

DOI: 10.11766/trxb201703180633

近30年中国农田耕层土壤有机质含量变化

杨帆¹ 徐洋¹ 崔勇¹ 孟远夺¹ 董燕¹ 李荣¹ 马义兵²

(1 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

(2 中国农业科学院农业资源和农业区划研究所, 北京 100081)

摘要 土壤有机质含量是影响土壤肥力水平的重要指标,也是开展耕地质量建设、科学施肥工作的基础。利用2005—2014年测土配方施肥项目数据与全国第二次土壤普查数据进行对比,分析了近30年来中国农田耕层土壤有机质的变化趋势。结果显示,30年来我国农田耕层土壤有机质含量呈整体上升趋势,目前,全国耕层土壤有机质平均含量为24.65 g kg⁻¹,较全国第二次土壤普查时期提高4.85 g kg⁻¹,提高24.49%。其中,30~40 g kg⁻¹等级比例增加3.64个百分点,20~30 g kg⁻¹等级比例增加5.68个百分点,10~20 g kg⁻¹等级比例增加5.36个百分点。需要引起注意的是,大于40 g kg⁻¹等级比例减少了1.38个百分点。

关键词 土壤有机质; 土壤普查; 耕地; 测土配方施肥项目; 中国

中图分类号 S158 **文献标识码** A

土壤有机质含量不仅代表土壤碳储量,也是土壤养分供应能力和肥力的重要指标之一,在耕地质量、环境保护、气候变化和农业可持续发展方面均有着至关重要的作用。近年来,随着我国农业农村发展环境的变化,资源环境约束逐渐趋紧,土壤肥力特别是土壤有机质成为世界关注的焦点。Ladha等^[1]指出全球农田有机质含量呈总体下降趋势。黄耀和孙文娟^[2]在综合了二百余篇文献后提出,1980—2000年,占中国大陆农田面积53%~59%的土壤有机质呈明显增加趋势,华东和华北地区增加最为明显,东北地区呈总体下降趋势。Sun等^[3]的研究表明,中国东部在1980—2000年,农田表层土壤有机质增加了9.96t hm⁻²。杨学明等^[4]根据土壤志中采样点的记录,在调查了吉林省27个采样点后提出,有机质含量有增有减,但平均水平无明显变化。Liao等^[5]分析了1982—2004年江苏省土壤数据后发现,农田表土有机质从1982年的16.29 g kg⁻¹增加至2004年的18.79g kg⁻¹。目前,着眼于区域或点位的土壤有机质含量变化的研究较多,而对于国家尺度的研究甚少,这与国家尺度的数据支撑不足有关。

2005年我国开始实施的测土配方施肥项目将土壤采集和基本性质检测列为基础性工作之一。在2005—2014年的10年间,全国2 948个农业县(农场、单位)的土肥部门根据农业部制订的《测土配方施肥技术规范》^[6],在当地粮田、菜田和果园采集了大量土壤样品进行检测,测试项目包括土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾和pH等基础五项指标。2014年,全国农业技术推广服务中心组织专家对测土配方施肥土壤基础五项检测数据和空间数据进行审核后编辑出版了《测土配方施肥土壤基础养分数据集》(2005—2014年)^[7]。本文利用该数据集中的土壤有机质含量数据与全国第二次土壤普查(1979—1985年)相关数据进行比较,以期了解全国第二次土壤普查以来,中国耕地土壤有机质含量变化情况,为今后开展耕地质量建设和指导科学施肥提供参考。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

本文涉及的全国第二次土壤普查耕地有机质

作者简介: 杨帆(1965—),女,广东人,硕士,推广研究员,主要研究肥料与施肥技术推广和肥料管理。E-mail: yangfan@agri.gov.cn

收稿日期: 2017-03-18; 收到修改稿日期: 2017-06-01; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2017-06-14

数据来源于《中国土壤普查数据》^[8]和《中国土壤肥力》^[9],代表面积13 162.7万hm²。测土配方施肥数据来源于《测土配方施肥土壤基础养分数据集》,数据点共8 467 083个,由于全国的农业县(区、市)、农场均实施了测土配方施肥项目,共计2 948个农业县(农场、单位),因此,代表面积按国家统计局最近一次公布的2008年底耕地面积计^[10],共12 171.6万hm²。测土配方施肥样本分布与2008年底耕地面积分布基本一致。

为了与全国第二次土壤普查数据进行比较,《测土配方施肥技术规范》规定了与全国第二次土壤普查相同的土壤检测方法,土壤有机质均采用油浴加热重铬酸钾氧化容量法检测^[11]。

1.2 土壤有机质含量等级划分

全国第二次土壤普查耕层有机质含量数据曾按大于40 g kg⁻¹、30~40 g kg⁻¹、20~30 g kg⁻¹、10~20 g kg⁻¹、6~10 g kg⁻¹、小于(等于)6 g kg⁻¹标准划分成6个等级,本文按照该标准将全国各省测土配方施肥数据进行划分。

1.3 数据统计

全国第二次土壤普查以成土条件、成土过程及其属性为分类依据,根据不同土壤类型将各地数据进行了分级,《中国土壤肥力》^[9]一书中利用各省各级别土壤有机质含量的中值与该级别耕地面积比例加权平均后得到该省土壤有机质平均含量。本文引用这组数据作为全国第二次土壤普查各省(区、市)农田土壤耕层有机质平均含量。

$$E_a = \frac{\sum M_j \times A_j}{\sum A_j}, (j = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中, E_a 为a省土壤有机质平均含量, g kg⁻¹; M_j 为a省份土壤有机质j等级下的中值, g kg⁻¹; A_j 为a省份土壤有机质含量在j等级内的实际面积, 10⁴ hm²。

测土配方施肥项目覆盖了全国所有农业县(场、单位),根据土壤类型、土地利用方式和行政区划,将土壤采样区域划分为若干个采样单元,每个采样单元面积和采样地块面积均按照《测土配方施肥技术规范》执行,代表面积相近,因此,在计算各省土壤有机质平均含量时,采用了该省各取样点土壤有机质含量的算术平均值。

$$F_a = \frac{\sum M_h}{N}, (h = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

式中, F_a 为a省土壤有机质平均含量, g kg⁻¹; M_h 为a省采样点h土壤有机质含量, g kg⁻¹; N 为a省样本个数。

2 结果

2.1 耕层有机质平均含量及变化

目前,全国农田耕层土壤有机质平均含量为24.65 g kg⁻¹(表1),仍以黑龙江最高,达到了40.43 g kg⁻¹。宁夏土壤有机质平均含量最低,仅为13.61 g kg⁻¹。黑龙江、江西、湖南、广西、云南和贵州6省区土壤有机质平均含量均在30.00 g kg⁻¹以上。内蒙古、吉林、上海、江苏、浙江、安徽、福建、湖北、广东、四川、西藏和青海等12省区的土壤有机质平均含量在20.00~30.00 g kg⁻¹之间。北京、天津、河北、山西、山东、河南、辽宁、海南、重庆、陕西、甘肃、宁夏和新疆的土壤有机质平均含量均小于20.00 g kg⁻¹,其中,北京、山西、山东、陕西、甘肃和宁夏6省(区、市)土壤有机质平均含量均未达到15.00 g kg⁻¹。

全国第二次土壤普查30多年来,我国农田耕层土壤有机质平均含量整体上升了4.85 g kg⁻¹。从各省情况来看,与第二次土壤普查相比,全国有22个省(区、市)的耕层有机质平均含量增幅超过1.0 g kg⁻¹,其中,安徽的增幅最大,达到了5.54 g kg⁻¹。此外,湖南、贵州、四川、江西、广西、江苏和内蒙古的土壤有机质平均含量的增幅也超过了4.00 g kg⁻¹。土壤有机质平均含量基本稳定的有湖北、浙江、西藏、新疆、海南、吉林和甘肃,变化幅度均在-1.00~1.00 g kg⁻¹。土壤有机质平均含量显著下降的仅有北京和青海,分别下降1.02 g kg⁻¹和1.06 g kg⁻¹。其中,北京主要是因为土地利用方式的巨大变化,城市扩张占用了原市区周边肥沃的耕地,全市耕地面积从全国第二次土壤普查时期的50.69万 hm²下降至2008年底的23.20万 hm²,现有的耕地均位于原来的远郊区,土壤肥力水平较低。除了与北京相似的原因外,青海土壤有机质平均含量下降,则还可能与肥料投入不足及风蚀作用等恶劣的自然条件有关。宁夏土壤有机质平均含量虽然最低,但与第二次普查时期相比仍提高了3.81 g kg⁻¹。

2.2 耕层有机质分级含量及变化

从全国层面看,我国农田耕层有机质含量仍

表1 各省（区、市）农田耕层有机质平均含量

Table 1 Average contents of soil organic matter (SOM) in each province, autonomous region, and municipality

省份 Province	2008年底耕地 面积 ^① (10 ⁴ hm ²) ^[10]	测土配方施 肥样本数 ^② (个) ^[7]	测土配方施 肥耕层有机质平 均含量 ^③ (g kg ⁻¹) ^[7]	测土配方施 肥耕层有机 质平均含量 标准差 ^④ [7]	第二次土壤普 查耕地面积 ^⑤ (10 ⁴ hm ²) ^[9]	第二次土壤普 查耕层土壤有 机质平均含量 ^⑥ (g kg ⁻¹) ^[9]	测土配方施肥与第二 次土壤普查耕层有机 质平均含量变化量 ^⑦ (g kg ⁻¹)
北京Beijing	23.2	30 568	13.78	3.40	50.7	14.8	-1.02
天津Tianjin	44.1	32 676	18.44	4.75	55.6	15.0	3.44
河北Hebei	631.7	687 962	15.93	4.69	751.8	12.6	3.33
内蒙古Inner Mongolia	714.7	423 086	24.12	19.90	727.9	20.1	4.02
山西Shanxi	405.6	35 874	13.88	6.43	521.5	11.0	2.88
山东Shandong	751.5	228 241	13.74	4.95	853.3	9.8	3.94
河南Henan	792.6	732 982	15.83	3.95	895.5	12.5	3.33
辽宁Liaoning	408.5	47 044	17.25	7.20	450.7	15.2	2.05
吉林Jilin	553.5	497 533	26.15	12.86	536.2	26.1	0.05
黑龙江 Heilongjiang	1 183.0	885 600	40.43	15.19	1 154.5	37.5	2.93
上海Shanghai	24.4	13 813	26.47	8.66	2.3	22.7	3.77
江苏Jiangsu	476.4	263 160	20.16	5.86	548.3	16.0	4.16
浙江Zhejiang	192.1	126 124	27.82	8.27	237.8	27.3	0.52
江西Jiangxi	282.7	117 073	30.12	4.08	349.9	25.8	4.32
安徽Anhui	573.0	585 733	21.64	8.18	622.5	16.1	5.54
福建Fujian	133.0	93 722	26.36	7.09	134.3	23.9	2.46
湖北Hubei	466.4	430 316	22.61	7.54	501.5	21.9	0.71
湖南Hunan	378.9	634 286	33.87	12.54	351.3	29.4	4.47
广西Guangxi	421.8	261 433	30.91	9.66	256.5	26.7	4.21
广东Guangdong	283.1	210 492	24.02	7.89	284.4	22.7	1.32
海南Hainan	72.8	23 225	18.79	8.79	99.0	18.7	0.09
四川Sichuan	594.7	622 013	22.95	11.22	1 114.1	18.6	4.35
重庆Chongqing	223.6	170 806	19.19	6.56	—	—	—
云南Yunnan	607.2	242 085	32.94	15.66	462.8	30.1	2.84
贵州Guizhou	448.5	335 719	35.37	14.46	373.2	31.0	4.37
西藏Tibet	36.2	16 750	27.25	14.50	45.4	26.9	0.35
陕西Shaanxi	405.0	264 328	14.84	5.92	555.6	10.9	3.94
甘肃Gansu	465.9	163 959	14.34	4.82	552.8	14.8	-0.46
宁夏Ningxia	110.7	65 593	13.61	5.98	203.8	9.8	3.81
青海Qinghai	54.3	34 151	23.64	9.67	62.0	24.7	-1.06
新疆Xinjiang	412.5	190 736	16.64	8.81	407.9	16.4	0.24
全国National	12 171.6	8 467 083	24.65	13.53	13 162.7	19.8	4.85

注：①Cultivated area of 2008, ②Sample number of the soil testing and formulated fertilization, ③Average content of SOM during the soil testing and formulated fertilization, ④Standard deviation of SOM during the soil testing and formulated fertilization, ⑤Cultivated area of the second national soil census, ⑥Average content of SOM during the second national soil census, ⑦Changes of SOM during the soil testing and formulated fertilization and the second national soil census

集中在10~30 g kg⁻¹区间,不同的是,全国第二次土壤普查时处于该区间的比例为58.27%,测土配方施肥项目时处于该区间的比例上升至69.31%,同时,处于10 g kg⁻¹以上等级的比例增加了13.31个百分点,达到91.66%。分等级看,耕层土壤有机质含量>40 g kg⁻¹和≤10 g kg⁻¹的比例分别占7.80%和8.34%,14.55%的耕层土壤有机质含量在30 g kg⁻¹~40 g kg⁻¹之间,27.31%的耕层土壤有机质含量在20~30 g kg⁻¹之间,42.01%的耕层土壤有机质含量在10 g kg⁻¹~20 g kg⁻¹之间。

与全国第二次土壤普查时相比,>40 g kg⁻¹等级比例全国平均减少了1.38个百分点,仅有内蒙、安徽、湖南、广西、四川和贵州6省(区)有所上升,平均上升6.66个百分点,其余均下降,平均下降3.4个百分点(表2)。30~40 g kg⁻¹等级比例全国平均增加3.64个百分点,有19个省(区、市)该等级的比例有所上升,平均上升6.33个百分点,北京、河北、河南、广东、海南、西藏、甘肃、宁夏、青海和新疆10省(区、市)有所下降,平均下降1.15个百分点。20~30 g kg⁻¹等级比例全国平均增加5.68个百分点,除北京、内蒙古、上海、湖南、广西、云南下(平均下降3.84个百分点)外,其余24个省(区、市)该等级的比例均有所上升,平均上升6.38个百分点。处于10~20 g kg⁻¹等级的比例全国平均增加5.36个百分点,有18个省在该等级的比例有所上升,平均上升14.7个百分点,12个省在该等级的比例有所下降,平均下降8.65个百分点。6~10 g kg⁻¹等级所占比例除吉林省上升了0.46个百分点外,其余均下降,平均下降9.98个百分点。≤6 g kg⁻¹等级所占比例仅内蒙古、四川分别上升了4.24和0.56个百分点,其余均下降,平均下降3.72个百分点。

造成以上现象的原因,一是>40 g kg⁻¹等级耕地所占比例大范围下降,进入40 g kg⁻¹以下的等级。其中,青海省下降最多,达11.12个百分点,可能是由于城市扩张,原城市周边肥沃的耕地被占用,新开垦耕地的土壤有机质含量较低。此外,黑龙江、吉林两省>40 g kg⁻¹等级的比例分别下降了9.07和1.29个百分点,反映出我国东北地区原先肥沃的耕地土壤,尤其是黑土地在退化,这一点必须引起足够的重视。二是10 g kg⁻¹以下等级耕地大范围减少,上升至10 g kg⁻¹以上等级,这主要归功于

近30年来我国中低产田改造、秸秆还田、沃土工程等工作所取得的成绩。

3 讨论

3.1 30年来中国农田耕层土壤有机质变化

土壤有机质是耕地地力最重要的性状之一,被认为是土壤质量和功能的核心,在农业生产中,土壤有机质是至关重要的决定因子^[12]。30年来,我国农田耕层土壤有机质含量呈整体上升趋势,全国耕层土壤有机质平均含量较全国第二次土壤普查时期提高4.85 g kg⁻¹,即提高24.49%,这与黄耀和孙文娟^[2]及潘根兴和赵其国^[12]等的观点相似。与第二次土壤普查相比,全国有22个省(区、市)的耕层有机质平均含量显著上升,尤其以安徽、湖南、广西、四川、贵州5省(区)较为突出,>30 g kg⁻¹的各等级比例均有所上升,≤10 g kg⁻¹的各等级比例均有所下降。

与全国第二次土壤普查时期相比,吉林、浙江、湖北、海南、西藏、甘肃、新疆7省(区)农田耕层土壤有机质平均含量变化不显著,但是,北京、青海两省(市)出现显著下降。必须引起重视的是,>40 g kg⁻¹等级比例全国平均减少了1.38个百分点,仅有内蒙、安徽、湖南、广西、四川、贵州6省(区)有所上升,其余均下降,平均下降3.4个百分点,尤其是拥有我国70%黑土地的黑龙省,>40 g kg⁻¹等级比例下降了9.07个百分点。

由于中国农田土壤的高强度利用,中国土壤有机质含量与国外相比仍然偏低^[13],如中国土壤和欧洲同类土壤相比,棕壤平均低1.5%~2.0%,褐土低1.0%,黑钙土低5.0%左右^[14]。

3.2 我国农田耕层土壤有机质整体上升的原因

农田土壤有机质主要来源于作物根茬、还田的秸秆、翻压的绿肥以及人畜禽粪便、养殖废弃物、某些轻工业副产品以及部分生活垃圾制成的堆肥等。在自然状态下,影响土壤有机质含量的因素包括气候、植被、母质、地形和时间,而在人类耕作活动影响下,施肥状况和耕作措施则成为短期影响农田土壤有机质含量的主要原因。

秸秆还田技术的推广是我国大部分地区土壤有机质含量增加的最主要原因。秸秆作为植物残体是农田有机物料来源的重要组成部分,还田后可

表2 测土配方施肥与全国第二次土壤普查农田耕层有机质含量分级所占比例

Table 2 The proportion of SOM rating in plow layer during the soil testing and formulated fertilization and the second national soil survey

省份 Province	第二次土壤普查耕层有机质含量各级面积占耕地面积比例 Proportion of SOM rating in cultivated area during the second national soil survey (%) ^[8]						测土配方施肥耕层有机质含量各级样本占总样本比例 Proportion of SOM rating in cultivated area during the soil testing and formulated fertilization (%)					
	> 40 ¹⁾	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	6 ~ 10	≤ 6	> 40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	6 ~ 10	≤ 6
	北京Beijing	0.73	2.57	8.51	58.48	18.70	4.03	0.00	0.00	1.19	82.63	16.18
天津Tianjin	0.36	0.73	6.33	78.91	12.53	1.13	0.00	2.97	27.86	69.18	0.00	0.00
河北Hebei	0.94	1.49	4.94	45.32	38.82	6.41	0.01	0.37	18.02	71.47	9.42	0.72
内蒙古Inner Mongolia	12.75	5.81	13.54	47.70	19.02	0.85	19.54	5.83	12.79	39.41	17.35	5.09
山西Shanxi	0.65	1.13	5.38	32.20	41.28	19.36	0.00	2.21	13.83	53.62	22.24	8.10
山东Shandong	—	—	0.54	31.71	54.92	12.83	0.14	0.64	8.47	69.52	18.71	2.52
河南Henan	0.31	0.65	4.87	52.48	35.39	6.30	0.00	0.01	14.98	79.38	5.63	0.00
辽宁Liaoning	1.40	3.30	15.91	47.40	26.66	5.33	1.10	3.45	20.98	63.97	8.78	1.72
吉林Jilin	12.36	12.03	34.80	38.02	2.72	0.06	11.07	15.20	38.16	32.40	3.18	0.00
黑龙江Heilongjiang	53.22	21.91	17.00	5.13	0.62	—	44.15	29.18	21.48	5.06	0.09	0.03
上海Shanghai	10.97	16.69	44.98	25.51	1.71	0.12	6.96	28.91	37.34	26.76	0.02	0.01
江苏Jiangsu	—	4.55	19.35	53.43	18.45	4.21	0.16	6.08	39.41	54.16	0.18	0.02
浙江Zhejiang	16.80	26.90	30.50	22.10	3.03	0.67	7.90	33.11	38.63	19.71	0.65	0.00
江西Jiangxi	6.93	21.72	46.19	22.45	2.16	0.55	0.45	51.03	46.22	2.29	0.00	0.00
安徽Anhui	0.78	2.64	16.66	64.74	14.08	1.11	2.97	11.82	34.23	48.25	2.29	0.43
福建Fujian	7.62	18.81	38.10	25.07	7.19	3.21	0.00	32.44	46.73	20.35	0.32	0.16
湖北Hubei	5.87	13.31	34.65	38.37	6.18	1.61	1.42	16.08	41.54	38.80	2.14	0.02
湖南Hunan	16.98	31.37	32.55	15.81	2.71	0.59	27.06	32.61	27.89	11.82	0.52	0.10
广西Guangxi	4.70	16.73	38.30	29.15	7.27	3.84	16.95	33.02	38.03	11.61	0.39	0.00
广东Guangdong	10.65	22.40	39.64	22.38	4.57	0.37	2.24	21.10	44.29	29.19	3.13	0.05
海南Hainan	3.74	10.51	25.46	36.16	14.92	9.21	1.61	9.89	28.76	43.01	11.60	5.13
四川Sichuan	2.73	5.80	27.46	48.63	14.74	0.65	7.61	14.98	31.16	37.91	7.13	1.21
重庆Chongqing	26.44	21.75	32.21	14.31	3.42	1.87	26.32	24.09	29.81	17.14	1.98	0.65
云南Yunnan	27.14	25.78	29.12	15.20	2.22	0.54	30.92	27.59	30.07	11.12	0.30	0.00
贵州Guizhou	23.37	15.47	25.03	26.38	8.36	1.16	14.61	13.76	34.96	35.84	0.84	0.00
西藏Tibet	0.49	1.46	4.86	35.59	31.71	25.89	0.22	2.01	13.88	63.52	17.71	2.67
陕西Shaanxi	3.06	3.26	11.17	43.17	33.73	5.44	0.00	0.00	13.19	67.62	19.20	0.00
甘肃Gansu	0.42	1.10	4.36	46.31	34.58	13.23	0.11	1.06	11.74	56.65	20.57	9.88
宁夏Ningxia	18.37	13.52	22.29	35.71	9.64	0.47	7.25	13.48	38.16	37.87	2.82	0.41
青海Qinghai	5.53	3.86	14.02	41.61	26.10	6.77	3.22	3.62	15.38	59.92	15.14	2.73
全国平均 National average	9.18	10.91	21.62	36.65	16.58	4.59	7.80	14.55	27.31	42.01	6.95	1.39

注：1) 本行数据指土壤有机质的分级，g kg⁻¹；表中“—”指无数据Note: 1) The data of this line refer to the classification of SOM, g kg⁻¹; The table “—” means no data

积累土壤有机质, 长期施用秸秆的积累效果更明显^[15-17]。南方稻田连续两年秸秆还田后, 土壤有机质含量平均增加 2.4 g kg^{-1} , 增幅达到 8.0% ^[18]。在安徽的砂姜黑土上, 4年的小麦/玉米轮作定位试验显示, 秸秆还田较对照组土壤有机质含量提高 8.5% ^[19]。黑土区田间定位试验表明, 玉米/大豆轮作体系连续秸秆还田8年后, 土壤有机质含量提高了 6.6% ^[20]。在黄褐土水旱轮作条件下, 连续3年的水稻油菜秸秆还田后, 土壤有机质含量较无覆盖秸秆的对照组提高 6.3% , 差异显著^[21]。自第二次土壤普查以来, 江苏大力推广秸秆还田, 至20世纪90年代末, 全省秸秆还田面积达100多万 hm^2 , 玉米秸秆干物质还田量达 10 t hm^{-2} , 稻麦干物质还田量达 8 t hm^{-2} , 使一般土壤每年增加有机碳达 $0.1 \sim 0.2 \text{ g kg}^{-1}$ ^[22]。

20世纪80年代初以来, 伴随着我国农业投入的增加和科技发展, 尤其是杂交水稻面积的推广, 我国粮食作物单位面积产量快速上升, 由1980年的 $2734.5 \text{ kg hm}^{-2}$ 增加至2007年的 $4748.3 \text{ kg hm}^{-2}$ ^[23], 作物产量的快速提升增加了农作物秸秆数量和归还土壤的根系生物量。1980年, 我国农作物秸秆资源总量不到4.5亿吨^[24], 而到2008年已达到了8亿多吨^[25], 秸秆资源总量大幅增加。与此同时, 我国秸秆还田的比例逐年上升, 根据全国农技中心对30个省(区、市)以及新疆生产建设兵团的调研结果显示, 2008年我国农作物秸秆还田比例为 31.6% ^[25], 与20世纪90年代相比增加了16.4个百分点^[26], 秸秆资源总量的增加与秸秆还田比例的上升共同促使更多的有机资源通过秸秆还田的方式归还回土壤^[2, 12]。

免耕少耕技术的推广也是近年来土壤有机质含量提升的重要因素。免耕少耕使土壤不稳定碳输入增加, 流失减少, 意味着土壤汇集碳增加, 而损失至大气中的 CO_2 减少, 同时, 免耕少耕使风雨对土壤的侵蚀作用降低, 起到减少土壤有机质流失的作用^[27]。潮土区小麦/玉米轮作体系下连续5年的田间定位试验表明, 免耕措施能显著降低土壤 CO_2 排放, 增加土壤有机质含量, 免耕处理土壤有机质含量较初始提高了 35% ^[28]。西北壤土区在研究深松耕、免耕、旋耕和翻耕4种耕作方式下土壤有机质含量的变化时发现, 免耕处理土壤有机质增加幅度较大, 分别较深松耕、旋耕、翻耕提高 32.3% 、 35.2% 和 36.9% ^[29]。南方稻田土壤上也有类似的

结果, 免耕1年后, $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土层土壤有机质含量较试验前增加 0.07 g kg^{-1} , 较翻耕处理土壤有机质含量增加 1.22 g kg^{-1} ^[30]。自1983年农业部将免耕列入全国农业重点推广技术以来, 全国少耕免耕范围不断扩大, 2000年全国少耕免耕面积达260万 hm^2 , 2006年全国少耕免耕面积增至2000多万 hm^2 ^[31], 我国农田耕作方式正在向少耕、免耕及深耕方向发展, 这也是农田土壤有机质含量增加的重要原因。

堆肥和绿肥的施用是我国土壤有机质含量提升的另一个原因。堆肥含有丰富的有机物质, 当被用于农田或退化土壤时, 可增加有机质并改善土壤结构^[32]。长期种植绿肥能丰富和平衡土壤中的养分元素, 改善土壤理化性状, 提高土壤有机质含量^[33]。四年的田间定位试验结果显示, 连年施用有机肥可增加土壤有机质含量, 化肥配施鸡粪较单施化肥的处理土壤有机质含量平均提高 8.1% ^[34]。根据全国绿肥试验网的联合定位试验结果, 无论是南方或北方, 旱地或水田, 平均每公顷压入绿肥鲜草 $22500 \sim 30000 \text{ kg}$, 连续5年, 土壤有机质增加 $0.1\% \sim 0.2\%$ ^[35]。

从20世纪50年代开始, 绿肥在全国各地迅速发展, 至70年代中期进入鼎盛, 然而进入80年代以来, 绿肥播种面积逐年下降, 至1992年绿肥播种面积下降至 411.2 万hm^2 , 资源量 6612 万t ^[36]。21世纪初, 国家出台了部分鼓励绿肥种植的政策, 至2008年我国绿肥播种面积恢复至 437.1 万hm^2 , 资源总量达到 9339 万t ^[25]。绿肥种植面积的逐年增加带动了有机肥施用量的增加, 这种现象在南方水稻种植区尤为普遍^[37]。近年来, 随着我国畜牧养殖业的发展, 畜禽粪便资源量逐年增加, 加之城市化加速带来的厨余垃圾, 使我国堆肥数量整体呈上升趋势, 这也在一定程度上促进了土壤有机质含量的增加。

近年来, 中央一号文件多次指出, 要将耕地质量建设当作一项战略措施抓紧抓好。进入21世纪以来, 国家先后启动了土壤有机质提升、耕地质量提升、优粮工程、新增千亿粮食生产能力建设以及黑土地保护试点等重大项目, 推广秸秆还田、绿肥种植、增施有机肥、土壤改良培肥和测土配方施肥等重大技术, 正在有效促进我国农田土壤有机质含量稳步提升。同时, 仍需清醒地认识到, 我国需要加强土壤有机质的相关研究工作, 如全国哪些地方土

壤有机质含量容易提升,哪些地方有可能下降,哪些地方会比较稳定,有机质含量是不是越多越好,不同区域的有机质含量应处于什么水平比较适宜等。建议国家在继续加强耕地质量建设的同时,加强相关方向的研究投入,为实现农业可持续发展、保障国家粮食安全提供理论基础和技术支撑。

4 结 论

目前,全国农田耕层土壤有机质平均含量为 24.65 g kg^{-1} 。耕层土壤有机质含量 $>40 \text{ g kg}^{-1}$ 和 $\leq 10 \text{ g kg}^{-1}$ 的比例分别占7.80%和8.34%,14.55%的耕层土壤有机质含量在 $30 \sim 40 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,27.31%的耕层土壤有机质含量在 $20 \sim 30 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,42.01%的耕层土壤有机质含量在 $10 \sim 20 \text{ g kg}^{-1}$ 之间。30年来,我国大部分地区农田耕层土壤有机质含量上升,其主要原因是秸秆还田增加了有机养分的投入量,同时,也与少(免)耕及堆肥和绿肥的施用有关。部分地区耕层土壤有机质下降的主要原因是耕地质量保护与提升工作仍未得到应有的重视,秸秆、堆肥和绿肥等有机肥用量仍偏少,同时,城市扩张占用了原来肥沃的耕地,新开垦耕地土壤有机质含量低也是重要原因。

参 考 文 献

- [1] Latha J K, Reddy C K, Padre A T, et al. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *Journal of Environmental Quality*, 2011, 40: 1756—1766
- [2] 黄耀, 孙文娟. 近20年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势. *科学通报*, 2006, 51 (7) : 750—763
Huang Y, Sun W J. Changes in top soil organic carbon of croplands in mainland China over the last two decades (In Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51 (7) : 750—763
- [3] Sun W J, Huang Y, Zhang W, et al. Estimating topsoil SOC sequestration in croplands of eastern China from 1980 to 2000. *Australian Journal of Soil Research*, 2009, 47 (3) : 261—272
- [4] 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
Yang X M, Zhang X P, Fang H J, et al. Changes of organic matter and total nitrogen content in topsoil of black soil in recent 20 years (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24 (6) : 710—714
- [5] Liao Q L, Zhang X H, Li Z P, et al. Increase in soil organic carbon stock over the last two decades in China's Jiangsu Province. *Global Change Biology*, 2009, 15 (4) : 861—875
- [6] 中华人民共和国农业部. 测土配方施肥技术规范. 2011
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification for soil testing and formulated fertilization (In Chinese). 2011
- [7] 全国农业技术推广服务中心. 测土配方施肥土壤基础养分数据集. 北京: 中国农业出版社, 2015
National Agricultural Technology Extension Service Center. Soil nutrient data set of soil testing and formulated fertilization (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2015
- [8] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查数据. 北京: 中国农业出版社, 1997
National Soil Survey Office. China soil survey data (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1997
- [9] 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998
Shen S M. Soil fertility in China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998
- [10] 中华人民共和国国家统计局. 2012年中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2013
China National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2012 (In Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2013
- [11] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法. 北京: 科学出版社, 2012
Zhang G L, Gong Z T. Analytical methods of soil survey laboratory (In Chinese). Beijing: Science Press, 2012
- [12] 潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全. *地球科学进展*, 2005, 20 (4) : 384—393
Pan G X, Zhao Q G. Evolution of soil carbon pool in China: Global change and national food security (In Chinese). *Advances in Earth Science*, 2005, 20 (4) : 384—393
- [13] 自由路. 国内外耕地培育的差异与思考. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (6) : 1381—1388
Bai Y L. Difference and thinking of cultivated land cultivation at home and abroad (In Chinese). *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21 (6) : 1381—1388
- [14] 黄鸿翔. 我国土壤资源现状、问题及对策. *中国土壤与肥料*, 2005 (1) : 3—6
Huang H X. Present situation, problems and Countermeasures of soil resources in China (In

- Chinese). *Soil and Fertilizer Science*, 2005 (1): 3—6
- [15] 赵其国, 钱海燕. 低碳经济与农业发展思考. *生态环境学报*, 2009, 18 (5): 1609—1614
Zhao Q G, Qian H Y. Low carbon economy and agricultural development (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18 (5): 1609—1614
- [16] 陈芝兰, 张涪平, 蔡晓布, 等. 秸秆还田对西藏中部退化农田土壤微生物的影响. *土壤学报*, 2005, 42 (4): 696—699
Chen Z L, Zhang P P, Cai X B, et al. Effect of returning straws to field on microbes of degenerated soil in central Tibet (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (4): 696—699
- [17] Li S M, Li J M, Li C S, et al. Testing the RothC and DNDC models against long-term dynamics of soil organic carbon stock observed at cropping field soils in North China. *Soil and Tillage Research*, 2016, 163: 290—297
- [18] 杨帆, 李荣, 崔勇, 等. 我国南方秸秆还田的培肥增产效应. *中国土壤与肥料*, 2011 (1): 10—14
Yang F, Li R, Cui Y, et al. Effect of fertilization on yield of returning straw to field in South China (In Chinese). *Soil and Fertilizer Science*, 2011 (1): 10—14
- [19] 李玮, 乔玉强, 陈欢, 等. 秸秆还田配施氮肥对砂姜黑土有机质组分与碳库管理指数的影响. *生态与农村环境学报*, 2014, 30 (4): 475—480
Li W, Qiao Y Q, Chen H, et al. Effects of straw returning and nitrogen application on organic matter composition and carbon pool management index (In Chinese). *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2014, 30 (4): 475—480
- [20] 郝翔翔, 杨春葆, 苑亚茹, 等. 连续秸秆还田对黑土团聚体中有机碳含量及土壤肥力的影响. *中国农学通报*, 2013, 29 (35): 263—269
Hao X X, Yang C B, Yuan Y R, et al. Effects of continuous straw returning on soil organic carbon content and soil fertility in black soil aggregates (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29 (35): 263—269
- [21] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 水旱轮作制下连续秸秆覆盖对土壤理化性质和作物产量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18 (3): 587—594
Wu J, Guo X S, Lu J W, et al. Effects of continuous straw mulching on soil physical and chemical properties and crop yield under upland rotation system (In Chinese). *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2012, 18 (3): 587—594
- [22] 赵明松, 张甘霖, 吴运金, 等. 江苏省土壤有机质含量时空变异特征及驱动力研究. *土壤学报*, 2014, 51 (3): 448—458
Zhao M S, Zhang G L, Wu Y J, et al. Spatial temporal variability of soil organic matter content and its driving forces in Jiangsu (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (3): 448—458
- [23] 褚清河, 强彦珍. 中国粮食作物单产增长规律及其原理. *山西农业科学*, 2010, 38 (10): 26—29
Chu Q H, Qiang Y Z. Law and principle of grain yield per unit growth in China (In Chinese). *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2010, 38 (10): 26—29
- [24] 毕于运, 王亚静, 高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布. *农机化研究*, 2010 (3): 1—7
Bi Y Y, Wang Y J, Gao C Y. The number and regional distribution of main straw resources in China (In Chinese). *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2010 (3): 1—7
- [25] 杨帆, 李荣, 崔勇, 等. 我国有机肥料资源利用现状与发展建议. *中国土壤与肥料*, 2010 (4): 77—82
Yang F, Li R, Cui Y, et al. Present situation and development suggestion of organic fertilizer resources in China (In Chinese). *Soil and Fertilizer Science*, 2010 (4): 77—82
- [26] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状. *农业工程学报*, 2002, 18 (3): 87—91
Han L J, Yan Q J, Liu X Y, et al. Crop straw resources and utilization status in China (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, 18 (3): 87—91
- [27] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应. *生态学报*, 2003, 23 (4): 787—796
Yang J C, Han X G, Huang J H, et al. Dynamic response of soil organic matter to farmland management (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (4): 787—796
- [28] 秦越, 李彬彬, 武兰芳. 不同耕作措施下秸秆还田土壤CO₂排放与溶解性有机碳的动态变化及其关系. *农业环境科学学报*, 2014, 33 (7): 1442—1449
Qin Y, Li B B, Wu L F. Dynamic changes of soil CO₂ emission and dissolved organic carbon under different tillage practices (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33 (7): 1442—1449
- [29] 张俊丽, Sikander Khan Tanveer, 温晓霞, 等. 不同耕作方式下旱作玉米田土壤呼吸及其影响因素. *农业工程学报*, 2012, 28 (18): 192—199
Zhang J L, Sikander K T, Wen X X, et al. Effects of different tillage methods on soil respiration and

- its influencing factors in dryland maize fields (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28 (18): 192—199
- [30] 吴建富, 潘晓华, 王璐, 等. 双季抛栽条件下连续免耕对水稻产量和土壤肥力的影响. 中国农业科学, 2010, 43 (15): 3159—3167
Wu J F, Pan X H, Wang L, et al. Effects of continuous no tillage on rice yield and soil fertility under double cropping (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43 (15): 3159—3167
- [31] 刘芳, 雷海霞, 王英. 我国免耕技术的发展及应用. 湖北农业科学, 2010, 49 (10): 2557—2562
Liu F, Lei H X, Wang Y. Development and application of no tillage technology in China (In Chinese). Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49 (10): 2557—2562
- [32] 李季, 彭生平. 堆肥工程实用手册. 北京: 化学工业出版社, 2011
Li J, Peng S P. Practical handbook of compost engineering (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2011
- [33] 刘立生, 徐明岗, 张璐, 等. 长期种植绿肥稻田土壤颗粒有机碳演变特征. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (6): 1439—1446
Liu L S, Xu M G, Zhang L, et al. Evolution characteristics of soil organic carbon in paddy soil with long-term planting green manure (In Chinese). Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21 (6): 1439—1446
- [34] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 旱地施有机肥对土壤有机质和水稳性团聚体的影响. 应用生态学报, 2012, 23 (1): 159—165
Wang X J, Jia Z K, Liang L Y, et al. Effects of organic fertilizer application on soil organic matter and water stable aggregates (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23 (1): 159—165
- [35] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料资源. 北京: 中国农业出版社, 1999
National Agricultural Technology Extension Service Center. Organic fertilizer resources in China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999
- [36] 包雪梅. 中国有机肥料资源与养分再循环研究. 北京: 中国农业大学, 2002: 22—23
Bao X M. Organic fertilizer resources and nutrient recycling in China (In Chinese). Beijing: China Agricultural University, 2002: 22—23
- [37] 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
Zhang Y C. Application of fertilizer and soil nutrients in Guangdong in recent 20 years (In Chinese). Soil and Environment, 2002, 11 (2): 194—196

Variation of Soil Organic Matter Content in Croplands of China over the Last Three Decades

YANG Fan¹ XU Yang¹ CUI Yong¹ MENG Yuanduo¹ DONG Yan¹ LI Rong¹ MA Yibing²

(1 National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

(2 Institute of Agricultural Resources and Regionl Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract 【Objective】 Soil organic matter (SOM) is an important indicator of soil fertility, and also the basis for carrying on build-up of cropland quality and scientific fertilization. Based on the data of the project of soil test based fertilization and the Second National Soil Survey in 2005–2014, analysis was performed for variation of soil organic matter in top soils of the croplands of China. The objectives of the present study are (1) to report current status of SOM in the croplands of China; (2) to explore changes in SOM content in the croplands of China over the last three decades in nationwide; and (3) to discuss causes of the changes. 【Method】 In this paper, the data of SOM in croplands were cited from the *Soil Survey Data of China* and *Soil Fertility of China*, covering a total of 131 627 000 hm² of croplands and the data of the national soil test based formulated fertilization project from the “Basic Nutrient Dataset of the Soils under the Project of Soil Test-Based Formulated Fertilization” covering a total of 8 467 083 data points. As a total of 2 948 agricultural counties (district or city) and farms participated in the project, covering a total of 121 716 000 hm² of croplands calculated according to the data of cropland area by the end of 2008 published

by the National Statistics Bureau of China. The distribution of soil sampling sites of the project of soil test-based formulated fertilization was consistent with the data of cropland distribution at the end of 2008, covering 66 700 m² ~ 133 400 m² (on average) in plain areas, 20 010 m² ~ 53 360 m² in hilly areas, and 6 670 m² ~ 13 340 m² of vegetable land All soil samples were collected from topsoil (mainly 0 ~ 20 cm for crop field and 0 ~ 30 cm for vegetable field) in autumn after crops were harvested. Contents of soil organic matter were measured with the oil heating and potassium dichromate-volumetric method. A total of 8 467 083 soil samples were collected nationwide. The data of the soil-test-based formulated fertilization were mathematical means of the soil samples for each province. The massive data bases acquired from the project of soil test-based formulated fertilization and the second national soil survey were analyzed for variation of soil organic matter content in cropland of the country over the last three decades. Based on the data of soil organic matter contents in the croplands of the Second National Soil Survey, the croplands could be sorted into six grades, i.e. > 40 g kg⁻¹, 30 g kg⁻¹ ~ 40 g kg⁻¹, 20 g kg⁻¹ ~ 30 g kg⁻¹, 10 g kg⁻¹ ~ 20 g kg⁻¹, 6 g kg⁻¹ ~ 10 g kg⁻¹ and ≤ 6 g kg⁻¹ 【Result】 Results show that the average content of soil organic matter in plough layer of the country is found to be 24.65 g kg⁻¹, with the highest in Heilongjiang province being 40.43 g kg⁻¹ and the lowest in the Ningxia Hui Autonomous Region being 13.61 g kg⁻¹, and 4.85g kg⁻¹ or 24.49% higher than the average of the second national soil survey. The content of soil organic matter in the croplands of the grade of 30 g kg⁻¹ ~ 40 g kg⁻¹ increased by 3.64 percentage points, in those of the grade of 20 g kg⁻¹ ~ 30 g kg⁻¹ by 5.68 percentage points, and in those of the grade of 10 g kg⁻¹ ~ 20 g kg⁻¹ by 5.36 percentage points, but in those of the grade of > 40 g kg⁻¹ decreased by 1.38 percentage points. In most provinces or regions, soil organic matter increased or remained almost unchanged in content over the past three decades, but in Beijing and Qinghai, it was found to have been decreased slightly. The increases in content of soil organic matter in the plough layers of the country could be attributed to the farming practices of straw incorporation, zero or minimum tillage, and application of organic and green manures. Also, leaving crop stubs in the field is an important practice increasing soil organic matter content. 【Conclusion】 The average content of soil organic matter in the plough layers of different croplands in China is found to be 24.65 g kg⁻¹. Most of the croplands have been varying in the range from 10 to 30 g kg⁻¹, and exhibiting a rising trend in soil organic matter content over the past three decades, although in some regions croplands originally high in soil organic matter content have decreased somewhat. So the content of soil organic matter in the plough layers will keep on increasing with increasing organic matter input into the croplands in future.

Key words Soil organic matter; Soil survey; Cropland; The project of soil test-based formulated fertilization; China

(责任编辑: 陈荣府)