结态复合体的分配比例是稻草>稻草加土粪>土粪;而向紧结态复合体的分配是土粪>稻草加土粪>稻草。表明稻草或稻草加土粪与化肥配合所积累的有机质明显有利于呈松结态复合,而仅以土粪与化肥配合所积累的有机质有1/4以上呈紧态复合。因此,不同施肥处理改变了重组碳在不同结合态复合体中的分布和松结态碳与紧结态碳的比例(表5)。这意味着不同肥料的配合施用对土壤有机无机复合体的稳定度有不同的影响,而所积累的土壤有机质对农田生产力的直接贡献也就不同。施入稻草比仅施土粪所积累的有机质有更高的活性,因而对农田生产力的直接贡献也较大^[3,6]。

表5 不同施肥处理复合体中有机碳的分布

Table 5 The distribution of organic carbon in complexes under different fertilizing treatments

处 理 Treatment	松 结 态 Loosely combined state		稳 结 态 Stably combined state		紧 结 态 Tightly combined state		松结态 紧结态 <u>Loosely</u> <u>Tightly</u>
	占重组% (C g/kg)	Of heavy fraction	占重组% (C g/kg)	Of heavy fraction	占重组% (C g/kg)	Of heavy fraction	
原土 Raw soil	2.97	37.0	0.43	5.4	4.62	57.6	0.643
0	1.57	25.1	0.28	4.5	4.40	70.4	0.357
I	3.00	38.4	0.39	3.7	4.52	57.9	0.664
II	3.34	38.3	0.54	5.2	4.83	55.5	0.692
III	3.48	40.0	0.51	5.9	4.71	54.1	0.739
IV	3.33	38.9	0.55	6.5	4.67	54.6	0.713

(三) 有机碳盈亏在腐殖质各组分中的分配

从表6看出,连年不施肥,土壤有机碳亏缺在腐殖质各组分的分配是:富啡酸>胡敏素>胡敏酸。仅施化肥的处理有机碳亏缺分配是:胡敏素>胡敏酸>富啡酸。表观上看仅施化肥造成的有机碳亏缺主要消耗了胡敏素,富啡酸消耗很少。但胡敏素亏缺的绝对量仍然远比不施肥处理少。这与前述紧结态复合体对重组碳分解的贡献相一致。在土壤有机质含量持续下降的过程中,各组分腐殖质都会减少,但减少最多的当然是抗分解能力弱的组分^[7,8,11]。显然,如果分解消耗得不到适量补充,各组分亏缺应是富啡酸较多,胡

表 6 不同施肥处理土壤有机碳盈亏在腐殖质各组分中的分配

Table 6 The surplus-deficit distribution of soil organic carbon in the various humus fractions under different fertilizing treatments

处 理 Treatment	腐殖碳盈亏分布 Surplus-deficit distribution of humus C						腐殖碳含量 ¹⁾ Quantity of humus C			HA FA
	HA-C		FA-C		Humin-C		HA	FA	Humin	
	盈亏值 Value	占总盈亏% Of total value	盈亏值 Value	占总盈亏% Of total value	盈亏值 Value	占总盈亏% Of total value				
原 土 Raw soil	—	—	—	—	—	—	1.35 15.5	2.60 29.9	4.75 54.6	0.519
0	-0.33 24.4	-14.7	-1.24 47.7	-55.6	-0.66 13.9	-29.6	1.02 15.8	1.36 21.0	4.09 63.2	0.750
I	-0.13 9.6	-27.1	-0.02 0.8	-4.2	-0.33 6.9	-68.8	1.22 14.8	2.58 31.4	4.42 53.8	0.473
II	0.35 25.9	43.2	0.43 16.5	53.1	0.03 0.6	3.7	1.70 17.9	3.03 31.9	4.78 50.3	0.561
III	0.16 11.9	23.9	0.48 18.5	71.6	0.03 0.6	4.5	1.51 16.1	3.08 32.9	4.78 51.0	0.490
IV	0.12 8.9	23.5	0.41 15.8	80.4	-0.02 0.4	-3.9	1.47 16.0	3.01 32.7	4.73 51.4	0.488

1) 分子为绝对含量 (C g/kg), 分母为占腐殖质碳总量的%。

敏素较少。但因仅施化肥处理残体自然还田较多,在短期内只能较多地补偿富啡酸组分,对胡敏酸的补偿较少,对胡敏素的补偿则更少^[7]。因此,表观上看富啡酸亏缺最少,而胡敏素亏缺最多。这虽然只是土壤腐殖质更新过程中的现象,但常此下去对维持土壤肥力是不利的^[7,11]。施有机肥的处理,腐殖质碳盈余分布因有机物料种类不同而不同。施稻草和稻草加土粪的处理,盈余碳的70—80%补偿给了富啡酸组分,分配到胡敏酸的碳不到总余额的1/4。与此相比,施土粪不加稻草,盈余碳分配到胡敏酸中的比例明显增加,而分配到富啡酸中的比例相应减少。所有施有机肥料的处理,短期内有机碳盈余均对胡敏素组分贡献不大,说明富啡酸和胡敏酸向着胡敏素转化需要一个相当长的过程。只施稻草不加土粪,在有机碳总量盈余的情况下,胡敏素反而略微亏缺,可能是由于该组分的激发分解与积累补偿不相平衡之故。

不同施肥处理的土壤其有机碳盈亏分布均未改变原土胡敏素>富啡酸>胡敏酸的趋势,但明显改变了HA/FA(表6)。这是因为矿化消耗的富啡酸多于胡敏酸,而不同施肥处理的有机质积累的归宿则不是这样。以“自然归还”和稻草的全部或部分给源者主要补偿了富啡酸,而仅以土粪为给源者则相当多地补给了胡敏酸。因此,仅施化肥和稻草还田的处理,HA/FA值变小,施土粪不加稻草则这个比值变大。致于不施肥者,由于富啡酸大量分解而得到补偿甚少,所以HA/FA值明显变大。以上结果表明麦、稻根茬和稻草为主要来源的腐殖质和土粪为主要来源的腐殖质缩合程度有一定差异,由此推知新形成的腐殖质的活性也有所不同^[6,9]。

三、结 语

1. 连年不施化肥: 重组有机质大量分解, 有机无机复合体严重破坏, 且在短期内分解消耗的主要是松结态及易分解的腐殖质组分。因此将会引起土壤结构性变差和供肥能力降低。

2. 仅施化肥: 即使维持较高的生产力水平, 土壤有机质仍然呈轻微的亏缺平衡。亏缺碳较多地来自轻组, 因此复合体遭到的破坏较轻。由于高产条件下残体“自然归还”的补偿, 表观上松结态有机碳尚有盈余, 亏缺主要由稳结态和紧结态有机质供出; 在腐殖质各组分中, 有机碳总亏缺量的绝大部分由胡敏素提供, 标志着土壤腐殖质较深刻地更新。因此, 仅施化肥短期内可能不致引起土壤性状严重破坏和供肥能力显著降低, 但长期的有机质亏缺其后果是不好的。

3. 大量土粪与化肥配合施用: 土壤有机质平衡盈余, 但有机无机复合度略有降低, 增值复合度也不如施稻草高。盈余的土壤有机碳相当大的比例在稳结态和紧结态复合体中积累, 形成的胡敏酸较多, 富啡酸的比例比施稻草少。因此施土粪虽然可以较多地增加土壤有机质, 但提高有机无机复合度和增加活性腐殖质的效果不如施稻草好。

4. 稻草或稻草加土粪与适量化肥配合施用: 土壤有机质盈余可以明显提高有机无机复合量、复合度和增值复合度。新形成的腐殖质以富啡酸为多; 重组有机碳盈余主要在松结态复合体中积累, 因而有利于土壤有机质积极参与周转和改善土壤供肥能力。

参 考 文 献

1. 姜岩, 窦森, 1987: 土壤施用有机物料后重组有机质变化规律的探讨。土壤学报, 第24卷2期, 98—104页。
2. 关连珠等, 1990: 有机肥料配施化肥对土壤有机质组分及生物活性影响的研究。土壤通报, 第21卷4期, 180—184页。
3. 马成泽, 1989: 肥料配合施用对农田生产力和土壤有机质平衡的影响的研究。国际平衡施肥学术讨论会论文集, 446—451页, 农业出版社。
4. 熊毅等, 1985: 土壤胶体(第二册), 54—67页, 科学出版社。
5. 严昶生, 1988: 土壤肥力研究方法。124—129页, 农业出版社。
6. 杨东方, 李学垣, 1987: 几种绿肥、秸秆还田对土壤有机无机复合状况的影响。中国农业科学, 第20卷5期, 55—63页。
7. Greenland D. J. (杜荣民译), 1987: 土壤有机质与作物营养和土壤管理的关系。土壤学进展, 第15卷1期, 45—49页。
8. W. Flaig, 1982: International Congress of soil science, Symposia Papers 1:115—122.
9. Sauerbeck, D. R., Johnen, B. G., 1977: Soil Organic matter studies, Proceedings of a Symposium Volume I: 141—292.
10. Tisdall, J. M., Oades, J. M., 1982: Journal of Soil Science, 33(2): 141—163.

SURPLUS-DEFICIT DISTRIBUTION OF ORGANIC CARBON IN SOIL UNDER COMBINED FERTILIZATION

Ma Chengze

(*Anhui Agricultural College, 230036*)

Zhou Qin

(*Soil and Fertilizer Station, Lu-an Administrative Office*)

He Fang

(*Anhui Agricultural College*)

Summary

This paper reports the surplus-deficit distribution of organic carbon (O.C.) in soil obtained through a 4-year field experiment with different treatments of fertilization. Results show that there was severe deficit in the balance of soil organic carbon without fertilization, which caused the produce of loosely combined organic-mineral complexes and lowly condensed humus. Application of chemical fertilizer alone temporarily kept higher productivity of soil and lost not much of organic carbon in soil. The loss of O.C. under this condition mainly came from the appearance of the stably and tightly combined organic-mineral complexes and highly condensed humus. Even though there was a decrease of total soil O.C., because of the compensation of crop residues naturally returned to field, there still was surplus of loosely combined O.C. little loss of fulvic acid and a great loss of humic acid and humin were observed in this case. It seems that fertilizer actually promoted the renewal of soil humus and resulted in less undesirable influence on soil complex and nutrient-supplying ability in a short time. There was surplus balance of soil O.C. in field when organic materials were combined with chemical fertilizers. Large amount of manure applied in field made the surplus O.C. almost averagely distributed among loosely, stably, and tightly combined complexes. However, the increase of soil O.C. still could not markedly improve the activity of humus. The accumulation of O.C. was mainly in the form of fuvic acid distributed among loosely combined organic-mineral complexes when straw was added. This promoted the activity and cycle of soil humus, and enhanced the property of nutrient supply capacity.

Key words Field fertilization, Soil organic carbon, Surplus, Deficit, Distribution