

近 20 年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势

黄耀 孙文娟

(中国科学院大气物理研究所边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095. E-mail: huangy@mail.iap.ac.cn)

摘要 调研并分析了中国大陆 1993 年以来关于区域农田土壤有机碳变化的文献 200 余篇. 为了客观评价中国大陆农田有机碳的变化, 从中选出 132 篇具有代表性的文献, 这些文献涵盖了不同地区 60000 余个土壤样品的测定结果. 分析结果表明, 近 20 年来占中国大陆农田面积 53%~59% 的土壤有机碳含量呈增长趋势, 30%~31% 呈下降趋势, 4%~6% 基本持平. 进一步分析结果指出, 中国大陆农田表土有机碳贮量总体增加了 311.3~401.4 Tg. 其中, 华东和华北地区增加明显, 但东北地区呈下降趋势. 有机碳含量增加明显的土壤类型为水稻土和潮土, 黑土下降显著. 有机碳含量增加主要归因于秸秆还田与有机肥施用、化肥投入增加与合理的养分配比以及少(免)耕技术的推广; 黑土区有机碳含量下降的主要原因是水土流失和投入不足. 为了有效地促进农田土壤碳固定, 最大限度地遏制东北地区土壤有机碳下降的趋势, 未来应通过配套技术的研究、农户培训和政府补贴等措施, 进一步推广秸秆还田、平衡施肥、少(免)耕等保护性耕作措施, 加大水土流失的综合治理力度. 与此同时, 为了应对后《京都议定书》时代对中国可能产生的减排压力, 未来需加强 4 个方面的研究: (1)第二次土壤普查期间及目前中国农田土壤有机碳贮量, (2)由自然因素和人为因素控制的农田土壤有机碳变化机理, (3)增加土壤碳固定及减少碳损失的有效途径, (4)农田土壤的固碳潜力及未来演变趋势.

关键词 中国 农田 表土 有机碳 变化

全球土壤有机碳贮量约为 1550 Pg^[1], 是大气碳库的 2 倍, 陆地生物质碳库的 2~4 倍^[2,3]. 与自然土壤相比, 农田土壤在全球碳库中最活跃. 在自然因素和农业管理(如: 耕作、施肥和灌溉)的作用下, 农田土壤碳库在不断地变化. 这种变化不仅改变土壤肥力, 而且影响区域乃至全球碳循环. 土壤肥力直接决定了农作物生产力的高低及其稳产性^[4], 而碳循环过程与大气中温室气体浓度及全球变暖密切相关^[5].

中国是一个农业大国, 以不到世界耕地面积的 7% 养活了超过世界五分之一的人口. 随着人口的不断增加, 耕地面积的逐年减少以及人们对全球变暖的关注, 国际社会自上世纪 90 年代以来对中国农业土壤碳库变化产生了浓厚的兴趣^[6,7]. 李长生^[7]根据 1990 年的气象及土地利用数据, 用一个生物地球化学模型 DNDC 对美国和中国农业生态系统中土壤有机碳的动态进行了全国范围的预测. 其模型模拟结果表明, 美国农业土壤每年净增 72.4 Tg 碳, 而中国农业土壤每年丢失 73.8 Tg 碳. 中国学者对近 20 年来中国不同区域农田土壤有机碳的变化也进行了不少的研究. 在中国科学院知识创新工程重大项目“中国

陆地和近海生态系统碳收支研究”^[8]和国家重点基础研究发展规划“土壤质量演变规律及持续利用”的资助下, 中国学者于 2000 年在全国第二次土壤普查的剖面附近采集土壤样品进行了分析. 南京土壤研究所史学正和于东升¹⁾对这些测定结果的分析表明: 近 20 年来, 华北潮土、太湖水稻土及南方红壤典型区土壤有机碳含量总体上升, 而东北黑土区呈总体下降趋势. 俞海等人^[9]分析了上述项目的部分数据后指出: 江苏和浙江农田($n=100$)有机质含量明显上升, 华北($n=40$)略有改善, 东北($n=40$)特别是黑龙江下降幅度较大. Pan 等^[10]综合分析了农业技术推广总站的数据后指出, 与旱田相比, 中国大陆稻田有机碳贮量增加了 0.28 Pg. 张世熔等人^[11]通过分析河北省曲周县 124 个样点 1980 年和 2000 年耕层土壤的有机质含量, 得出的结论是该县土壤有机碳含量比 1980 年增加了 2.38 g·kg⁻¹. 郭建华等人^[12]在 1982 年土壤普查的基础上, 于 1996 年在河北省境内 11 个地(市)的主剖面采集 10310 个土壤样品进行分析测定. 他们的结果表明: 11 个地(市)中有 9 个地(市)土壤有机碳含量明显增加, 1 个持平, 1 个下降. 我们基于自行开发

1) 史学正, 于东升. “全国土壤有机碳储量及其动态变化”专题进展报告. 2004

的土壤有机碳动态模型^[13,14],以空间化的土壤基本性状、气候条件、作物产量和农作措施等为基本输入数据,对江苏省 2000 年农田土壤有机碳进行了模拟.结果表明:自第二次土壤普查以来,全省 77% 的农田土壤有机碳含量有所增加^[15].

虽然国内学者从村、乡(镇)、县(市)、地(市)及省(市、自治区)的尺度上以及不同的土壤类型等对土壤有机碳的变化趋势进行了大量的研究,但迄今为止仍缺乏对全国尺度的认识.本文试图通过大量文献资料的整理、归纳和分析,对中国大陆近 20 年来农田土壤有机碳的变化进行评述,为制定农田土壤管理政策、促进土壤碳固定和减少碳损失提供依据.

1 资料来源

通过对中国期刊网和维普科技期刊网收录文献的检索,共获得中国大陆 1993 年以来关于区域农田土壤有机碳变化测定结果及演变趋势的文献 200 余篇.为客观评价近 20 年来中国大陆农田土壤有机碳含量的变化趋势,本文对查阅的文献资料进行了筛选,选择标准为:(1)参比年以全国第二次土壤普查为主;(2)有机质测定方法与全国第二次土壤普查相同;(3)具有多点采样测定或具有明确的采样点覆盖范围,高产栽培示范区的土壤有机碳变化测定结果未计入;(4)样品采自耕层土壤.满足上述标准的有效文献共计 132 篇,参比年份最短的为 6 年,最长的为 24 年.其中:参比年份 6~10 年的占 10%、11~15 年的占 34%、16~20 年的占 46%、21~24 年的占 10%.总样本(点)数 60000 余个(见表 1),空间分布见图 1.有效文献中有的表达为土壤有机质含量,有的表达为有机碳含量.为一致起见,本文统一用 0.58 将土壤有机质含量折算为有机碳含量.

2 分区评述

表 1 为中国大陆农田 SOC 含量变化趋势汇总结果.以下对华北、东北、华东、华中、华南、西南和西北区分别评述.

2.1 华北区(北京、天津、河北、山西和内蒙古)

除内蒙古辖区阿荣旗^[30,31]外,其余 4 省(市)SOC 含量总体呈上升趋势.张有山^[16]对北京市域范围 1107 个样本的测定结果表明,1980~1990 年间约 78% 的样本 SOC 含量上升.俞海等人^[9]也报道了类似



图 1 样本空间分布图

的结果,即:1980~2000 年间北京市 20 个样点中有 19 个样点 SOC 含量上升.天津市农委^[21]对 12 个区(县)的 7119 个土壤样品的分析表明,1980~1991 年间该市 SOC 含量总体上升,其后陈子学等^[22]的结果表明,1980~1999 年间全市 10 个长期监测点中 8 个点 SOC 含量上升.郭建华等^[12]对河北省所辖 11 个地(市)10310 个土壤样品测定结果分析表明,1982~1996 年间 9 个地(市)的 SOC 含量上升.山西省辖区泽州县 16 个乡镇的 SOC($n=211$)全部上升^[29],阳城县 5 种类型褐土(70 个监测点)中 2 种上升,3 种下降,但总体变化不大^[28].较其他土壤类型相比,华北潮土区 SOC 含量增长明显^[17].内蒙古辖区阿荣旗农田土壤类型主要为黑土、暗棕壤、草甸土和沼泽土,基础土壤 SOC 含量较高,从 1982 年的 $39.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 下降到 2002 年的 $26.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[30].

2.2 东北区(黑龙江,吉林,辽宁)

黑龙江和辽宁省近 20 年来 SOC 含量下降明显^[17,32],吉林省变化不大^[39].1982~2000 年间,黑龙江省北安和海伦市典型黑土区 126 个采样点中有 121 个的 SOC 含量明显降低^[17].张兴义等¹⁾最近对 3000 余个黑土耕层样本的测定结果表明,从第二次土壤普查到 2002 年,黑龙江黑土耕层土壤有机碳含量下降了 $2.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.杨学明等^[39]对吉林省长春、榆树、德惠、九台、双阳和公主岭等地 27 个样点的分析指出,1980~2002 年间 SOC 有增有减,但平均含量无明显

1) 张兴义等.未公开发表数据

表 1 中国大陆农田表土有机碳含量变化趋势汇总

区域(省、市、自治区)	测定地区	参比年份	样本(点)数 ^{a)}	代表性	覆盖面积 ×10 ⁴ /hm ²	土壤类型	变化趋势			20年SOC		文献
							上升	持平	下降	增量	减量	
华北	北京	1980~1990	1107	市级	34.40	潮土,褐土	862	0	245	2.48	[16]	
	全市	1980~2000	(20)				19	0	1	1.41	[9]	
	大兴县	1982~2000	297	县域	5.96	潮土	256	0	41		[17]	
	大兴县	1982~2000	267	县域		潮土	√			2.36	[18]	
	通州区徐辛庄镇	1979~1998	252	镇域	0.35	潮土	√			2.32	[19]	
	海淀区	1980~2000	104	粮田	0.15			√		-1.28	[20]	
	全市	1980~1991	7119	12个区(县)	48.60			√		0.95	[21]	
	全市	1980~1999	(10)	10个监测点		潮土	8	0	2	3.11	[22]	
	蓟县	1982~1997	126	县域	1.30		√			2.13	[23]	
	全省	1982~1996	10310	11个地市	688.30		9	1	1	1.32	[12]	
河北	全省	1980~2000	(20)				18	0	2	2.12	[9]	
	深城县	1979~2000	278	8个乡镇	3.05	潮土	8	0	0	3.31	[24]	
	曲周县	1980~2000	79	县域	4.97	潮土	72	0	7		[17]	
	曲周县	1980~2001		县域		潮土	√			2.14	[25]	
	曲周县	1980~2000	124	县域		潮土	√			2.38	[11]	
	遵化县	1980~1999	124	县域	5.80	褐土,潮土	√				[26]	
	大名县	1982~1997	108	县域(17个村)	7.50	潮土	√			0.46	[27]	
	阳城县	1984~1994	70	5种土壤	3.97	褐土	2	0	3	-0.05	[28]	
	泽州县	1979~1994	221	16个乡镇	4.80	褐土	16	0	0	2.09	[29]	
	内蒙古	阿荣旗	1982~2002	597	旗域	31.25	暗棕壤,黑土,草甸土,沼泽土		√		-12.53	[30]
东北	阿荣旗	1979~1993	1200	旗域				√			[31]	
	全省	1979~1999	5551	省域(8个市)			2	0	6		[32]	
	全省	1979~1999	5551	6个土种	417.50	水稻土,草甸土,棕壤,褐土	1	0	5	0.29	[32]	
	全省	1988~1994 ~1997	959	23个土壤肥力监测点			√				[33]	
	葫芦岛市	1982~1995	383	2个县(市)		草甸土,棕壤	1	0	1		[34]	
	沈阳市	1980~1990	996	市级				√			[35][36]	
	喀左县	1981~1997	40(3)	3个土种	4.36	棕壤,褐土,草甸土	3	0	0	6.09	[37]	
	阜新县	1981~1999	224	33个乡镇(镇)	17.64	褐土,草甸土	√			1.01	[38]	
	全省	1980~2002	(27)	省域	83.19	黑土	13	0	14	0.37	[39]	
	全省	1980~2000	20	省域		黑土		√		-0.91	[9]	
黑龙江	公主岭	1982~2000	82	市级			10	0	72		[17]	
	榆树市弓棚镇	1990~1998	215	镇域			√				[40]	
	全省	1980~2000	20	省域	360.60	黑土		√		-7.21	[9]	
	全省	1982~2002	3000	省域		黑土				-2.49 ^{b)}	[9]	
	北安市	1982~2000	39	市级,黑土	9.09		0	0	39		[17]	
	海伦市	1982~2000	87	市级,黑土	24.92		5	0	82		[17]	

表 1 续

区域	省(市、自治区)	测定地区	参比年份	样本(点)数 ^{a)}	代表性	覆盖面积 ×10 ³ /hm ²	土壤类型	变化趋势			20 年 SOC 增量		文献
								上升	持平	下降	增加量 /g·kg ⁻¹	减少量 /g·kg ⁻¹	
华东	上海	饶河县	1983~1997		县域, 黑土	3.60			√			[41]	
		全市	1982~2000	(6)	6 个区(县)	31.50	水稻土		6	0	0	1.98	[42]
江苏	宝山区	金山区	1980~1995	73	12 个乡镇(镇)	1.52			12	0	0	1.39	[43]
			1980~2001~02	128	区域	3.20					√		[44]
	全省	无锡市	1980~2000	80	省域, 79 个监测点	506.17	水稻土		69	0	11	3.76	[9]
			1985~1996	(79)	4 个县(市)	17.54	水稻土		√				4.30
	丹阳市	宜兴市	1982~1996	(4)	4 个区	5.58	水稻土		4	0	0	2.15	[46]
			1983~1999	71	4 个区	6.58	水稻土		3	0	1	2.69	[47]
	南通市	金坛市	1982~1999	105	市域	4.63	水稻土		√			6.82	[48]
			1984~2000	40	市域	48.32	水稻土, 潮土, 滨海盐土		√			4.71	[49]
	江阴市	如东县	1982~1997	204	市域	5.18			√			1.62	[50]
			1981~1996		市域	11.03			√			3.46	[51]
新曹农场	淮海农场	1982~1997	1239	县域		滨海盐土		√			1.57	[52]	
		1980~2000	181				√				0.35	[53]	
浙江	无锡甘霖乡	昆山市	1980~1997	77	乡域	0.50	滨海盐土		√			3.10	[54]
			1983~2000		市域	0.13	水稻土		√			2.12	[55]
	启东市	嘉兴平原	1981~1997	133	市域	4.70	潮土, 滨海盐土			√		-1.23	[56]
			1980~1996	50	市域	7.05				√		-1.02	[57]
	萧山市	苍南、嵊州、金华市	1982~1995	729	市域	5.57	水稻土		√			2.32	[58]
			1982~1995	234	市域	23.75	水稻土		√			2.32	[59]
	金华市	金华市	1982~2002	90	水稻土	18.00	水稻土等		√			0.29	[60]
			1981~1999	270	市域				√			0.77	[61]
	金华市	海盐县	1980/81~98/99	715	市域	2.38				√		-0.24	[62]
			1981~2000		县域	11.79	水稻土		√			4.82	[63]
乐清市	慈溪市	1982~1997		市域	16.75	潮土, 滨海盐土		√			5.65	[64]	
		1981~2002	(6)	旱地 6 个土种	2.72	水稻土		5	0	1	1.13	[65]	
绍兴市	宁波市	1983~2002	30	市域	21.64	水稻土		10	0	20	-0.43	[66]	
		1983~1999/2000	159	9 个区(县)					√		1.09	[67]	
安徽省	含山县	1984~1998	60	3 个土种	4.80	水稻土, 褐土		2	0	1	6.63, -2.07	[68]	
		1984~2002	20	3 种土壤类型	12.07	水稻土, 姜砂黑土, 潮土		2	0	1	1.87, -0.52, 2.06	[69]	
灵璧县	寿县	1984~2002	192	4 个土种	11.70	水稻土		4	0	0	4.08	[70]	
		1984~1998	66	12 个主要土种	46.60	水稻土, 黄棕壤		10	1	1	1.33, 2.90	[71]	
祁门县	池州市贵池区	1984~1999	20	3 个土种	1.33	水稻土		1	0	2	-2.11	[72]	
		1984~1999	(5)	5 个土种	2.96	水稻土, 潮土		3	0	2	11.99, -8.20	[73]	
长丰县	阜阳市	1981~2003		县域	9.00	潮土		√			1.00	[74]	
		1984~1994	291	市域	133.30	潮土		√			1.39	[75]	
滁州市	滁州市	1982~1997	84	市域	40.70			√			2.47	[76]	

表 1 续

区域	省(市、自治区)	测定地区	参比年份	样本(点)数 ^{a)}	代表性	覆盖面积 ×10 ⁴ /hm ²	土壤类型	变化趋势			20 年 SOC 增减量		文献
								上升	持平	下降	/g·kg ⁻¹		
华中	湖北	黄冈县钱庙乡	1982~1998	34	乡域	0.35	潮土,水稻土,黄棕壤	√			1.81	[77]	
		荆门市居巢区	1985~2000	200				潮土		√			[78]
		全省	1984~1998	517	27 个县		143.47			√			[79]
		龙岩市	1984~1998	420	4 个土种		13.03	水稻土	3	0	1	5.22	[80]
		福安市	1984~1993	1221	4 个土种		2.35	水稻土	√			9.05	[81]
		光泽县	1984~2000		县域(水田)		1.23	水稻土	√			1.38	[82]
		建阳市	1984~1998		市域		2.85		√			0.99	[83]
		永安市安砂镇	1982~2001	50	镇域			水稻土	49	0	1		[84]
		全省	1981~1997	207	省域		299.34	水稻土	√			4.42	[85]
		南昌、新干、兴国县	1981~1997	142	9 个土种		13.90	水稻土	9	0	0	5.80	[86]
华南	广东	南昌、新干等 8 个县(市)	1981~1997	207			水稻土	√				[87]	
		南昌县	1981~1997	60	县域	7.21	水稻土,红壤	√			7.18	[88]	
		兴国县	1981~1997	40	县域	3.12	水稻土,红壤	√			7.66	[89]	
		淄博市桓台县	1982~1998	618	县域	3.19	褐土,砂姜黑土,潮土	√			1.42	[90]	
		开封市	1984~1998	31	6 个土种		36.30	水稻土	1	1	4	-0.93	[91]
		开封市	1982~1998	62	城乡结合部		3.89	潮土,风沙土	44	0	18	1.78	[92]
		滑县	1985~2000	300	4 个土种		12.09	潮土	4	0	0	5.10	[93]
		郑州市郊区	1982~2003	105	4 个土种		9.40	潮土,褐土	√			3.84	[94]
		安阳市	1995~2002	128	6 个县(市)		36.30	潮土,褐土	√			4.00	[95]
		三湖农场	1981~2000	262			0.38		√			-6.43	[96]
西南	四川	桃源县	1979~2003	253	稻田	4.95	水稻土	√			3.50	[97]	
		桃源县	1979~2003	85	旱地		红壤等	√			1.58	[97]	
		宁乡县	1979~2002	(2)	县域	8.48	水稻土,红壤	√			5.01	[98]	
		湘阴县	1980~2003	(9)	9 种稻田土壤		2.35	水稻土	√			-0.40	[99]
		湖北丘岗区 20 个县(市)	1978~1991	300	300 个村		85.52		√		1.34	[100]	
		祁东县紫云村	1983~2001		村域			红壤		√			[101]
		全省	1985~1999	241	水田				94	111	36		[102]
		全省	1985~1999	23	旱地				8	13	2		[102]
		全省	1980~1990	419	水田		327.22		202	2	215	-0.81	[103]
		全省	1990~1995	150	水田				99	0	51		[103]
华南	广西	白云区	1980~2002	(12)	12 种水稻土	0.99	水稻土	√			0.37	[104]	
		桂林市	1979~1998	3536	13 个区(县)	20.34	水稻土	11	0	2	1.71	[105]	
		桂林市	1980~1998	663	10 种水稻土			水稻土	9	0	1		[106]
		灌阳县				1.20	水稻土					4.95	[107]
		宾阳、百色、柳江	1981~2001	107	县(市)域	15.60		√				2.15	[108]
		邕县	1981~2002	46	5 种水稻土		2.53	水稻土	4	0	1	0.99	[109]
		成都	1985~1991	(4)	4 个区(县)				2	0	2		[110]
		雨城区	1981~2002	55			2.35		√			2.14	[111]
		温江、眉山、中江、泸县、蓬安	1984~1998	(11)	11 个国家土壤监测点		37.59	水稻土,紫色土,黄壤	7	0	4	1.73	[112]

表 1 续

区域	省(市、自治区)	测定地区	参比年份	样本(点)数 ^{a)}	代表性	覆盖面积 ×10 ⁴ /hm ²	土壤类型	变化趋势			20 年 SOC 增减量 /g·kg ⁻¹		文献
								上升	持平	下降			
贵州		梓潼县	1980~2000	(17)	17 个测定点(10 个乡镇)	3.36	紫色土及相应水稻土	6	1	10	-1.07	[113]	
		资中县	1983~2000	(17)	17 个测定点(14 个乡镇)	6.80					√	-1.00	[114]
		犍为县	1981~2000	(17)	县域	7.96					√	-1.21	[115]
		全省	1985~2002	310	省域	490.35		水稻土,石灰土	√			2.32, -1.77	[116]
		全省 63%县(市、区)	1985~1998	149	水田(54 个县市)	97.31		水稻土	√			3.03	[117]
		全省 63%县(市、区)	1985~1998	161	旱地(54 个县市)	211.61		石灰土			√	-2.32	[117]
		紫云、乌当等 7 个县(区)	1989~1995	(7)	7 个国家(省)土壤监测点	155.02		水稻土	5	1	1	2.55	[118]
		湄潭县新石乡	1980~2001	59	乡域	0.05		水稻土	√			8.56	[119]
		渭南市渭北塬	1980~1995	157	6 个县(市)	37.00		黑垆土,黄绵土	6	0	0	0.85	[120]
		长武县	1993~2002	59	县域	2.60		黑垆土	√			2.37	[121]
陕西		泥河沟流域	1981~1998	46	小流域		黑垆土	√				[122]	
		全省	1982~1996	(4)	4 种土壤类型(9 个监测点)	502.47		黑垆土,黄绵土,灌漠土,灰钙土	4	0	0	1.95	[123]
		陇南地区	1988~2002	1031(6)	6 个县			黑垆土,黄绵土	1	0	5		[124]
		甘谷县	1985~2000	1007	5 个区	5.98		黑垆土,黄绵土	4	0	1	1.47	[125]
		庆阳地区	1982~2000	36	3 个县	17.00		黑垆土	3	0	0	0.19	[126]
		张掖市	1986~1999	30	绿洲灌区	8.33		灰钙,栗钙,黑钙土	√			3.07	[127]
		互助县	1982~1992/96	160	4 个区(16 个乡镇)	5.03		灌淤土,灰钙土,栗钙土,黑钙土	4	0	0	3.42	[128]
		渭水流域	1981~2000/01	81	9 个区(县)	38.00		黑钙土	6	1	2	2.49	[129]
		湟中县	1986~2001	300	县域	6.07		黑钙土,栗钙土,灌淤土	√			6.58	[130]
		银南灌区	1984~1993	500	6 个县(市)	8.91		黑钙土,栗钙土,灌淤土	2	1	3	-0.10	[131]
宁夏		河套区	1989~1997	111	3 个县	0.40		3	0	0	2.18	[132]	
		河套区	1989~1998					√			3.19	[133]	
		永宁县	1981~1993	315	县域	3.59			√		1.09	[134]	
		全自治区	1986~1993	773	自治区区域	398.60			530	0	243		[135]
		全自治区	1982~2000/01	388	26 个县和国营农场			棕钙土,灰漠土,潮土	√				[136]
		巴音郭楞蒙古自治州	1982~1998	4207	6 个县(市)	12.85			2	0	4	-0.71	[137]
		麦盖提县	1982~1999	712	县域	2.60		潮土,灌淤土	√			2.22	[138]
		和静县	1982~2000	1460	县域				√				[139]
		阿克苏地区	1982~2001		县域	52.26		潮土,灌淤土,草甸土	√			0.92	[140]
		哈密地区	1981~1996	185	3 个县(市)	4.95		灌耕棕漠土,潮土	√			0.73	[141]
新疆		沙湾县	1981~1996	263	12 个乡镇(场)			113	20	130		[142]	
		轮台县	1982~1996	416	县域	1.47		棕漠土,草甸土,灌淤土	√			-3.14	[143]
		伊宁市	1981~2001		市域	1.58			√			-0.81	[144]

a) 括号内为样点数、县(市)数或土种数; b) 张兴义等, 未公开发表数据

变化。陈洪斌等^[32]对辽宁省 8 个市 5551 个土壤样品的测定结果显示: 1979~1999 年间, 沈阳、锦州、阜新、铁岭、辽阳和朝阳 6 个市的 SOC 含量下降, 而葫芦岛和丹东市($n=1031$)总体呈上升趋势。下降趋势明显的农田土壤为黑土、草甸土、棕壤、褐土和潮土, 水稻土略有增长。

2.3 华东区(上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东)

除福建省所辖样本区 SOC 含量基本持平外, 其余 6 省(市)均呈总体上升趋势。上海市 6 个区(县)的 SOC 含量全部上升^[42]。刘林旺和王绪奎^[45]对江苏省 5 个国家级和 74 个省级监测点的资料分析显示, 1985~1996 年间, 土壤有机碳以每年 $0.13 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的速率上升。俞海等^[9]指出江苏省 1980~2000 年间 80 个样点中有 69 个上升, 占 86%。浙江省辖区嘉兴平原^[58]及萧山^[59]、金华^[61]、乐清^[64]、慈溪等市^[65]总体上升, 宁波市水稻土变化不大^[67]。安徽省辖区六安^[71]、阜阳^[75]、滁州^[76]市均呈增加趋势。1981~1997 年间江西省域 10 个县(市)207 个水稻土样品的 SOC 含量平均增加了 $3.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[85], 该省南昌、新于和兴国等县亦呈增加趋势^[86,87]。山东省淄博市桓台县($n=618$) 1982~1998 年间 SOC 含量总体增加^[90]。周琼华和陈维高^[79]对福建省 27 个县 517 个样本分析表明, 与 15 年前相比 1998 年 SOC 含量基本持平。

2.4 华中区(河南、湖南、湖北)

河南和湖南两省 SOC 含量明显增加。河南省开封市城乡结合部 1982~1998 年间有 71.4% 采样点 SOC 含量上升^[92], 安阳市所辖 6 个县(市)128 个监测点 1995~2002 年间平均增加了 $1.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[95]。湖南省桃源县是中国典型中亚热带红壤丘陵代表地区。黄道友等^[97]对 338 个稻田和旱地样本测定的结果表明: 2003 年桃源县稻田 SOC 均值分别比 1990 年和 1979 年提高 16.8% 和 35.6%; 旱地分别提高 16.3% 和 21.6%。1991 年湖南省常德、益阳、岳阳和长沙 4 个地(市)300 个村的农田 SOC 均值比 1978 年提高了 6.5%^[100]。从文献中仅获得湖北省三湖农场的测定结果, 覆盖面积为 0.38 万hm^2 ($n=262$), 约占湖北省农田面积的 0.05%, 虽然周世寿等^[96]报道该农场近 20 年来 SOC 含量总体下降, 但湖北全省的整体变化趋势难以由此推断。

2.5 华南区(广东、广西、海南)

近 20 年来广东和广西两省区农田 SOC 含量表现

出稳中趋升的态势。张育灿^[103]指出 1980~1990 年间广东省水田 SOC 下降了 2.7%, 而 1990~1995 年间有 65.5% 的监测点呈上升趋势。汤建东等^[102]的研究表明, 1985~1999 年间广东省 241 个水田监测点中 39% 显著上升, 46% 基本持平, 15% 显著下降; 23 个旱地土壤监测点中 35% 显著上升, 56% 基本持平, 9% 下降。蒋毅敏^[105]对广西省桂林市 13 个区(县)3536 个样本的水稻土分析发现 1979~1998 年间有 11 个区(县)升高, 刘明等^[107]测定了灌阳县 30 个水稻土种计 253 个样本后指出, 21 个水稻土种的有机碳含量在 1979~1998 年间上升, 黄文校^[108]对宾阳、百色、柳江等市 107 个样点的测定结果也表明 SOC 含量与 20 年前相比平均增加了 $2.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。因缺少海南省的文献资料, 其变化趋势难以评述。

2.6 西南区(贵州、四川、云南、西藏)

近 20 年来贵州和四川两省采样区农田 SOC 含量有升有降。翟琨和向东山^[116]对贵州省 310 个耕层土样的分析表明, 1985~2002 年间水田 SOC 含量总体增加, 旱地明显减少。陈旭晖^[117]分析了贵州省 54 个县(市)SOC 含量的变化趋势指出, 1985~1998 年间 149 个水稻土样本中有 139 个 SOC 含量增加, 而同期 161 个旱地土壤样本中 144 个总体下降。四川省郫县^[109]和雨城区^[111]水稻土 SOC 含量明显上升, 其他地区如梓潼^[113]、资中^[114]、犍为^[115]等县均有不同程度下降。总体而言, 贵州、四川两省水稻土 SOC 含量增加显著, 而旱地土 SOC 含量明显下降。因缺少云南和西藏的文献资料, 其变化趋势难以评述。

2.7 西北区(甘肃、青海、宁夏、新疆、陕西)

本区土壤采样点主要分布于灌区, 近 20 年来农田 SOC 含量表现为总体上升趋势。甘肃省 9 个监测点(4 个位于灌区)涵盖的 4 种土壤类型 SOC 含量均有不同程度增加^[123], 其中张掖市灌区土壤增长幅度较大, 15 年间增加了 $1.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[127]。曾桂兰^[128]对青海互助县 160 多个土样的分析表明, 1982~1996 年间该县 4 个区 SOC 均升高; 陈占全等^[129]对该省湟水流域 9 个区(县)的土壤样品分析指出: 1981~2001 年间有 6 个区(县)的 SOC 含量增加。宁夏银南灌区 6 个县 1984~1993 年间 SOC 平均含量总体变化不大^[131], 河套区 3 个县近 10 年来均有增加^[133]。新疆维吾尔自治区农业厅土肥站对全疆 773 个土壤肥力监测点的测定分析指出, 全区 1986~1993 年间 773 个样点中有 68.5% SOC 含量上升^[135]。姜益娟等^[136]对全区 26 个县

和国营农场 388 个土样的分析也表明, 1982~2001 年间新疆农田 SOC 含量呈上升趋势. 陕西省渭南市 6 个县(市)1980~1995 年间农田 SOC 均有不同程度的增加^[120], 长武县^[121]及泥河沟流域^[122]也呈总体增长趋势.

3 总体变化趋势

3.1 基于样本(样点)数的有机碳含量变化趋势

假定现有文献数据在各省(市、自治区)空间分布上具有代表性, 如: 北京市^[9,16], 河北省^[12], 辽宁省^[32], 江苏省^[9,45], 福建省^[79], 广东省^[102]和贵州省^[116,117]等. 或至少县(市、旗)域的测定数据能代表该省(市、自治区)基本变化趋势, 如: 内蒙古自治区所辖阿荣旗^[30], 湖南省所辖桃源县^[97]、宁乡县^[98]等. 我们对表 1 数据首先按大区用(1)式进行统计分析:

$$P_i = n_i / N, (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

式中, n_i 和 N 分别为该区内 SOC 上升、持平、下降的样本(样点)数和总样本(样点)数, P_i 则为相应的比例. 如华北地区 SOC 上升、持平和下降的样本数分别为 1190, 0 和 293(表 1), 则相应的比例分别为 80.2%, 0.0%和 19.8%. 对于样点数和文献中定性描述的结果(表 1 中的“√”)也分别采用同样的统计方法. 将三者结果平均, 得到各区近 20 年来 SOC 上升、持平和下降样本(样点)的比例.

从表 2 的结果可以看出: 近 20 年来, 华东、华北、西北、华南和华中地区所测定的土壤样本(样点)中有 60%以上的 SOC 含量增加, 其中华东地区增加比例最高, 为 81.8%(±3.7%). 西南地区约有一半土壤样本(样点)的 SOC 含量增加, 而东北地区则显示有 74.4%(±16.8%)的土壤样本(样点)SOC 含量下降.

表 2 中国大陆各区土壤有机碳含量变化样本数占该区总样本百分比^{a)}

地区	上升/%		持平/%		下降/%	
	平均值	标准差 (SD)	平均值	标准差 (SD)	平均值	标准差 (SD)
华东	81.8	3.7	3.4	4.8	14.8	4.5
华北	79.7	9.5	0.4	0.6	19.9	10.0
西北	73.4	15.4	1.9	1.9	24.6	13.9
华南	67.7	27.3	7.6	10.7	24.8	16.6
华中	62.5	11.1	7.0	6.1	30.4	9.0
西南	55.8	1.8	2.3	3.2	41.9	1.4
东北	19.4	7.9	6.3	8.8	74.4	16.8

a) 因缺乏文献数据, 华南区数据不包括海南省, 西南区数据不包括西藏和云南省

3.2 基于农田面积的有机碳含量变化趋势

根据联合国粮农组织(<http://faostat.fao.org/>)以及

《新中国五十年农业统计资料》^[145], 1980~1999 年中国大陆农田面积平均为 1.18 亿公顷. 利用表 1 的结果, 用(2)式估计各大区 SOC 上升、持平和下降的面积比:

$$A_i = P_i \times (S_j / S), (i=1, 2, 3) \quad (2)$$

式中, S_j 和 S 分别为该区内农田面积和全中国大陆农田面积, A_i 则表示 SOC 上升、持平和下降的面积占全中国大陆农田面积的比例. 仍以华北地区为例, 该区农田面积占全中国大陆农田面积的 15.8%, P_i 分别为 79.7%, 0.4%和 19.9%(表 2), 则该区内土壤 SOC 含量上升、持平和下降的面积分别占全中国大陆农田面积的 12.6%, 0.1%和 3.1%. 表 3 为各区(因缺乏海南、云南和西藏的文献数据, 故未纳入统计)的计算结果. 可以看出, 近 20 年来中国大陆农田 SOC 含量上升、持平和下降的面积分别占全中国大陆农田面积的 59.2%, 3.6%和 31.4%. 若用(2)式的方法按省(市、自治区)分别计算后累加, 则可得到相应的面积比为 53.2%, 6.1%和 34.9%, 与表 3 结果基本一致.

表 3 中国大陆各区土壤有机碳含量变化面积占全中国大陆总耕地面积百分比^{a)}

地区	上升/%		持平/%		下降/%	
	平均值	标准差 (SD)	平均值	标准差 (SD)	平均值	标准差 (SD)
华东	16.1	0.7	0.7	0.9	2.9	0.9
华北	12.6	1.5	0.1	0.1	3.1	1.6
西北	9.1	1.9	0.2	0.2	3.1	1.7
华南	4.0	1.6	0.4	0.6	1.5	1.0
华中	8.2	1.4	0.9	0.8	4.0	1.2
西南	6.0	0.2	0.2	0.3	4.5	0.1
东北	3.2	1.3	1.0	1.5	12.3	2.8
总计	59.2		3.6		31.4	

a) 同表 2

3.3 农田表土有机碳贮量变化

文献中测定的有机碳含量大部分采自 20 cm 土壤, 本文统一用该值作为农田表土深度. 参照 Pan 等^[10]的工作, 表土碳密度用下式估计:

$$\Delta D_{oc} = \Delta SOC \times \gamma \times 20 \times (1-F) \times 10^{-1}, \quad (3)$$

式中, ΔD_{oc} 和 ΔSOC 分别表示过去 20 年农田表土有机碳密度($t \cdot hm^{-2}$)和含量($g \cdot kg^{-1}$)的变化. γ 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$), F 为 >2 mm 石砾的比例. 表土碳贮量的变化则通过碳密度和农田面积用下式估计:

$$\Delta P_{oc} = \sum_i S_i \times \Delta SOC_i \times \gamma_i \times 20 \times (1-F_i) \times 10^{-1}, \quad (4)$$

式中 S_i 为给定土壤的面积(hm^2). 本文分别通过土壤类型面积和采样点覆盖面积估算土壤碳贮量的变化.

按照文献中给出的土壤类型(表1),选择水稻土、潮土、褐土和黑土等18种主要土壤类型,这18种土壤的面积为 $8926.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[146-152],约占中国大陆农田面积的76%。各土壤类型的有机碳含量变化(ΔSOC_i)通过不同采样区该土壤的面积(表1)加权平均求得。根据《中国土种志》1~6卷^[146-151]的测定结果,求得各土壤类型的平均容重(γ_i)和>2 mm石砾的比例(F_i)。对上述18种土壤类型的计算结果表明,自第二次土壤普查以来的20年间,占中国大陆农田面积76%的耕层土壤有机碳贮量总体增加了312.6 Tg。其中,水稻土和潮土分别增加了230.4和51.6 Tg,黑土减少了47.5 Tg。

将有重复的面积除外,文献中各区域采样点覆盖面积累计为 $4697.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (表1),约占中国大陆农田面积的40%。采用同样的方法,用(4)式计算有机碳贮量的变化。其中 S_i 为某采样区的土壤面积, ΔSOC_i 为该采样区20年耕层土壤有机碳含量的变化。根据《中国土种志》1~6卷^[146-151], γ_i 和 F_i 采用平均值1.36和0.06。计算结果表明,占中国大陆农田面积40%的耕层土壤有机碳贮量总体增加了123.9 Tg。

假定用上述方法估计的有机碳密度变化在全中国大陆尺度上具有代表性,按采样点覆盖面积加权平均和按土壤类型加权平均估算的土壤碳密度增加量(ΔD_{oc})分别为2.64和3.40 $\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。按中国大陆农田面积为1.18亿公顷计,近20年来中国大陆农田耕层土壤有机碳贮量增加了311.3~401.4 Tg。

4 变化原因浅析

综上所述,近20年来中国大陆农田表土SOC贮量明显增加。较其他土壤类型相比,水稻土和潮土有机碳含量明显增加,黑土则显著下降。

4.1 区域土壤有机碳含量增加的主要原因

农田土壤有机碳含量的增加主要归因于秸秆还田与有机肥施用、化肥投入增加与合理的养分配比以及少(免)耕技术的推广。

() 秸秆还田与有机肥施用。20世纪80年代以来,秸秆还田作为一种土壤保持性耕作管理办法在中国大陆得到广泛推广。大量田间长期定位试验研究^[153-157]结果表明:秸秆还田可大大促进土壤有机碳累积,化肥配施秸秆或厩肥的效果更加显著。孔宏敏和何圆球^[158]对江西红壤旱地13年的试验结果分析表明,单施秸秆的耕层土壤有机碳含量比单施化

肥的增加了24.1%~36.1%。王旭东等^[159]、张爱君和张明普^[155]以及宋永林等^[154]也有类似的报道。值得注意的是,即使在土壤有机碳含量较高的情况下,化肥配施有机肥仍能较大幅度地提高土壤有机碳含量。王胜佳等^[160]在浙江台州麦-稻-稻三熟制下进行了连续26年的定位试验,供试土壤初始有机碳含量为 $18.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在年施用尿素 $345 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和厩肥 $22.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的条件下,1973~1999年间土壤有机碳含量增加了 $12.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

() 化肥投入增加与合理的养分配比。自上世纪70年代以来,中国大陆化肥施用量大幅度增加。根据国家统计局的资料(http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2001c/mulu_1.htm),1981~85年、1986~90年、1991~95年、1996~2000年单位播种面积的化肥投入量(平均值)分别比1978~80年的平均施用量增加54%,107%,191%和257%。与此同时,占中国大陆农作物播种面积70%~80%的粮食作物单产分别增加了23%,37%,52%和65%。需要指出的是,除了氮肥施用量不断增加外,随着测土施肥技术的推广^[161],磷、钾肥的配比也更趋于合理,特别是钾肥增加量显著。如:1978~80年全中国大陆平均 $\text{N}:\text{K}_2\text{O}$ 为1:0.04,1981~90年和1991~2000年则分别增加到1:0.07和1:0.14。这也是作物单产提高的重要原因。毫无疑问,农作物产量的提高增加了残茬和根系的生物量,这使得进入土壤的有机质不断增加,促进了土壤有机碳的积累。王伯仁等^[162]在红壤旱地连续13年定位监测研究表明,与单施氮肥小区的玉米产量相比,氮磷配施和氮磷钾配施小区的产量分别增加了201%和391%,相应的土壤有机碳含量增加了6%和21%。张桂兰等^[163]和刘恩科等^[164]在河南及北京的长期定位试验也得到类似的结果。虽然我们目前难以就作物根系分泌物对土壤有机碳的贡献作出定量估计,但作物产量的提高无疑也增加了根系分泌物量,进而增加土壤有机碳的积累。

() 少(免)耕技术的推广。中国大陆自上世纪70年代末期开始研究并推广少(免)耕技术,该项技术推广初期的最大障碍之一是田间杂草的控制。随着不同种类除草剂的研制成功与大范围的应用,少(免)耕技术逐步得到大面积的推广。例如,1986~1991年在四川省累计推广少(免)耕技术 $178.4 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 。王昌全等^[165]在四川稻麦轮作水稻土上连续8年的单免耕(小麦播前免耕)和双免耕(稻麦均免耕)研究结果表明,

与常规耕翻相比,单免耕和双免耕的土壤有机碳分别增加了 111%和 127%。北京^[166]、江苏^[153, 167, 168]、河北^[169]、陕西^[170]和四川^[171, 172]的大田试验均有类似的结果。虽然我们目前难以统计近 20 年来中国大陆少(免)耕技术的推广面积,但根据对中国期刊全文数据库的检索结果,1994~2000 年间与少(免)耕技术有关的文献为 402 篇,2001~2004 年间为 557 篇,我们有理由推断近 20 年来该项技术对农田土壤有机碳增加的贡献是重要的。

4.2 黑土有机碳含量下降的主要原因

黑土是 SOC 含量最高的土壤之一,有机碳含量下降的主要原因来自水土流失和投入不足。随着人口的增加,黑土的过度垦殖造成水土流失加剧,掠夺式经营使得作物每年从土壤中带走的大量养分得不到有效的补充,造成土壤养分平衡失调,理化性状恶化,土壤有机碳含量下降。

() 水土流失。除了气候、地形地貌和土壤结构等自然因素外,过度垦殖和沟壑增多使得水土流失加剧^[173],水土流失导致表层土壤变薄,造成有机碳含量下降。以黑龙江省为例,黑土区是该省水土流失最严重的地区,垦殖初期的黑土层一般有 60~70 cm,由于水土流失,目前大部分黑土层只有 30 cm^[174]。据 1986 年应用遥感技术对土壤侵蚀调查统计:东北黑土区水土流失面积约 4.47 万 km²^[175],1999 年全国第二次土壤侵蚀遥感普查显示,黑土区土壤侵蚀面积达 7.43 万 km²^[176]。

() 投入不足。东北黑土区农田施肥量仅为潮土区的 1/7~1/4,产量仅为 3/5^[171],且年仅有 15%的面积中肥料的投入和输出保持平衡,其余 85%入不敷出^[176]。王建国等^[177]对黑龙江省 1949~1999 年农田养分亏缺动态变化的研究指出,20 世纪 70 年代、80 年代和 90 年代的氮素亏缺分别为 42.3%,18.5%和 3.6%;钾素亏缺分别为 92.6%,91.7%和 85.0%。肥料的低投入使得作物产量降低,归还土壤的有机质减少,从而导致了土壤有机碳含量逐年降低。

5 结论与展望

近 20 年来,占中国大陆农田面积 53%~59%的土壤有机碳呈明显增加趋势。华东和华北地区增加最为明显,东北地区呈总体下降趋势。有机碳含量增加明显的土壤类型为水稻土和潮土,黑土下降显著。总体而言,全中国大陆农田表土有机碳贮量增加了

311.3~401.4 Tg。有机碳增加主要归因于秸秆还田与有机肥施用、化肥投入增加与合理的养分配比以及少(免)耕技术的推广;黑土区有机碳含量下降的主要原因是水土流失和投入不足。

为了有效地提高土壤有机碳含量,最大限度地遏制东北地区土壤有机碳下降的趋势,未来应通过配套技术的研究、农户培训和政府补贴等措施,进一步推广秸秆还田、平衡施肥、少(免)耕等保护性耕作措施,加大水土流失的综合治理力度。中国大陆 1990 年秸秆还田面积为 2400 万 hm²,2004 年达 3733 万 hm²,后者约为全中国大陆农田面积的 30%。农业部于 2005 年启动测土配方施肥行动,决定对全中国大陆 484 个县的 1330 万 hm² 农田普及应用测土施肥技术。东北黑土区水土流失综合治理规划于 2003 年正式启动,预计到 2015 年治理水土流失面积 14.03 万 km²。20 世纪 90 年代以来,黑土区化肥施用量开始加大,黑龙江省化肥 N 的输入由 1989 年的 58.6 万吨增加到了 1999 年的 87.9 万吨^[177]。可以预见,未来中国大陆大部分农田土壤有机碳将呈现稳定上升的态势,而东北黑土区有机碳下降的趋势也会在一定程度上得到遏制。

温室气体导致的全球变暖一直受到国际社会的广泛关注。鉴于此,旨在减少温室气体(包括 CO₂, CH₄ 和 N₂O 等)排放的条约《京都议定书》已经生效。虽然《京都议定书》目前只规定了发达国家的减排义务,但对于包括中国在内的发展中国家的减排压力日趋增加。作为减缓大气 CO₂ 浓度升高的一个重要途径,增加土壤碳固定是目前国际上普遍关注的议题。为了应对后《京都议定书》时代对中国可能产生的减排压力,未来需加强 4 个方面的研究:()第二次土壤普查期间及目前中国农田土壤有机碳贮量,()由自然因素和人为因素控制的农田土壤有机碳变化机理,()增加土壤碳固定及减少碳损失的有效途径,()农田土壤的固碳潜力及未来演变趋势。

致谢 南京农业大学潘根兴教授和中国科学院南京土壤研究所蔡祖聪教授对本文的修改提出了极其宝贵的建议;中国科学院大气物理研究所张稳博士和南京农业大学硕士研究生王彧为本文绘制了附图。作者深表感谢。本研究受中国科学院知识创新工程重大项目(批准号:KZCX1-SW-01-13)资助。

参 考 文 献

- 1 Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change

- and food security. *Science*, 2004, 304: 1623—1627 [DOI]
- 2 Lal R. World soils and the greenhouse effect. *Global Change News Letter*, 1999, 37: 4—5
 - 3 Watson R T, Noble I R. Carbon and the science-policy nexus: the Kyoto challenge. In: Steffen W, Jager J, Carson D, Bredshaw C, eds. *Challenges of a Changing Earth. Proceedings of the Global Change Open Science Conference*. Berlin: Springer, 2001, 57—64
 - 4 Powlson D S, Oik D. Long-term soil organic matter dynamics. In: Kirk G, Oik D, eds. *Carbon and Nitrogen Dynamics in Flooded Soils. Proceedings of a Workshop*, 2000, 19—22 (<http://www.irri.org/science/abstracts/008.asp>)
 - 5 Cox P M, Betts R A, Jones C D, et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 2000, 408: 184—187 [DOI]
 - 6 Lal R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances in Agronomy*, 2002, 74: 155—192
 - 7 李长生. 土壤碳储量减少: 中国农业之隐患-中美农业生态系统碳循环对比研究. *第四纪研究*, 2000, 20(4): 345—350
 - 8 黄耀. 中国陆地和近海生态系统碳收支研究. *中国科学院院刊*, 2002, 17(2): 104—107
 - 9 俞海, 黄季焜, Scott R, 等. 中国东部地区耕地土壤肥力变化趋势研究. *地理研究*, 2003, 22(3): 380—388
 - 10 Pan G X, Li L Q, Wu L S, et al. Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils. *Global Change Biology*, 2003, 10: 79—92 [DOI]
 - 11 张世熔, 黄元仿, 李保国, 等. 黄淮海冲积平原区土壤有机质时空变异特征. *生态学报*, 2002, 22(12): 2041—2047
 - 12 郭建华, 邢竹, 李春杰, 等. 秸秆还田和施肥对耕层土壤养分变异的影响. *河北农业科学*, 2003, 7(增刊): 1—4
 - 13 Huang Y, Liu S L, Shen Q R, et al. Model establishment for simulating soil organic carbon dynamics. *Agricultural Sciences in China*, 2002, 1(3): 307—312
 - 14 Huang Y, Liu S L, Shen Q R, et al. Validation and scenario analysis of a soil organic carbon model. *Agricultural Sciences in China*, 2002, 1(4): 417—423
 - 15 Shen Y, Huang Y, Zong L G, et al. Simulation and prediction of soil organic carbon dynamics in Jiangsu province based on model and GIS techniques. *Agricultural Sciences in China*, 2003, 2(9): 1007—1013
 - 16 张有山. 北京农田土壤养分肥力提高及培肥措施研究. *土壤通报*, 1996, 27(3): 107—110
 - 17 徐艳, 张凤荣, 汪景宽, 等. 20年来中国潮土区与黑土区土壤有机质变化的对比研究. *土壤通报*, 2004, 35(2): 102—105
 - 18 王茹, 张凤荣, 王军艳, 等. 潮土区不同质地土壤的养分动态变化研究. *土壤通报*, 2001, 32(6): 255—257
 - 19 姚军. 乡(镇)级农田土壤肥力变化与推荐施肥分区. *北京农业科学*, 2000, 18(5): 25—29
 - 20 苏立新, 肖健, 王淑琴, 等. 北京市海淀区农田耕层土壤养分现状与变化趋势. *土壤肥料*, 2004, 5: 17—20
 - 21 天津市农委区划办公室. 天津市土壤养分变化趋势分析. *中国农业资源与区划*, 1994, 3: 60—64
 - 22 陈子学, 李又富, 刘志杰, 等. 天津市土壤定位监测研究初报. *天津农林科技*, 2001, 3: 1—3
 - 23 刘庆山. 蓟县吨粮田土壤养分现状及培肥途径. *天津农林科技*, 1998, 2: 37—40
 - 24 张玉铭, 胡春胜, 毛任钊, 等. 河北栾城县农田土壤养分肥力状况与调控. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(4): 68—72
 - 25 孔祥斌, 张凤荣, 徐艳, 等. 河北省曲周县盐渍土土壤养分含量的动态变化. *农村生态环境*, 2003, 19(3): 35—37
 - 26 傅伯杰, 郭旭东, 陈利顶, 等. 土地利用变化与土壤养分的变化——以河北省遵化县为例. *生态学报*, 2001, 21(6): 926—932
 - 27 马保国, 韩俊杰, 孙全德, 等. 大名县土壤肥力特征及培肥途径. *邯郸农业高等专科学校学报*, 1999, 16(3): 6—7
 - 28 蔡红兵, 冀兵雷. 阳城县土壤肥力动态监测分析及改良措施. *山西农业科学*, 2002, 30(2): 43—45
 - 29 潘紫霄. 泽州县土壤肥力状况及施肥对策研究. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2003, 23(1): 36—41
 - 30 郝翻身, 李文彪, 朴明姬. 阿荣旗耕地土壤养分含量现状及变化原因分析. *内蒙古农业科技*, 2004, 3: 21, 51
 - 31 裴殿阁. 呼伦贝尔盟阿荣旗中低产田土壤养分现状与改良培肥措施. *内蒙古农业科技*, 1997, 4: 16—18
 - 32 陈洪斌, 郎家庆, 祝旭东, 等. 1979—1999年辽宁省耕地土壤养分肥力的变化分析. *沈阳农业大学学报*, 2003, 34(2): 106—109
 - 33 贺光. 辽宁省耕地土壤养分监测及变化评价. *杂粮作物*, 2001, 21(2): 36—38
 - 34 朱洪国, 朱崇云, 宗连香. 葫芦岛市土壤养分状况分析. *杂粮作物*, 2000, 20(3): 36—38
 - 35 关连珠, 颜丽, 金耀青, 等. 辽宁省农田土壤养分肥力状况的宏观分析及调控对策. *土壤通报*, 1994, 25(7): 45—48
 - 36 崔俊嫣, 宋红阳, 杨伟奇, 等. 沈阳市农田土壤养分肥力现状与培肥对策. *土壤通报*, 1996, 27(1): 26—28
 - 37 于永祥. 喀左县耕地土壤肥力状况监测初报. *中国农业资源与区划*, 1999, 20(3): 58—62
 - 38 董彦华, 颜倍友. 阜宁县土壤养分动态分析与施肥途径. *杂粮作物*, 2001, 21(1): 41—42
 - 39 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 20年来部分黑土耕层有机质和全氮含量的变化. *地理科学*, 2004, 24(6): 710—714
 - 40 高强, 刘淑霞, 王瑞有, 等. 黑土区土壤养分状况变化及施肥措施. *吉林农业大学学报*, 2001, 23(1): 65—68
 - 41 王娟, 李守君. 饶河县耕地土壤肥力下降原因及培肥对策. *现代化农业*, 2003, 3: 18—19
 - 42 茅国芳. 上海市农田土壤基础肥力元素演变特征. *上海农业学报*, 2001, 17(3): 38—44
 - 43 金圣贤, 薄玉华. 掌握土壤肥力变化特点 保持和提高土壤肥力(浅析宝山区1995—1996年土壤肥力复查). *上海农业科技*, 1998, 5: 5—8
 - 44 曹东杰, 顾玉泉. 金山区土壤肥力水平初报. *上海农业科技*,

- 2004, 3: 97—98
- 45 刘林旺, 王绪奎. 土壤监测与我省农业可持续发展. 当代生态农业, 1998, 增刊: 94—97
- 46 李荣刚, 杨林章, 皮家欢. 苏南地区稻田土壤肥力演变、养分平衡和合理施肥. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1889—1892
- 47 谢金学, 张炳生, 谭荷芳, 等. 丹阳市土壤肥力演变趋势及原因分析. 土壤, 2002, 3: 149—155
- 48 高超, 张桃林, 吴蔚东. 太湖地区农田土壤养分动态及其启示. 地理科学, 2001, 21(5): 428—432
- 49 张庆利, 史学正, 潘贤章, 等. 江苏省金坛市土壤肥力的时空变化特征. 土壤学报, 2004, 41(2): 315—319
- 50 黄胜海, 顾丽华. 南通市土壤肥力演变趋势及培肥对策. 上海农业科技, 1999, 3: 9, 19
- 51 刘永根, 卞玉英, 蒋炳文, 等. 江阴市土壤养分消长原因及改土培肥对策. 上海农业科技, 1999, 6: 58—59
- 52 姚艳平, 叶玫, 薛祝田. 肥料投入与平衡土壤养分及产出效应研究. 土壤肥料, 2001, 5: 14—18
- 53 周伯军, 刘汉民, 丁俊杰, 等. 新曹农场土壤肥力演变及土壤培肥对策. 中国农学通报, 2002, 18(2): 61—63
- 54 张文渊. 苏北沿海平地区土壤肥力因子演变动态分析. 水土保持科技情报, 1998, 3: 14—17
- 55 陈浮, 濮励杰, 曹慧, 等. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理. 土壤学报, 2002, 39(2): 236—245
- 56 高文伟, 姚振飞. 昆山市土壤肥力演变状况及培肥对策. 上海农业科技, 2000, 1: 7—8
- 57 朱裕超, 龚建生, 朱爱中, 等. 启东市二十三年土壤肥力定位监测研究及对策. 上海农业科技, 1998, 6: 2—4
- 58 王国峰, 黄锦法. 浙江嘉兴平原土壤养分的平衡状况及改善对策的探讨. 土壤通报, 1999, 30(3): 104—107
- 59 何梅秀, 朱彩娥, 李金珠, 等. 萧山市农田土壤施肥结构的演变及改土培肥措施. 浙江农业科学, 1997, 3: 121—124
- 60 谢锦良. 部分水稻土养分变化趋势的抽样调查. 浙江农业科学, 2003, 6: 327—329
- 61 徐小华, 吾建祥. 近 20 年来金华市土壤养分的变化. 浙江农业科学, 2002, 5: 234—236
- 62 金健生, 洪庆红. 金华市土壤养分状况变化与对策. 金华职业技术学院学报, 2001, 2: 33—34
- 63 蒋小留, 吕芬华, 周智萍. 海盐县土壤肥力质量演变及对策探讨. 耕作与栽培, 2003, 3: 47—48
- 64 赵丽芳, 黄鹏武, 张作选, 等. 乐清市农田和水资源状况及改善措施. 浙江农业科学, 2000, 1: 25—26
- 65 张敏, 陆宏, 赵先军, 等. 慈溪市旱地土壤肥力变化的比较研究. 土壤通报, 2004, 35(1): 91—93
- 66 周永亮, 范浩定, 王锡金, 等. 20 年来绍兴土壤肥力的变化及其原因分析. 浙江农业科学, 2004, 3: 142—145
- 67 张硕. 宁波市水稻土养分现状调查与研究. 中国稻米, 2002, 3: 30—31
- 68 王广海, 胡芹远, 马友华. 含山县主要土壤养分变化动态及其分析. 安徽农学通报, 2001, 7(3): 43—44
- 69 张文才, 张自立. 灵璧县 3 种主要土壤养分变化动态及其分析. 安徽农学通报, 2004, 10(4): 72, 84
- 70 胡凤桂, 姚传云, 张晓明, 等. 寿县水稻土肥力动态变化规律. 安徽农业科学, 2004, 32(1): 76—77
- 71 段秀云. 六安市主要土种养分动态变化及改良对策. 安徽农学通报, 2004, 10(4): 70—71
- 72 陈平安, 高兵顺. 祁门县主要类型土壤养分动态分析及施肥建议. 安徽农学通报, 2001, 7(6): 50—51
- 73 何大斌, 何建州, 何顺民. 贵池区主要类型土壤养分动态分析及施肥建议. 安徽农学通报, 2002, 8(2): 55—56
- 74 戴厚升, 宋兵, 邱坤. 长丰县农田氮磷钾养分现状及对策. 安徽农业, 2004, 10: 14—15
- 75 郑向阳, 王志成, 唐庆功, 等. 提高阜阳市土壤有机质含量的探讨. 安徽农学通报, 1996, 2(4): 23—24
- 76 刘作社, 柴文北, 高正宝, 等. 滁州市农田化肥投入与土壤养分及产出效应研究. 安徽农业科学, 2002, 30(5): 673—675
- 77 张自立, 张文才, 兰金, 等. 凤台县钱庙乡土壤养分的变化. 安徽农学通报, 2000, 6(5): 41—42
- 78 尹学政, 王庭春, 熊永辉. 巢湖市居巢区耕地肥力现状分析及培肥措施. 安徽农学通报, 2002, 8(1): 53—54
- 79 周琼华, 陈维高. 福建省农业生产、土壤养分状况与作物平衡施肥. 福建农业科技, 2000, 增刊: 17—19
- 80 黄燕翔, 郭丽芳. 龙岩市水稻土主要肥力性状的变化研究. 福建农业学报, 2002, 17(4): 234—237
- 81 张莘. 福安市稻田土壤有机质含量及其培肥措施. 福建农业科技, 1994, 4: 37
- 82 邱富财. 光泽县水田土壤肥力现状及培肥地力对策. 福建农业, 2004, 5: 14
- 83 颜有明. 建阳市耕地土壤肥力现状及培肥地力对策. 福建农业, 2000, 5: 9
- 84 周艳, 朱玲玲, 陈秀莲, 等. 永安市安砂镇水稻土养分现状与施肥对策. 江西农业科技, 2003, 9: 10—12
- 85 罗奇祥, 李祖章, 刘光荣. 江西省肥料施用状况与肥效演变规律. 江西农业学报, 2004, 16(3): 48—54
- 86 叶厚专, 范业成, 陶其骥. 江西水稻土养分状况研究. 土壤肥料, 2000, 1: 12—15
- 87 叶厚专, 范业成, 申琪凤. 江西近年农田肥力状况分析与节本施肥对策. 江西农业学报, 2001, 13(4): 1—7
- 88 叶厚专, 范业成, 万美莲. 南昌县农田养分平衡和循环研究. 江西农业科技, 1999, 3: 23—25
- 89 叶青, 刘衍洪. 浅析兴国县农田养分现状及调整对策. 土壤, 2000, 1: 50—53
- 90 孟凡乔, 吴文良, 辛德惠. 高产农田土壤有机质、养分的变化规律与作物产量的关系. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 370—374
- 91 武继承, 龚子同, 姚健. 河南开封土壤养分变化特征及其持续利用途径研究. 土壤通报, 2001, 32(4): 155—159
- 92 赵杰, 秦明周, 郑纯辉. 城乡结合部土壤质量及其动态研究——以开封为例. 资源科学, 2001, 23(3): 42—46

- 93 刘红君, 卢中民, 赵冬丽. 滑县土壤养分变化动态研究. 土壤肥料, 2003, 6: 30—33
- 94 付巧玲, 吴克宁, 吕巧灵, 等. 郑州市郊区土壤肥力状况及动态研究. 河北农业科学, 2004, 8(3): 53—56
- 95 张志华, 杜丽, 郭金凤, 等. 安阳市耕层土壤养分变化动态分析及施肥建议. 河南农业科学, 2003, 6: 29—31
- 96 周世寿, 艾天成, 张竹青. 三湖农场土壤养分普查报告. 湖北农学院学报, 2002, 22(1): 8—10
- 97 黄道友, 吴金水, 刘守龙, 等. 典型红壤丘陵区土壤有机碳含量及其分布的演变趋势. 生态学报, 2006, (刊印中)
- 98 肖小平, 张健, 胡清. 宁乡县耕地养分变化状况及平衡施肥对策. 耕地质量与食品安全. 湖南: 湖南地图出版社, 2003, 108—111
- 99 任可爱, 肖和艾, 李玲, 等. 洞庭湖区稻田土壤有机质和氮磷钾含量的变化. 农业现代化研究, 2005, 26(2): 150—153
- 100 陈朝明, 彭廷柏, 林泽建, 等. 湖北丘岗区集约型持续农业的实践与探索. 农业现代化研究, 1993, 14(5): 285—287
- 101 王鹏, 田亚平, 张兆干, 等. 湘南红壤丘陵区农户经济行为对土地退化的影响——以祁东县紫云村为例. 长江流域资源与环境, 2002, 11(4): 370—375
- 102 汤建东, 叶细养, 饶国良, 等. 人为活动对广东省耕地质量的影响. 土壤与环境, 2003, 1: 8—11
- 103 张育灿. 广东省20年来肥料施用与耕地土壤养分变化. 土壤与环境, 2002, 11(2): 194—196
- 104 邝培锐, 朱凤娇, 邹伯琼. 广州市白云区土壤地力监测与评价. 广东农业科学, 2004, 3: 30—32
- 105 蒋毅敏. 桂林市水稻土养分状况研究. 土壤肥料, 2001, 6: 12—15
- 106 朱华龙, 王丹, 刘明. 桂林市不同类型稻田土壤养分现状及培肥对策. 广西农业科学, 2003, 5: 41—42
- 107 刘明, 莫思华, 吴广生, 等. 灌阳县水稻土养分变化状况浅析. 广西农学报, 2000, 2: 43—47
- 108 黄文校. 宾阳百色和柳江县(市)土壤养分监测结果与分析. 广西农业科学, 2003, 1: 37—39
- 109 魏甦, 张世熔, 邓良基, 等. 四川郫县土壤耕层有机质时空变异特征. 土壤通报, 2004, 35(3): 261—263
- 110 贺阳冬, 邓贞学. 成都土壤耕层有机质含量变化探讨(简报). 西南农业大学学报, 1998, 1: 54
- 111 胡玉福, 邓良基, 张世熔. 雨城区土壤养分变异及土壤可持续利用研究. 水土保持学报, 2004, 18(6): 124—128
- 112 叶德宪, 李昆. 四川土壤养分及酸碱性变化趋势分析. 西南农业大学学报, 2003, 16(增刊): 101—107
- 113 张锡渊, 李廷轩, 周建新, 等. 梓潼县农田养分平衡与土壤养分变化研究. 四川农业大学学报, 2004, 22(1): 53—57
- 114 张锡渊, 刘岱, 李廷轩, 等. 资中县农田养分平衡与土壤养分变化初探. 西南农业学报, 2001, 14(增刊): 21—25
- 115 李廷轩, 马国瑞, 张锡渊, 等. 紫色丘陵区县级农田养分平衡与土壤养分变化趋势研究——以四川省犍为县为例. 水土保持学报, 2003, 17(1): 103—106
- 116 翟琨, 向东山. 贵州耕作土壤养分变化与施肥管理. 贵州农业科学, 2004, 32(6): 82—83
- 117 陈旭晖. 贵州土壤养分含量的变化与施肥管理. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 121—128
- 118 高维洁, 李兆芬, 赵明. 贵州省水稻土定位监测初报. 耕作与栽培, 1996, 6: 49—52
- 119 丁倩. 湄潭县新石乡土壤肥力变化研究. 耕作与栽培, 2002, 3: 36—37
- 120 孟新房, 秦正林, 赵晓进. 渭北塬区农田土壤肥力变化及施肥对策. 陕西农业科学, 1997, 4: 37—38
- 121 王旭刚, 郝明德, 张春霞, 等. 王东沟小流域土壤养分变化研究. 水土保持研究, 2003, 10(1): 81—84
- 122 刘秉正, 吕俊杰. 泥沟河流域土壤养分变化与生产力评价. 水土保持研究, 2000, 7(1): 18—22
- 123 崔增团, 张瑞玲, 孙大鹏. 甘肃省几种主要农田土壤肥力监测结果. 土壤肥料, 2003, 5: 3—7
- 124 孙兰珍. 陇南地区土壤肥力变化趋势分析及培肥措施. 甘肃农业, 2003, 6: 36—37
- 125 颀鹏, 蔺海明. 甘谷县农田土壤有机质的演变及应采取的技术措施. 甘肃农业科技, 2002, 8: 33—35
- 126 马生发, 胡景平. 庆阳地区覆盖黑垆土养分变化动态研究. 甘肃农业科技, 2002, 4: 32—33
- 127 芦满济, 杨生茂, 胡新元, 等. 张掖市绿州农田土壤养分特征及其变化研究. 甘肃农业科技, 2001, 2: 37—39
- 128 曾桂兰. 互助县土壤有机质监测初报. 青海农林科技, 2000, 2: 22—23
- 129 陈占全, 薛泉宏, 张荣. 湟水流域农田土壤养分及肥力评价分析. 青海科技, 2003, 2: 29—32
- 130 和中秀, 王玉秀. 湟中县耕地质量浅析. 青海农技推广, 2003, 3: 18—19, 21
- 131 李建秀. 银南灌区12年土壤养分变化. 宁夏农林科技, 1995, 4: 38—40
- 132 马玉兰, 张中华, 赵春, 等. 论宁夏河套农业综合开发改造项目效益. 宁夏农林科技, 1998, 2: 29—31
- 133 张中华, 王全祥. 中低产田土壤改造效果综合评价. 中国农学通报, 2003, 19(4): 128—130
- 134 杨进宝, 胡宝林, 马继宏. 农田土壤养分监测情况通报及土壤培肥措施. 土壤监测, 1995, 增刊: 35—36
- 135 许咏梅, 付明鑫, 蓝晓方. 论新疆可持续农业中化肥的发展方向. 兵团职工大学学报, 2000, 2: 31—32
- 136 姜益娟, 郑德明, 吕双庆, 等. 新疆农田土壤有机质含量及组成特征. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 61—64
- 137 王爱春, 张新生, 徐新民, 等. 巴音郭楞蒙古自治州土壤肥力现状与合理施肥措施. 新疆农业科学, 2001, 38(5): 277—278
- 138 李玉芳. 盖提县农田土壤养分现状及施肥培肥建议. 新疆农业科学, 2003, 40(6): 362—364
- 139 俞顺和, 杨惠兰, 郑梅玲. 和静县土壤养分现状及施肥对策. 土壤肥料, 2001, 5: 31
- 140 李荣, 曹明艳, 戴路. 阿克苏高密度棉田的施肥要点. 新疆农业

- 科技, 2002, 6: 14
- 141 倪克文, 张庆庭, 苏宏斌. 哈密地区耕地养分变化趋势研究. 新疆农业科学, 1998, 1: 28
- 142 李得寿, 陈兰英, 郭继超, 等. 沙湾县土壤养分调查及培肥措施. 新疆农业科技, 1998, 5: 24
- 143 周抑强, 王朴, 王为学, 等. 轮台县农田土壤养分变化及培肥对策. 新疆农业大学学报, 1997, 20(3): 42—45
- 144 侯惠光, 张金莲, 罗新湖, 等. 伊宁市土壤养分的变化及施肥对策. 新疆农业科技, 2003, 6: 21
- 145 国家统计局农村社会经济调查总队. 新中国五十年农业统计资料. 北京: 中国统计出版社, 2000, 759
- 146 全国土壤普查办公室. 中国土壤志(第一卷). 北京: 中国农业出版社, 1993
- 147 全国土壤普查办公室. 中国土壤志(第二卷). 北京: 中国农业出版社, 1994
- 148 全国土壤普查办公室. 中国土壤志(第三卷). 北京: 中国农业出版社, 1994
- 149 全国土壤普查办公室. 中国土壤志(第四卷). 北京: 中国农业出版社, 1995
- 150 全国土壤普查办公室. 中国土壤志(第五卷). 北京: 中国农业出版社, 1995
- 151 全国土壤普查办公室. 中国土壤志(第六卷). 北京: 中国农业出版社, 1996
- 152 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998
- 153 高亚军, 朱培立, 黄东迈, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对有机质和全氮的影响. 土壤与环境, 2000, 9(1): 27—30
- 154 宋永林, 袁锋明, 姚造华. 化肥与有机物料配施对作物产量及土壤有机质的影响. 华北农学报, 2002, 17(4): 73—76
- 155 张爱君, 张明普. 黄潮土长期轮作施肥土壤有机质消长规律的研究. 安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 60—63
- 156 韩志卿, 张电学, 陈洪斌, 等. 长期定位施肥小麦-玉米轮作制度下土壤有机质质量演变规律. 河北职业技术师范学院学报, 2003, 17(4): 10—14
- 157 王传雷, 瞿和平, 万一花, 等. 有机无机肥配合施用长期定位试验. 湖北农业科学, 2003, 5: 58—59
- 158 孔宏敏, 何圆球. 红壤旱地有机质的积累规律及其影响因素. 土壤, 2003, 35(5): 401—407
- 159 王旭东, 张一平, 吕家珑. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响. 中国农业科学, 2000, 33(2): 75—81
- 160 王胜佳, 陈义, 李实焯. 多熟制稻田土壤有机质平衡的定位研究. 土壤学报, 2002, 39(1): 9—15
- 161 杨守春. 黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1991, 228
- 162 王伯仁, 徐明岗, 文石林. 长期不同施肥对旱地红壤性质和作物生长的影响. 水土保持学报, 2005, 19(1): 97—100
- 163 张桂兰, 宝德俊, 王英, 等. 长期施用化肥对作物产量和土壤性质的影响. 土壤通报, 1999, 30(2): 64—67
- 164 刘恩科, 赵秉强, 胡昌浩, 等. 长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响. 中国农业科学, 2004, 37(5): 711—716
- 165 王昌全, 魏成明, 李廷强, 等. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 152—154
- 166 刘翼浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式. 北京: 中国农业出版社, 2001, 118
- 167 刘世平, 沈新平, 黄细喜. 长期少免耕土壤供肥特征与水稻吸肥规律的研究. 土壤通报, 1996, 27(3): 133—135
- 168 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549—552
- 169 孙海国. 保护性耕作和植物残体对土壤养分状况的影响. 生态农业研究, 1997, 5(1): 47—51
- 170 康红, 朱保安, 洪利辉, 等. 免耕覆盖对旱地土壤肥力和小麦产量的影响. 陕西农业科学, 2001, 9: 1—3
- 171 张磊, 肖剑英, 谢德体, 等. 长期免耕水稻田土壤的生物特征研究. 水土保持学报, 2002, 16(2): 111—114
- 172 肖剑英, 张磊, 谢德体, 等. 长期免耕稻田的土壤微生物与肥力关系研究. 西南农大学学报, 2002, 24(1): 82—85
- 173 范建荣, 潘庆宾. 东北典型黑土区水土流失危害及防治措施. 水土保持科技情报, 2002, 5: 36—38
- 174 任宪平. 东北黑土区合理开发利用存在的问题与对策. 水土保持科技情报, 2004, 2: 48—49
- 175 岳红光, 沈波, 刘运河. 保护黑土资源, 建好东北粮仓. 吉林水利, 1999, 192: 42—44
- 176 王玉玺, 解运杰, 王萍. 东北黑土区水土流失成因分析. 水土保持科技情报, 2002, 3: 27—29
- 177 王建国, 王德禄, 王守宇, 等. 黑龙江农田养分平衡和养分水平的动态变化. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(2): 124—127

(2005-09-27 收稿, 2005-11-24 接受)