

李思萌, 于 军, 周正立, 等. 有机种植对土壤主要理化性质及重金属含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(2): 253–257.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.02.071

有机种植对土壤主要理化性质及重金属含量的影响

李思萌¹, 于 军¹, 周正立¹, 王宏燕², 孙 岩², 王 玲², 高敬尧²

(1. 塔里木大学, 新疆阿拉尔 843300; 2. 东北农业大学, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:对黑龙江省庆安、查哈阳、北安 3 个地区的有机种植基地与周边常规农田的土壤进行取样调查, 旨在比较有机种植与常规种植 2 种植方式对土壤主要理化性质以及土壤中重金属含量的不同影响。结果表明, 与常规种植相比, 施用有机肥的有机种植能明显提高土壤养分含量。其中, 土壤有机质、总氮、总磷的含量最大提高 6.97% ~ 7.69%; 而速效磷、速效钾等养分含量提高 18.52% ~ 53.5%; 且施用有机肥, 对土壤物理性质有明显的改良作用, 能降低土壤容重, 增加土壤中 >0.25 mm 水稳性团聚体含量。此外, 有机种植对土壤中重金属的富集有一定的抑制作用, 其中土壤中 As、Hg、Cd、Cr 含量降低了 51.46% ~ 82.99%。

关键词:有机种植; 重金属; 土壤肥力; 土壤理化性质; 水稳性团聚体; 有机农业发展

中图分类号:S157.4+32 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)02-0253-05

我国是粮食大国, 仅拥用全球 8% 的耕地, 生产了全球 21% 的粮食, 但同时化肥消耗量占全球的 35%, 人们对化肥有了越来越多的依赖。2015 年联合国粮农组织统计资料 (FAOSTAT) 显示, 粮食产量与氮、磷化肥的投入量有极显著的线性正相关关系^[1]。然而, 由于化肥的过度使用和连年耕种, 使耕作土壤有机质含量下降, 土壤肥力降低, 土壤板结^[2]。“肥越用越多, 地越种越馋”, 这是我国粮食“十一连增”背后的尴尬现实。2015 年农业部提出, 将在全国范围内实施化肥使用量零增长行动, 力争到 2020 年主要农作物化肥使用量实现零增长。有机农业是指在生产中完全或基本不用人工合成的肥料、农药、生长调节剂和畜禽饲料添加剂, 而采用有机肥满足作物营养需求的种植业或采用有机饲料满足畜禽营养需求的养殖业, 强调农业发展的生态本质, 尊重生态经济规律, 协调生产、发展与生态环境之间的关系。我国有机农业经历了研究探索阶段、奠定基础阶段和规范化快速发展阶

段, 现已成为非常具有发展潜力的“朝阳产业”。土壤环境质量不仅影响土壤保持和供应水肥的能力, 对调控土壤气热状况以及水分入渗性能和地表径流的产生也有重要作用, 因而研究有机种植对土壤环境质量的影响、对推动有机农业的发展具有重要意义^[3-4]。在有机种植与常规种植的比较研究方面, 国内外专家进行了大量的长期定位试验^[5-7]。刘玉涛认为, 连年施用有机肥可增加土壤有机质, 改善土壤结构^[8]。王健鹏等通过试验证明有机种植可以改善土壤的 pH 值, 在一定程度上调节土壤的酸碱度, 改良土壤, 大大提高土壤微生物量的碳氮含量, 增强土壤生物活性, 加速有机质的分解和转化, 从而改善土壤的肥力状况^[9]。国内外在有机种植与常规种植对土壤中重金属含量的影响方面作了一定的比较研究^[10-11], 大部分研究发现与常规种植相比, 有机种植下土壤重金属含量低, 污染风险小。目前国内外的研究多是针对土壤肥力的某一单一指标, 而全面比较有机种植与常规种植对土壤环境质量影响的研究相对较少。因此, 本试验选择东北地区有机水稻、有机玉米农业种植基地, 通过实地调查取样, 监测有机种植基地和常规种植地块土壤环境质量, 比较有机种植基地与周围常规种植地块土壤容重、土壤中水稳性团聚体含量、土壤中各养分含量及重金属含量的差异, 为发展有机农业、促进我国绿色产业的发展提供理论基础。

收稿日期: 2016-03-06

基金项目: 公益性行业 (环保) 科研专项 (编号: 201309036)。

作者简介: 李思萌 (1990—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 研究方向为农业生态学。E-mail: lisimeng0317@163.com。

通信作者: 于 军, 教授, 研究方向为生态学。E-mail: tdakjc@163.com。

- [23] Zhou Q H, He F, Zhang L P, et al. Characteristics of the microbial communities in the integrated vertical-flow constructed wetland [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21 (9): 1261–1267.
- [24] Tietz A, Kirschner A, Langergraber G, et al. Characterisation of microbial biocoenosis in vertical subsurface flow constructed wetlands [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, 380 (1/2/3): 163–172.
- [25] 吴 卿, 赵新华. 应用 PCR-DGGE 研究饮用水中微生物的多样性[J]. *南开大学学报 (自然科学版)*, 2007, 40 (3): 92–96.
- [26] 张 巍, 赵 军, 郎成明, 等. 人工湿地系统微生物去除污染物的研究进展[J]. *环境工程学报*, 2010, 4 (4): 721–728.

- [27] 梁 威, 胡洪营. 人工湿地净化污水过程中的生物作用[J]. *中国给水排水*, 2003, 19 (10): 28–31.
- [28] 付融冰, 杨海真, 顾国维, 等. 人工湿地基质微生物状况与净化效果相关分析[J]. *环境科学研究*, 2005, 18 (6): 44–49.
- [29] 梁 威, 吴振斌, 周巧红, 等. 构建湿地基质微生物与净化效果及相关分析[J]. *中国环境科学*, 2002, 22 (3): 282–285.
- [30] 李 智, 杨在娟, 岳春雷. 人工湿地基质微生物和酶活性的空间分布[J]. *浙江林业科技*, 2005, 25 (3): 1–5.
- [31] 罗玲玲, 钟艳霞, 李小宇. 银川平原天然湖泊湿地生态系统水质净化能力探究[J]. *生态经济*, 2014, 30 (9): 177–184.
- [32] 商新利. 不同类型人工湿地中微生物分布及去除效果相关性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012: 24–31.

1 材料与方法

1.1 研究地概况

本研究选取 3 个试验地,即为黑龙江省庆安(A)有机水稻种植基地(127°50'E、46°87'N)、黑龙江省农垦齐齐哈尔管理局查哈阳(B)农场有机水稻种植基地(123°86'E、48°15'N)、黑龙江省农垦北安(C)管局红星农场有机玉米种植基地(126°74'E、47°85'N)。3 个有机基地都属于寒温带大陆性季风气候,年均温度 0.8~1.7℃,年降水量 470~577 mm,年均日照时数 2 599~2 773 h(表 1)。

庆安有机水稻种植基地有机地块(A1),施有机肥量为 2 950 kg/hm²,所施有机肥的有机质含量≥35%,总养分(N +

P₂O₅ + K₂O)含量≥6%;常规施肥地块(A2),施复合肥,施肥量为 295 kg/hm²。查哈阳有机水稻种植基地有机地块(B1),施有机肥量为 2 100 kg/hm²,有机质含量≥30%,总养分(N + P₂O₅ + K₂O)含量≥4%;常规地块(B2)施用复合肥,施肥量为 205 kg/hm²。北安有机种植基地(C1)是玉米和大豆轮作,主要施用自产的有机肥,有机质含量≥40%,总养分(N + P₂O₅ + K₂O)含量≥4%,施肥量为 2 780 kg/hm²;常规种植施用复合肥(C2),施肥量为 277 kg/hm²。2014 年 5 月进行播种,10 月收获。所选的 3 个基地在实施有机种植以前与周围相邻常规种植基地的土壤性状、土地利用方式以及种植作物等方面基本一致。

表 1 供试土壤理化性质

地点	作物	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
庆安	水稻	7.48	33.74	1.87	2.30	27.47	194.42
北安	玉米	6.22	55.77	2.79	2.43	35.20	197.22
查哈阳	水稻	6.01	35.74	1.93	2.51	30.62	183.25

1.2 土样的采集与测定方法

1.2.1 土样的采集 本研究土壤取样期为 2014 年 7 月,每个基地有机地块与常规地块各设 3 个小区,采取棋盘式布点随机取样,采用四分法取土样,每个处理 3 个重复,在采集和运输过程中尽量减少对土样的扰动,以免破坏团聚体。将取回的土样于实验室内自然风干,压碎,磨平过筛(筛子孔隙分别为 1.00、0.15、0.25 mm),备用。容重等物理性质按照取样要求用环刀等取土。

1.2.2 测定方法

1.2.2.1 土壤物理性质 土壤水稳性团聚体的测定采用湿筛法;土壤容重的测定采用环刀法。

1.2.2.2 土壤化学性质 土壤 pH 值的测定采用电位测定法;土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾容量法;土壤全氮含量的测定采用凯氏定氮法;土壤全磷含量的测定采用比色法;土壤速效磷含量的测定采用比色法;土壤速效钾含量的测定采用火焰光度法;土壤硝态氮含量的测定采用酚二磺酸比色法。土壤微生物量的测定采用熏蒸法^[12]。

1.2.2.3 土壤中全量重金属的测定 过 0.15 mm 筛的土壤样品在高压消解罐中,用氢氟酸-双氧水-硝酸前处理样品,消解后用 ICP-MS 测定土壤中 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Hg、As 的含量。

1.3 数据处理

数据的方差分析和相关分析均采用 SPSS 22.0 软件完成,采用 Excel 作图,试验所得数据均为 3 次重复的平均值,误差用标准差表示。所有的差异显著性分析均采用新复极差法在 α=0.05 水平上进行检验。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对土壤物理性质的影响

2.2.1 不同种植方式对土壤容重的影响 土壤容重是土壤肥力以及土壤质量的重要指标之一,不同类型土壤容重不同,所表现出来的物理性状也有所差别,而不同施肥方式也会对耕层土壤容重产生重要影响。从图 1 可以看出,与常规种植相比,施加有机肥处理土壤容重均有所下降,但下降幅度不

大。其中,A1、B1、C1 处理土壤容重分别为 1.255、1.308、1.333 g/cm³,与 A2、B2、C2 处理相比分别下降 1.88%、1.28%、1.04%。说明有机种植有利于改善土壤的孔隙结构,提高土壤的透气性。

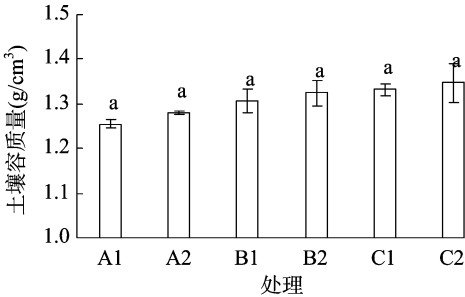


图 1 有机种植对土壤容重的影响

2.1.2 不同种植方式对土壤水稳性团聚体含量的影响 土壤团聚体是土壤结构的基本单元,土壤结构可以调节土壤的物理和生物过程,并影响土壤有机质的分解^[13]。如图 2 所示,有机种植土壤 0~0.25 mm 团聚体较常规种植有所降低,而>0.5 mm 团聚体含量均有增加,其中 B2 处理的 0.5~2 mm 团聚体含量为 28.29%,而>2 mm 团聚体含量为 6.66%,远高于常规种植。说明有机种植能使土壤中小团聚体胶结起来形成大团聚体,能大大提高土壤团聚体的稳定性。

2.2 不同种植方式对土壤化学性质的影响

2.2.1 不同种植方式对土壤有机质的影响 土壤有机质含量是土壤重要的基础指标,是衡量土壤肥力的重要标志,同时土壤有机质对于土壤的物理结构、保肥、保水等特性具有重要影响^[14]。由图 3 可知,施加有机肥对土壤有机质含量提高具有明显的作用,各地区有机种植与常规种植均有显著差异。其中,A1、A2 处理有机质含量提升较大,A1 处理较 A2 处理有机质含量高 21.28%;B1、B2 与 C1、C2 处理有机质含量提升较小,B1、C1 处理较 B2、C2 处理有机质含量分别高 7.49%、4.68%。可能由于 C 地区土壤有机质含量 C1 为 52.99 g/kg,C2 为 50.62 g/kg(高于 A、B 地区),所以 C 地区

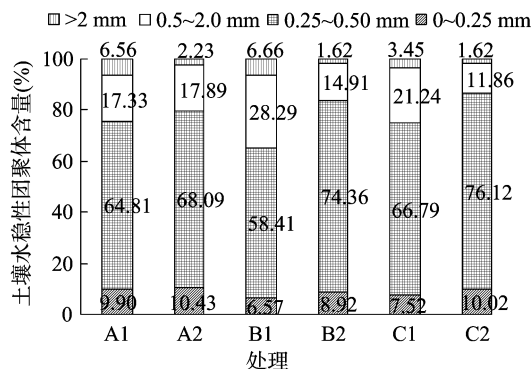


图2 有机种植对土壤水稳性团聚体含量的影响

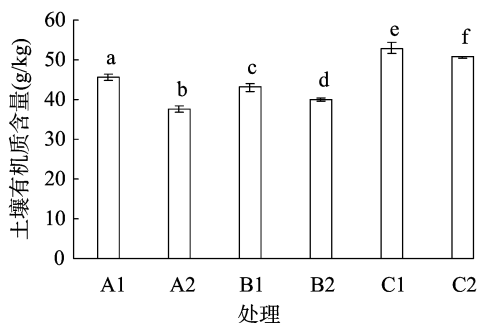


图3 有机种植对土壤有机质含量的影响

有机种植较常规种植有机质含量提升最小。

2.2.2 不同种植方式对土壤 pH 值的影响 从图 4 可以看出,施用有机肥对于土壤 pH 值影响较小,有机种植与常规种植间不存在显著差异。除 A 地区有机种植 pH 值略低于常规种植外,B、C 地区有机种植 pH 值均略高于常规种植。这种 pH 值的变化在一定程度上调节了土壤的酸碱度,改良了土壤,但受施肥量等因素影响,效果并不明显。

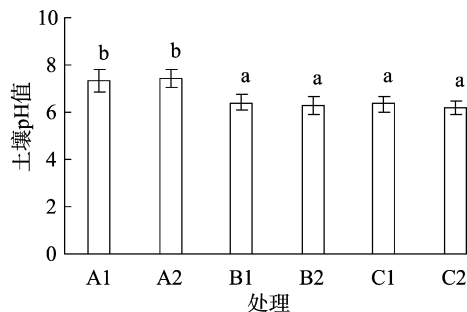


图4 有机种植对土壤pH值的影响

2.2.3 不同种植方式对土壤全氮含量的影响 由图 5 可以看出,有机种植与常规种植全氮含量有明显差异,并且有机种植全氮含量高于常规种植。C1 处理全氮含量最高,为 3.15 g/kg;A2 处理全氮含量最低,为 1.88 g/kg。B1 与 B2 处理间全氮含量提升最小,提高了 6.97%;而 C1、C2 和 A1、A2 处理间全氮含量均有较大提升。土壤有机质是氮素存在的主要场所,土壤表层中大约 80%~90% 的氮存在于有机质之中。在有机种植下,土壤有机质含量更高,土壤供氮能力更强。这主要是因为大量的施用有机肥能促进土壤中的矿物质风化,从而增加土壤中的全氮含量,另外有机肥本身也含有大量的氮素,有利于提高土壤中的全氮含量^[15]。

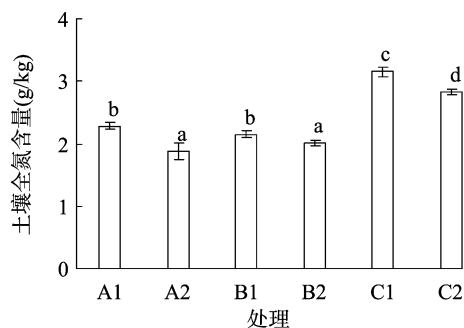


图5 有机种植对土壤全氮含量的影响

2.2.4 不同种植方式对土壤全磷含量的影响 土壤中的磷元素是作物生长所需磷元素的主要来源,所以土壤中的磷的含量与作物的生长有着密切的联系。有机种植较常规种植能提高土壤全磷含量,从图 6 中可知,B1 与 B2 间存在显著差异。B1 处理全磷含量为 2.66 g/kg, B2 处理全磷含量为 2.47 g/kg,上升了 7.69%。由此可以看出,有机种植对于 B 地区土壤全磷含量的提高有明显作用,其原理与有机种植对全氮含量的影响类似。

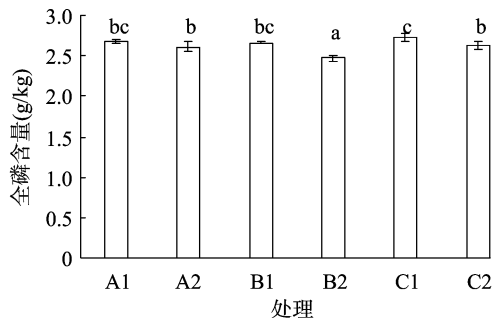


图6 有机种植对土壤全磷含量的影响

2.2.5 不同种植方式对土壤速效磷含量的影响 如图 7 所示,不同地区有机种植对土壤速效磷含量均有一定的影响。B 地区有机种植与常规种植有显著差异,其他地区差异较小,其中 A 地区与 C 地区有机种植土壤速效磷含量分别为 29.33、33.33 mg/kg,与常规种植相比分别下降 7.33% 和 2.94%。B 地区有机种植对土壤速效磷含量有显著的提升作用,其含量为 35.39 mg/kg,较常规种植提高 18.52%。

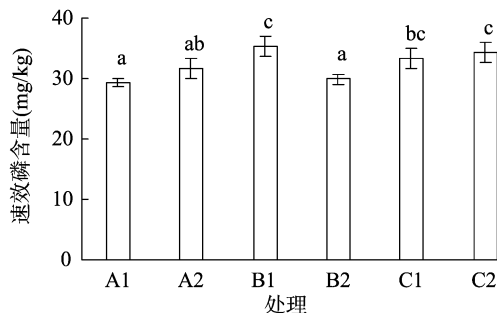


图7 有机种植对土壤速效磷含量的影响

2.2.6 不同种植方式对土壤速效钾含量的影响 如图 8 所示,有机种植对土壤速效钾含量的提高具有明显作用,3 个地区有机种植与常规种植都存在显著差异。A、B、C 地区有机

种植土壤速效钾含量分别为 227.4、258.51、249.37 mg/kg,其中 A 地区速效钾含量提升幅度最小,提高 9.92%;C 地区速效钾含量提升幅度最大,提高 25.38%。总体来说,各地区有机种植均能显著提高土壤速效钾含量。

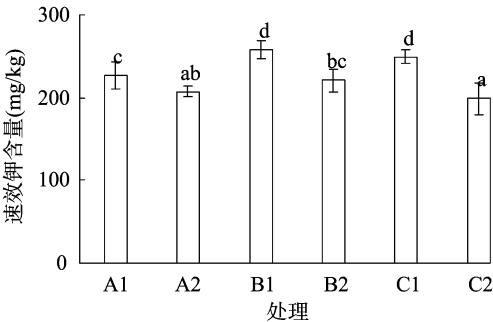


图8 有机种植对土壤速效钾含量的影响

2.3 不同种植方式对土壤微生物量碳氮含量的影响

2.3.1 土壤微生物量碳 土壤微生物量碳氮既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库,其对土壤环境因子的变化极为敏感,土壤的微小变动均会引起其活性变化^[16]。由图 9 可知,A、B 地区有机种植土壤微生物量碳含量较常规种植有显著提高,C 地区有机种植与常规种植土壤微生物量碳含量基本持平。B 地区有机种植土壤微生物量碳含量为 263.01 mg/kg,较常规种植高 58.83%;A 地区有机种植也较常规种植提高 28.44%。由此可知,A、B 地区有机种植较常规种植土壤微生物量碳含量有显著提高。

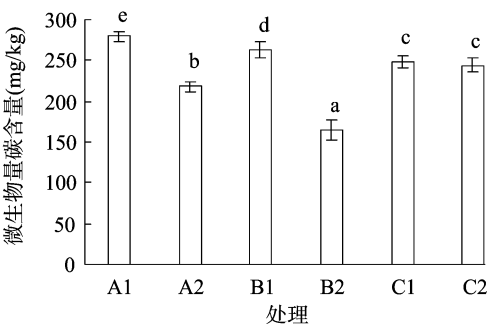


图9 有机种植对土壤微生物量碳含量的影响

2.3.2 土壤微生物量氮 由图 10 可知,各地区有机种植与常规种植土壤微生物量氮的含量存在显著差异。A2、C2 处理土壤微生物量氮含量较低,分别为 29.83、27.46 mg/kg。A1、B1、C1 土壤微生物量氮含量为 39.76、43.07、42.15 mg/kg,分别较常规种植提高 33.29%、12.99%、53.50%,均有较大幅度的提升。可见,有机种植能够提高微生物量氮含量,改善土壤的供氮能力。

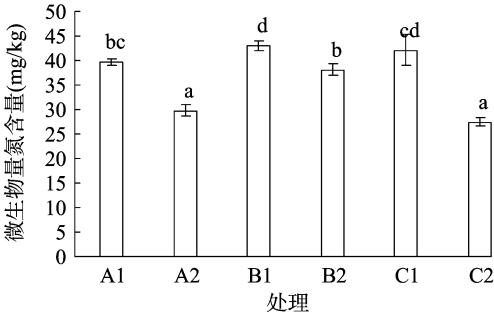


图10 有机种植对土壤微生物量氮含量的影响

2.4 不同种植方式对土壤重金属含量的影响

表层土壤重金属积累的变化受成土母质和人为资源输入的影响极大,而且重金属累积目前是很受关注的土壤污染之一^[17]。本试验研究了 A、B、C 等 3 个地区不同种植土壤中重金属的含量,测定了土壤中几种主要重金属污染物的含量,除常规种植地块 Hg 含量外均未超过土壤环境质量国家一级标准^[18]。如表 1 所示,A 地区中有机种植土壤中重金属含量均低于常规种植,其中 Zn 含量有机与常规差别较小,仅降低 3.89%;而 Cd、Cr 含量下降幅度较大,分别降低 51.46%、54.44%。在 B 地区中,有机种植重金属含量(除 Cu 含量外)与常规种植均有显著差异,尤其是 As、Hg 含量,下降幅度达 82.99%、64.19%,其余均有不同程度下降。C 地区中 Cu、Pb 含量无显著差异,与常规种植相比,有机种植土壤中 Zn 含量出现一定程度的富集,含量提高了 25.5%,但其他重金属含量均有所下降。A、B、C 等 3 个地区中常规种植土壤中 Hg 富集效果十分明显,含量高于土壤环境质量国家一级标准,但没有超过土壤环境质量国家二级标准;而有机种植中 Hg 含量低于土壤环境质量国家一级标准,符合国家农产品产地环境标准的要求。

表 1 不同地区有机与常规种植土壤重金属含量

处 理	重金属含量(μg/kg)						
	Cu	Zn	Cd	Cr	As	Pb	Hg
A1	14.87a	87.27b	2.034b	8.61a	35.85c	17.66a	127.95c
A2	16.62b	90.80c	4.190d	18.90c	44.30e	24.79d	171.95d
B1	20.02c	80.92a	1.428a	17.54b	13.87a	21.14b	82.90a
B2	20.92c	134.10e	2.158b	30.19d	81.52f	22.56c	231.50f
C1	20.36c	107.60d	2.020b	30.48d	25.64b	22.46c	121.30b
C2	21.41c	85.74b	3.172c	32.52e	36.43d	22.92c	177.15e

3 结论与讨论

3.1 结论

在 A、B、C 等 3 个地区的试验结果表明,有机种植对于土壤物理性质具有一定的改善作用,能降低土壤容重,保持土壤

pH 值,并增加土壤大团聚体数量,提高水稳性团聚体稳定性,从而改良土壤结构,提高土壤抗侵蚀能力。与常规种植相比,有机种植在土壤有机质、土壤全氮、全磷含量方面有明显的提高,并且速效磷、速效钾、微生物量碳和微生物量氮含量也都有所提高,且对提高土壤基础肥力有明显作用。对 3 个地区

土壤中 Cu、Zn、Cd、Cr、As、Pb、Hg 含量的研究表明,有机种植总体上能明显降低土壤中的重金属含量,尤其是 Cd、Hg。

3.2 讨论

本试验同时选取 2 个有机水稻种植基地和 1 个有机玉米种植基地进行比较,虽然选择的地点施肥量和施肥方式不同,有机种植开展的年限也不同,但可以在研究结果中发现有机种植方式整体上均有一定优势。有机种植方式能够有效降低土壤容重、增加土壤孔隙度、改善土壤的黏结性和黏着性,使耕性变好,保持土壤 pH 值稳定,缓解土壤酸碱度。与常规种植相比,有机种植土壤中的有机质含量有一定的提高,改善了土壤结构,大团聚体的数量和稳定性也提高了。可能是由于有机肥中有机物质分解形成了土壤腐殖质,微生物活动频繁,促进了 $>0.25\text{ mm}$ 团粒结构的形成^[19],使团聚体稳定性增加,这与高飞等的相关研究结果^[20]一致。本研究表明,有机种植方式土壤中 N、P、K 含量较常规种植有明显提高,土壤肥力增加,该结果与姜璐等的研究结果^[21-22]一致。在常规种植下,由于大量施用化肥导致土壤本身肥力下降,作物品质差,相对而言,土壤有机培肥历来是农业生产中维持和提高地力的一项重要措施,土壤有机培肥后,改善了土壤的理化性质,增加了土壤的基础肥力,从而提升了土壤的供肥能力,改善了作物品质。

试验中测定了各地区土壤中重金属含量,选择的有机基地及周边常规种植区土壤中重金属含量均相对较低,但从结果中仍可以看出有机种植基本可以减少土壤中选定重金属的含量,这与有机种植不使用化肥、农药等有关。不同种类重金属含量下降程度不尽相同,有研究表明,土壤中的有机质对重金属离子有较强的亲和势,有机质能提供有机质基团和官能团与重金属易形成络合物^[23]。不过也有研究表明,有机种肥中重金属 Cu、Zn 等长期施用也有富集风险^[24],畜禽养殖业广泛使用的饲料添加剂中含有大量的 Cu、Zn、As 等重金属,动物不能完全吸收,大部分随粪便排出体外,所以有机肥中这些元素含量很高。本试验中 C 地区有机种植的 Zn 含量高于常规种植、A 地区中不同种植方式的 Zn 含量基本持平无明显差距、3 个地区中 Cu 含量均无明显差异,这可能是由 3 个地区常规种植喷洒杀虫剂、除草剂等含有 Cu、As 等重金属的农药导致的。黄青青等研究表明,化肥中含有大量的 Cd、Cr,而在有机肥中含量相对较少,所以各地区中有机种植土壤 Cd、Cr 含量均明显低于常规种植^[25-26]。不同处理间(除 A 地区外)Pb 含量均无明显差距。本试验着重比较分析了有机种植与常规种植的情况,有机种植对土壤物理结构改善以及土壤肥力提高均优于常规种植,但在不同施肥量、施肥方式及不同种植年限下,有机种植对土壤环境质量的影响还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 张北赢,陈天林,王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(11):182-187.
- [2] 赵广帅,李发东,李运生,等. 长期施肥对土壤有机质积累的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(5):840-847.
- [3] 张纪兵,肖兴基. 有机农业与农业可持续发展[J]. 科技导报,2003,21(12):55-58.
- [4] Wagner W C. Sustainable agriculture: how to sustain a production

- system in a changing environment[J]. Inter J Parasitol,1999,29(1):1-5.
- [5] Liu B,Tu C,Hu S J,et al. Effect of organic,sustainable,and conventional management strategies in grower fields on soil physical,chemical,and biological factors and the incidence of Southern blight[J]. Applied Soil Ecology,2007,37(3):202-214.
- [6] Petra M, Ellen K, Bernd M. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment[J]. Soil Biology and Biochemistry,2003,35(3):453-461.
- [7] 唐继伟,林治安,许建新,等. 有机肥与无机肥在提高土壤肥力中的作用[J]. 中国土壤与肥料,2006(3):44-47.
- [8] 刘玉涛. 旱地玉米施用有机肥的定位研究[J]. 玉米科学,2003,11(2):86-88.
- [9] 王健鹏,李阿红,王会志. 有机肥对土壤理化性质的影响[J]. 吉林蔬菜,2007(4):51-53.
- [10] 徐明岗,武海雯,刘景. 长期不同施肥下我国 3 种典型土壤重金属的累积特征[J]. 农业环境科学学报,2010,29(12):2319-2324.
- [11] Cooper J, Sanderson R, Cakmak I, et al. Effect of organic and conventional crop rotation,fertilization,and crop protection practices on metal contents in wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2011,59(9):4715-4724.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:30-32.
- [13] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effect on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of America Journal,2004,68(3):809-816.
- [14] 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[J]. 应用生态学报,2012,23(1):159-165.
- [15] 申源源,陈宏. 秸秆还田对土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(19):291-294.
- [16] 陶军,张树杰,焦加国,等. 蚯蚓对秸秆还田土壤细菌生理菌群数量和酶活性的影响[J]. 生态学报,2010,30(5):1306-1311.
- [17] Hanesch M, Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements[J]. Environmental Geology,2002,42(8):857-870.
- [18] 国家环境保护局,国家技术监督局. 土壤环境质量标准:GB 15618—1995[S].
- [19] 秦嘉海,金自学,陈广泉,等. 有机无机垃圾复混肥对土壤理化性质和玉米产量的影响[J]. 土壤,2005,37(5):559-562.
- [20] 高飞,贾志宽,韩清芳. 有机肥对宁夏南部旱农区土壤物理性状及水分的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010(7):105-110.
- [21] 姜璐,申思雨,吕盼忠. 华北地区有机种植与常规种植土壤质量比较研究[J]. 土壤,2015,47(4):805-811.
- [22] Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming[J]. Science,2002,296(5573):1694-1697.
- [23] 杜彩艳,祖艳群,李元. pH 和有机质对土壤中镉和锌生物有效性影响研究[J]. 云南农业大学学报,2005,20(4):539-543.
- [24] 陈芳,董元华,安琼,等. 长期肥料定位试验条件下土壤中重金属的含量变化[J]. 土壤,2005,37(3):308-311.
- [25] 黄青青,刘星,张倩,等. 应用 ICP-MS 和 AFS 测定含磷肥料中重金属含量[J]. 光谱学与光谱分析,2014,34(5):1403-1406.
- [26] 陈海燕,高雪,韩峰. 贵州省常用化肥重金属含量分析及评价[J]. 耕作与栽培,2006(4):18-19.