

盐渍化改造区土壤有机质变化与培肥系统研究^①

牛灵安 郝晋珉 张宝忠 牛新胜

(中国农业大学 资源与环境学院,北京 100094)

摘要 本文以曲周试验区为例,研究了盐渍土改造区土壤有机质演化的阶段性特征及系统培肥措施。盐生植被归还条件下,土壤有机质含量小于 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,近乎贫瘠。随着化肥用量的增加,作物生物产量增加,以根茬归还土壤,从而使土壤有机质含量提高到 $8 \sim 9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;加大秸秆还田量,土壤有机质含量可提高并维持在 $10 \sim 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。20 世纪 90 年代以后,随着高产作物品种的出现、生产条件的改善、物质投入的增加,作物产量明显提高,无论是以根茬还是秸秆还田都会增加还田量,使土壤有机质含量超过 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有的达到了 $12.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;农牧结合,以优质的有机物质归还土壤,使土壤有机质含量持续提高到 $15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上。土壤培肥措施要适应土壤有机质在盐渍化改造区条件下的积累和演化的阶段性和农业-农村发展的阶段性。

关键词 盐渍土改造区;土壤有机质;培肥

中图分类号 S 158

文章编号 1007-4333(2003)S0-0026-05

文献标识码 A

The changes of soil organic matter and fertilization system in the salt-affected area

Niu Ling'an, Hao Jinmin, Zhang Baozhong, Niu Xinsheng

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract This paper describes the phase characteristic of soil organic matter and fertilization system in the salt-affected area of Quzhou Experimental Field. With returning the halophyte plants, the soil was very poor and contained organic matter as low as $5.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. At the initial stage of clearance soil, the crop biomass increased. The crop roots returned to the soils. The soil organic matter was about $8.0 \sim 9.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. When increasing straw amendment into the soil, the soil organic matter increased to $10.0 \sim 12.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Since 90's of 20 th century, crop yield largely increased due to introducing high yield varieties and improving agricultural production conditions, the soil organic matter increased to $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, even to $12.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, because of the increases of roots and straw returning to the soil. If a large amount of high quality organic matter such as cattle and human manure was returned to the soils, the soil organic matter could be up to $15.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Finally, all the measures of fertilizing the soil should adapt to accumulation and phase characteristics of the soil organic matter in the salt-affected area and phase characteristic of farming-countryside development.

Key words salt-affected area; soil organic matter; fertilization

有机质是土壤中的重要物质,决定土壤生产力最重要的因素,对土壤肥力起着多方面的作用,它不但是植物养分的来源之一,而且能改善土壤的理化性质及生物学特性。在盐渍土改良过程中,能增加土壤营养元素的含量,改善土壤结构,减少水分蒸发,抑制盐分上升,促进入渗脱盐。因此,有机质具有培肥土壤和调节盐分的双重作用。

盐渍化改造区土壤有机质的变化及土壤的系统培肥有其特殊的过程。本研究以中国农业大学曲周实验站的长期定位试验为基础,系统研究了盐渍化

改造区土壤有机质的历史变化及土壤的系统培肥过程,为盐渍化改造区农业结构调整奠定了基础。

1 盐渍化改造区综合治理过程回顾

历史上曲周是有名的老碱窝,盐碱地低洼不平,盐土丘林立,春天多旱,盐碱上返,播种少出,苗出少活,夏秋多涝。曲周县历代劳动人民在治理盐碱地的过程中,做过许多尝试,采取沟播、起碱土、造台田、围捻蓄水、种植红荆和苜蓿等方法。由于受小农经济限制,缺乏科学知识,收益不大。

收稿日期:2003-10-12

作者简介:牛灵安,博士研究生,现在邯郸市农业学校工作;郝晋珉,教授,博士生导师,联系作者,主要从事土地利用规划,农业区域发展研究。

在辛德惠院士“农业-农村发展三阶段理论”的指导下,完成了综合治理旱、涝、盐、薄,创造优良农业生产基本条件和农业生态环境的农田工程规划设计和实施的规范化技术体系,形成了一套完整的以调控和充分利用当地水资源为核心的工程系统,保证了农业技术的有效利用。1989年,曲周试区小麦、玉米、棉花三大作物的平均产量分别达到了4 690.5、5 214和1 093.5 kg·hm⁻²。截至1988年,三代试区人均收入1 517.2元,比综合治理前增长了数十倍。

在农田工程系统的正常运转下,曲周试区抗旱、排涝能力大大提高;农田林网工程充分发挥了其防护和改善环境的效益,农村环境质量不断提高,试区已形成有益于人们健康的优良环境。

2 土壤有机质含量的阶段性特征

盐渍土的肥力特征,可以用“瘦、冷、死、板”来加以概括:

瘦,是由于盐份含量高,盐渍土上的植被和作物生长不良,有机质来源少,同时盐份的化学组成也降低了某些养分元素的有效性,不能提供作物生长所需要的养分;

冷,指盐渍土有机质含量低,盐份吸湿能力强,土壤物理性状差,早春增温慢,晚秋降温快;

死,一是土壤微生物和动物含量少,生物活性低;二是播种后难出苗,早期不发苗;

板,就是土壤板结,耕性差。

曲周试区盐渍土养分的特点可描述为:有机质含量低,为5~8 g·kg⁻¹;氮素缺乏,全氮含量0.24~0.60 g·kg⁻¹;磷素奇缺,有效磷含量大多在5 mg·kg⁻¹以下。同时,盐渍土的物理性状差,难于耕作,不适宜作物生长。因此,在影响土壤生产力形成的主要障碍因素“地碱、水咸”得到初步治理和控制的同时,培肥土壤、提高地力,是提高和发挥盐渍土生产潜力的保证。

随着盐渍土的不断耕种熟化,土壤有机质的积累表现出阶段性特征,不同的发展阶段呈现出生产和持续发展的特殊性,而各个阶段的培肥措施又是互相衔接的整体系统。

2.1 盐荒地中的土壤有机质

在浅层咸水型盐渍化地区,由于地下、地面径流

排水不畅,地下水位较高(埋深为1.0~1.5 m,涝年水位可上升至地表),且地下水矿化度较高(一般在5~7 g·L⁻¹,高的可达11~16 g·L⁻¹),由于蒸发作用盐分随水运动至地表,并不断积累而形成盐渍土,从而造成了植被以碱蓬、灰绿藜等为优势种的群落类型。这些植被生长量小且多为直根型,分布浅,同时由于所处环境恶劣,植物较早死亡,使植物的地上和地下部分生物量少且分解时间较长,很难形成大量的土壤腐殖质,有些地方甚至寸草不生,土壤有机质含量在2~5 g·kg⁻¹。如曲周试验区旦寨西0~20和20~40 cm土壤有机质含量分别为4.5和2.3 g·kg⁻¹;李庄西则分别为6.6和5.5 g·kg⁻¹。

2.2 治理初期土壤有机质

盐碱荒地开垦后,土壤有机质含量在第1年都有不同程度的下降,主要是因为土壤通气性增强、温度升高、微生物活动加剧,从而导致土壤有机质分解速度加快,归还量小于分解量所致。提高土壤有机物的归还量是提高有机质含量的主要途径。在开垦种植前期,随着作物生产水平的提高,生物总量明显提高,地下根系生物量也明显高于自然植被条件下的根系归还量。在燃料、饲料俱缺的条件下,植物根茬成为土壤有机物的主要归还物。研究结果表明:通过提高作物的复种指数和化肥施用量,可以增加作物的生物总量(包括根茬产量)(表1)。在华北平原耕作条件下,维持土壤有机质在10 g·kg⁻¹左右,

表1 各观测点作物生物量

Table 1 Biomass production of different sites

生产力水平	地点	(kg·hm ⁻²)	
		总生物量	根茬量
高产水平	张庄北	22 689.1	2 928.1
	张庄南	20 312.8	2 325.0
中产水平	王庄东	22 562.8	2 504.1
	王庄西	16 252.5	1 971.0
低产水平	付庄东	19 228.1	2 247.8
	付庄西	9 254.3	1 061.3

每年每hm²耕层有机质消耗为900 kg,有机质腐殖化系数按0.3计算,每年需补充3 000 kg·hm⁻²的有机物,由表2可以看出,处于高产水平的张庄,其作物根茬的产量可以维持土壤有机质含量不降低。以根茬和部分秸秆为主要归还物,可以维持和提高土壤有机质含量,使其从5 g·kg⁻¹提高到8~9 g·kg⁻¹(表2)。

表2 治理初期不同 NP 化肥配比对土壤有机质的影响

Table 2 Effects of chemical fertilizer on soil

O. M. in the initial stage (g · kg⁻¹)

年度	处 理									
	CK	N ₁	N ₂	P ₁	P ₂	N ₁ P ₁	N ₁ P ₂	N ₂ P ₁	N ₂ P ₂	
1984	6.0	5.7	5.8	6.1	5.8	6.9	6.6	6.1	6.4	
1993	7.8	8.9	8.9	8.4	8.3	9.1	8.8	8.8	8.9	

注: N₁, 135 kg · hm⁻² (N); N₂, 270 kg · hm⁻² (N); P₁, 67.5 kg · hm⁻² (P₂O₅); P₂, 135 kg · hm⁻² (P₂O₅) (下同)

表3 免耕试验对土壤有机质的影响

Table 3 Effects of no-tillage experiment on soil O. M.

g · kg⁻¹

年度	处 理								
	翻 ₁ N ₁ P ₁ 秆 ₁	翻 ₁ N ₂ P ₂ 秆 ₂	翻 ₁ N ₃ P ₃ 秆 ₃	翻 ₂ N ₁ P ₂ 秆 ₃	翻 ₁ N ₂ P ₃ 秆 ₁	翻 ₁ N ₃ P ₁ 秆 ₂	免 N ₁ P ₃ 秆 ₂	免 N ₂ P ₁ 秆 ₃	免 N ₃ P ₂ 秆 ₁
1987	7.93	7.90	7.73	8.10	7.80	7.83	7.90	7.77	8.70
1992	10.13	10.60	10.67	10.00	9.87	9.60	10.53	11.07	9.00

注: 翻₁, 将麦秸翻入土中; 翻₂, 将麦秸覆盖在地表; 免, 免耕; N₁, 112.5 kg · hm⁻² (N); N₂, 187.5 kg · hm⁻² (N); P₁, 75 kg · hm⁻² (P₂O₅); P₂, 150 kg · hm⁻² (P₂O₅); 秆₁, 0 kg · hm⁻²; 秆₂, 2 250 kg · hm⁻²; 秆₃, 4 500 kg · hm⁻² (下同)

2.4 土壤有机质持续提高阶段

在开垦种植前期, 华北平原自然条件下, 依靠植物本身的自然归还或秸秆还田, 土壤有机质仅能维持在一定水平上, 施用 C/N 较低且腐殖化系数较大的人畜粪尿可以在短期内 (7~10 年) 迅速提高土壤有机质含量 (表 5), 且可以达到 12~15 g · kg⁻¹。

表4 曲周试区典型地块土壤有机质调查 (1994-03)

Table 4 Investigation of soil O. M. of typical sites in Quzhou experiment area

采样地点	培肥方式	土壤有机质/ (g · kg ⁻¹)
王庄南路东	化肥 + 秸秆, 7 年 (小麦/棉花)	11.4
李庄靶场东	化肥 + 秸秆, 5 年 (小麦/棉花)	10.7
张庄南	化肥 + 秸秆, 10 年 (小麦/玉米)	12.2
王庄南路西	化肥 + 秸秆, 5 年后用人畜粪尿 2 年 (菜地/小麦)	12.4
张庄西	化肥 + 秸秆, 5 年后用人畜粪尿 5 年 (菜地)	14.3
李庄西	化肥 + 秸秆, 2 年后用人畜粪尿 8 年 (菜地)	15.3

2.3 盐渍土改良稳定阶段的土壤有机质

土壤有机质含量达到 8~9 g · kg⁻¹ 以后, 单纯依赖归还有限的作物根茬难以持续提高土壤有机质含量以及作物产量。在此基础上, 持续增加土壤有机质的积累, 提高土壤肥力必须进一步增加有机物的归还量。由表 3 可以看出: 施用秸秆可以使土壤有机质连续多年增长, 且可达到 10~11 g · kg⁻¹ 的较高水平。大田调查也同样证明这一点 (表 4)。

20 世纪 90 年代以后, 随着作物高产品种的不不断涌现、农业生产条件的不断改善、物质投入的不断增加, 作物产量明显提高, 小麦产量从 1990 年的 4 357.5 kg · hm⁻² 增加到 2002 年的 5 457 kg · hm⁻²; 玉米产量从 1990 年的 5 214 kg · hm⁻² 增加到 2002 年的 7 077 kg · hm⁻², 相应地作物秸秆产量也随之增加, 无论是以根茬 (根茬量测算值为 3 243.44 kg · hm⁻², 2002 年) 还是秸秆 (秸秆量测算值为 14 495.1 kg · hm⁻², 2002 年) 还田都会增加还田量, 进而提高土壤有机质含量, 使其超过 10 g · kg⁻¹, 甚至达到了 12.50 g · kg⁻¹ (表 5, 6)。

表5 不同 NP 化肥配比对土壤有机质的影响

Table 5 Effects of chemical fertilizer on soil O. M. in the comprehensive agricultural stage

g · kg⁻¹

年度	处 理								
	CK	N ₁	N ₂	P ₁	P ₂	N ₁ P ₁	N ₁ P ₂	N ₂ P ₁	N ₂ P ₂
2001	9.3	10.5	10.0	9.4	9.7	10.8	10.7	10.4	10.6

表6 免耕试验对土壤有机质的影响

Table 6 Effects of no-tillage experiment on soil O. M. in the comprehensive agricultural stage

g · kg⁻¹

年度	处 理								
	翻 ₁ N ₁ P ₁ 秆 ₁	翻 ₁ N ₂ P ₂ 秆 ₂	翻 ₁ N ₃ P ₃ 秆 ₃	翻 ₂ N ₁ P ₂ 秆 ₃	翻 ₁ N ₂ P ₃ 秆 ₁	翻 ₁ N ₃ P ₁ 秆 ₂	免 N ₁ P ₃ 秆 ₂	免 N ₂ P ₁ 秆 ₃	免 N ₃ P ₂ 秆 ₁
2001	10.00	12.50	13.10	9.30	11.80	11.20	11.80	12.10	11.40

3 盐渍化改造区土壤的系统培肥

盐渍化改造区土壤肥力的提高是多种因素综合

作用的结果, 任何单一措施都不能使土壤肥力持续提高。土壤培肥是一个系统过程, 必须与盐渍化综合治理和持续发展相适应。

以曲周试验区为例,在自然和社会条件下,土壤有机质的积累过程表现出阶段性特征。它与区域的综合治理和持续发展阶段相适应。不同阶段,表现出的生产与持续发展要求具有特殊性,土壤培肥措施系统也表现出阶段的特殊性,而各阶段的培肥措施又是相互衔接的有机整体。

3.1 改变基本条件

盐渍化土壤是多种因素综合作用的产物;是旱、涝、碱、咸综合危害的结果。土壤培肥是在改变其基本条件的基础上,采取综合治理措施,效果才更加明显。进行盐碱地改造,首要问题是建立包括井(深浅机井组)、沟(深浅沟排水系统)、渠(地上、地下灌溉系统)、建(各种配套建筑物)、平(改造微地貌)、田(建立适应田间运输和机械作业的方田)、路(合理的交通运输网)、林(乔、灌结合的防护林带、林网;经济林果等)、草(牧草、绿肥等)、机(机械建设)、电(动力系统)、监(监测预报系统)的强有力的农业工程系统。

3.2 提高土壤有机质含量

根据曲周试验区的研究和实践,提高土壤有机质含量,要根据治理的不同阶段以及土壤有机质演化的阶段性规律采取相应措施。

3.2.1 脱盐——增加生物量总量 盐渍土的开垦初期,土壤盐分含量较高,浅色草甸土表层含盐量达 $1.0 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;白碱地(以 NaCl 和 Na_2SO_4 为主的氯化物——硫酸盐盐土)达 $9.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;盐碱地(以 NaCl 为主的氯化物盐土)为 $32.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;卤碱地(以 CaCl_2 、 MgCl_2 、 NaCl 为主的潮湿盐土)达到 $37.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,限制了作物生长发育。降低盐分含量,提高土壤生物产量的归还,为本阶段的主要目标。

种植绿肥牧草,如紫花苜蓿等,因其具有较深的植物根系活动层和庞大的生物量,促进了土体脱盐,同时较快地增加了有机质含量,种植2年后土壤有机质含量可提高到 $7 \sim 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3.2.2 扩大作物种植面积,促进根茬归还量 种植作物后,人工植被取代了自然的盐生植被,生物产量有了明显的增加,但单纯依靠土壤中的养分是不能维持作物产量的提高,必须施用一定量的化肥,以提高作物的生物产量,进而实现土壤有机质含量的提高。而此时,农村经济比较薄弱,作物秸秆主要用作燃料而移出土体,作物地下部分的归还还是土壤有机质的主要补充来源,土壤有机质含量可提高并维持在 $8 \sim 9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。

3.2.3 提高作物产量,加大秸秆还田量 随着土壤

脱盐的加深,盐碱危害趋于减轻,作物生长条件有了较大的改善。第一性生产的提高促进了综合治理的发展,作物生产的增长,能够保证经济的较大增长。这时,作物对土壤养分及有机质的消耗量都大大增加,必须加大化肥的使用量和适当的 NP 配比;另一方面,作物的经济产量和生物产量均有较大的提高。这不仅加快了农村经济的发展,而且为土壤有机质提供了充足的积累。同时,农民的收入明显提高,燃料结构发生明显变化,即燃煤代替了燃烧秸秆,为大量秸秆的还田创造了条件。秸秆还田配合施用适量的化肥,促进土壤有机质的积累,使土壤有机质含量首次突破 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但只能维持在 $10 \sim 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3.2.4 农业综合发展,促进土壤有机质的持续提高

随着第一性生产的提高及农村经济的发展,持续土地利用以及持续提高土壤肥力成为农业发展的基本目标。

在综合农业发展的前期,当作物产量达到一定程度时,化肥不再是增产的唯一因素,且超量的化肥投入不仅在经济上造成浪费,而且还污染地下水和环境。在控制化肥施用量的基础上,调整作物品种尤其是推广高产品种将会使作物产量达到或超过 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,作物的根茬也相应地增加,使土壤有机质含量达到和超过 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。大量的秸秆还田可进一步增加土壤有机质含量,使其达到 $11 \sim 13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

从农业持续发展的角度出发,提高能量利用率,挖掘当地的资源潜力是提高生态效益的重要目标。将各类农副产品,如秸秆等加以重复利用(如过腹还田)既为畜牧业发展提供了饲料,又为第一性产品的开发、能量利用率的提高找到了有效的途径;畜牧业的排泄物是极易分解、可转化为结构优良、有助于腐殖化过程的有机物质。

优质有机物的施用,对于土壤有机质的积累起到了促进作用,其含量可以进一步提高到 $15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,这对于土地的持续利用、农村-农业的持续发展将起到重要的作用。

4 结 论

盐渍土改造区土壤的治理过程是从具有“瘦、冷、死、板”肥力特征的盐碱荒地逐步过渡到可以持续利用的高产稳产土地的土壤熟化过程,肥力不断提高,呈现出阶段性特征。土壤有机质的积累和转化过程同样具有阶段性特征。

归还盐生植被,土壤有机质含量低,小于 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,开垦初期,植物覆盖度增加,提高了作物生物总产量,以根茬归还土壤,使土壤有机质含量提高并维持在 $8 \sim 9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间;随着作物优良品种的不断涌现,明显提高作物产量,归还根茬使土壤的有机物质相应增加,土壤有机质含量达到或超过了 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。秸秆还田,以无机换有机,可使土壤有机质含量提高到 $11 \sim 13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。农牧结合,以优质的有机物质归还土壤,使土壤有机质含量提高到 $15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上。

土壤培肥措施要适应土壤有机质在盐渍化改造区条件下积累和演化的阶段性特征及农业-农村发展的阶段性。土壤有机质的提高、土壤培肥措施以及土地持续利用和农业发展,构成了一个完整的系统。盐渍化改造区的治理过程和培肥过程实质上是土壤有机质含量不断提高的过程。

参 考 文 献

- [1] 郝晋珉,牛灵安. 盐渍土持续利用过程中土壤有机质演化的阶段特征[J]. 中国农业大学学报,1996,1(1):
- [2] 郝晋珉,牛灵安. 盐渍土改良与持续利用中的土壤系统培肥[A]. 全国盐渍土资源与农业持续发展研讨会[C]. 1994
- [3] 郝晋珉,李维炯. 盐渍化肥力特征及其调控[A]. 土壤肥力研究进展[C]. 北京:中国科学技术出版社,1991
- [4] 辛德惠,李维炯. 浅层咸水型盐渍化低产地区综合治理与发展[M]. 北京:北京农业大学出版社,1991
- [5] Hao Jinmin, Niu Ling'an. Sustainable management in utilization of salt-affected soil [A]. Proceeding of the international workshop on classification and management of arid-desert soils [C]. Beijing:Beijing Science and Technology Press,1993
- [6] 牛灵安,秦耀生,郝晋珉,等. 曲周试区秸秆还田配施氮磷肥的效应研究[J]. 土壤肥料,1998(6):32~35