

长期试验土壤理化性质和微生物量的研究进展

马星竹

(黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省植物营养与环境资源重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:通过分析、总结长期试验的研究进展,研究长期试验的特点、意义和研究内容,综述了长期试验对土壤理化性质、土壤微生物量的影响,有助于该学科研究的纵深发展与广泛利用。目前,长期试验通常采取2种方法,分别是“长期”和“定位”,其具有时间的长期性和气候的重复性等特点,能够克服各种生态因素差异对试验带来的影响和制约;其与土壤理化性状和微生物特性等关系密切,对研究农业生产有着重要的科学价值,为不同措施对土壤性质的影响提供研究场所。

关键词:长期试验;土壤;微生物量;农业

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2013)03-0147-04

长期试验具有长期的、固定的特点,并以这种土壤管理模式进行管理,可使土壤性质按不同的方向改变,进而形成具有不同生物学活性和不同肥力性状的各种土壤类型。长期试验具有气候的重复性和时间的长期性等特点,通常采取的“长期”和“定位”的方法,能够克服各种生态因素(如气候)及土壤条件(如物理特性)差异对试验带来的影响和制约,持续时间一般都在十年、数十年乃至百年以上^[1]。长期试验及其保存的样品记录了长时间尺度的生态系统和环境变化信息,可以用来研究生态系统的长期变化过程以及生态过程对人为干扰和环境变化响应和反馈的长期效应(如生态系统退化、全球气候变化、酸雨和污染等)^[2]。对于追踪这些发展变化的过程、比较发展变化后的结果方面,长期试验为土壤科学和其它相关学科提供了极为珍贵的研究对象。对现代化农业有着重要的科学价值,它具有短期试验不具备的解释与回答问题的潜力,同时也为土壤生物学性质研究方面提供了研究场所^[3]。

1 长期试验的研究内容及概况

长期肥料试验是长期试验的主要形式,其通过克服因气候、年变化对施肥效果的影响,系统地研究肥效变化规律和土壤质量演变,研究合理的轮作方式、轮作中肥料的合理施用的效应,以及各

种肥料对作物产量、品质的作用和土壤培肥差异等,而为合理施肥,促进农业可持续发展提供理论依据^[4-6]。

依据年限将定位试验划分为4类,即:(1)短期试验(STS; short-term-studies):一般一季作物或2~3 a的试验。(2)中期试验(MTS; Medial-term-studies):持续时间5~10 a的试验。在Tilman收集到的180个试验研究中5 a以上的占7%,10 a以上的占1.7%。(3)长期试验(LTS; Long-term-studies):一般认为超过10 a至几十年的试验应归入长期定位试验。(4)超长期试验(OLTS; Over-long-term-studies):百年以上的定位试验。除了英国洛桑的经典试验以外,还有德国、法国和美国的一些试验都超过了100 a的历史^[4-6]。其中英国洛桑试验站经典试验(Rothamsted Classical Experiments)从1843年开始,是目前世界上历史最长和试验最多的试验体系。其研究不断发展,前期的研究结果显示了现代农业科学在消除真菌、病虫和杂草方面以及施肥方面的技术进步,后期的研究不断地引进新的环境健康(如多环芳烃、铅污染)和生态科学(如杂草和牧草的生物多样性、全球变化)问题,并不断地为英国乃至世界的生态与环境管理提供政策和建议^[7]。

长期试验研究内容较多,主要包括生态过程研究、生态系统研究、养分循环的研究以及种群动态与生理生态研究^[2];还涉及了其它研究内容,如土壤过程研究、影响作物产量因素之间的交互影响研究和地球环境变化研究^[1]。这些长期的研究内容具有重要的作用,其一,通过研究长期施肥措施对环境的影响,可提出环境污染治理对策;其

收稿日期:2013-01-17

基金项目:黑龙江省自然科学基金资助项目(C201001); UNDP中国东北地区黑土示范资助项目;黑龙江省科技攻关资助项目;“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAD07B01)

作者简介:马星竹(1980-),女,黑龙江省哈尔滨市人,博士,副研究员,从事土壤肥力与生物活性方面的研究。E-mail: maxingzhu@163.com。

二,长期试验可用于研究人为管理措施对生态系统生物多样性的影响^[8-9]。此外,长期试验还可用于评价农业技术对产量和土壤的长期效应、研究环境的长期变化等^[2]。目前,国际上日益关注长期生态和环境观测的联网研究,主要是对不同区域的生态系统和环境进行全面的观测和试验,为区域资源利用和社会经济的可持续发展提供数据、管理方法和政策^[10]。

2 长期试验对土壤理化性质的影响

成土母质、土地利用方式与覆被变化、气候条件、耕作以及施肥方式等人为和自然诸多因素影响土壤理化性质,进而影响土壤的生物活性和作物生长。施肥对影响土壤释放、调节和贮存营养元素在系统中的转化与运行具有重要作用^[11]。耕层土壤的物理性质和水分特性受耕作措施等影响明显,其变化强度取决于耕作方式^[12]。另有研究表明深松对改变耕层土壤物理性质及结构作用显著,可增大土壤孔隙度,降低表层持水能力,而免耕能够有效地减少表层水分损失^[13]。深松对耕层土壤物理性质改变的影响显著,又具有一定的持续性;深松特点较多,例如降低深层的土壤容重、土壤机械阻抗,提高下层土壤的保水性能,明显促进作物根系向深处延伸,提高作物产量等^[14]。

土壤有机质是土壤的重要组成部分,是土壤肥力的重要指标。已有研究表明,长期化肥或有机肥处理下,土壤有机质、全 N 含量增加,施用有机肥或有机肥配施化肥效果最为显著^[15-18]。长期施用有机肥能显著提高土壤氮素含量,土壤全氮含量的提高主要源于有机肥料在土壤中的残留,有机肥与化肥配施,对土壤全氮、有效氮含量产生积极影响^[19-20]。长期施用化肥对土壤有机氮含量影响较小,能够显著增加土壤硝态氮和铵态氮含量,影响土壤氮素形态分配^[21]。

磷在大量营养元素中占有重要地位,与其它大量营养元素相比,其含量相对较低。长期施用化肥和有机肥处理下,土壤全磷、有效磷、无机磷及有机磷的含量均增加,有机肥配施化肥效果明显^[19,22-23]。硫作为作物生长的必需营养元素之一,受不同土地利用方式影响。湿地土壤总硫和有效硫含量高于开垦后的农田土壤,开垦导致土壤硫含量下降,且随着耕种年限的增加,土壤总硫和有效硫含量呈逐年下降趋势。此外,土壤硫与有机质含量之间呈显著正相关关系,提高土壤有机质含量将有利于维持和提高农田土壤硫肥力^[24]。因此长期施肥在提高和改善土壤有机质

的同时,必将对土壤硫素肥力产生影响。土壤 pH 土壤酸碱性的形成决定于盐基淋溶和盐基积累过程的相对强度,受母质、生物气候及农业措施等条件的制约,是土壤肥力的重要影响因子之一。不同的土地利用方式下,表层 pH 变化趋势表现为果园>天然草地>灌木林地>农田>人工草地,说明土壤 pH 较低时土壤养分含量较高,农田因施肥、管理(地膜覆盖)等措施对 pH 影响很大^[25]。长期有机肥处理土壤后,有机质在土壤中分解,转化产生的各种有机酸使土壤 pH 降低。另外,氮磷肥的长期施用,可导致土壤变酸,有助于提高石灰性土壤的有效磷水平^[19]。

3 长期施肥对土壤微生物生物量的影响

3.1 土壤微生物生物量在土壤中的作用

土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力是土壤微生物,其参与多个生化过程,主要包括有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化和循环等^[26]。土壤微生物生物量(Microbial Biomass, MB)的定义是土壤中体积小于 $5.0 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量,是活的土壤有机质部分,但不包括活的植物体如植物根系等。广义的土壤微生物生物量应包括微生物量碳、微生物量氮、微生物量磷和微生物量硫,均可采用氯仿熏蒸-浸提法测定^[27]。土壤微生物生物量比微生物个体数量能更好地反映微生物在土壤中的实际含量和作用潜力,是植物生长可利用养分的重要来源和土壤养分的贮存库。在典型的传统种植禾谷类作物的农业土壤中,碳含量一般在 $100 \sim 600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而在草地上则高达 $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤微生物量碳一般为土壤有机碳的 $1\% \sim 4\%$;土壤微生物量氮为土壤全氮的 $2\% \sim 6\%$ ^[28];土壤微生物量磷为土壤有机磷的 3% ,在草地上则达 14% ^[29];土壤微生物量硫为土壤有机硫的 $1\% \sim 3\%$ 。土壤微生物的 C/N、C/P、C/S 比值较低(C/N 为 $6 \sim 12$,C/P 为 $10 \sim 36$,C/S 为 $30 \sim 70$)^[30],因此与土壤有机质相比,它们在土壤中分解速度较快。

土壤微生物量与土壤有机质转化关系密切,其代表了有机质的活性部分,常被用于评价土壤生物学性状的变化^[31];在土壤总碳或总氮变化之前,土壤微生物生物量碳或氮能够表现出较大的差异,是更具敏感性的土壤质量指标。

3.2 农业措施对土壤微生物量的影响

有机残体的投入、种植制度、施肥和轮作措施等在长期试验中均对土壤微生物量产生较大的影响。

3.2.1 施肥 许多研究结果证实长期向土壤施

用有机肥将使土壤微生物量提高。Livia 和 Frank 于 2006 年在 100 a 的德国萨克森试验站研究了甜菜和春大麦的生长及肥料施用对土壤微生物量和酶活性的影响,结果表明,微生物量碳与土壤有机碳含量呈显著的正相关关系,同时,有机肥处理相对于单施化肥和不施肥处理,土壤微生物量碳含量显著增加^[32]。Witter 等通过 30 a 的肥料试验表明,长期施用有机肥或有机物料可以使土壤中微生物量增加^[33]。另有研究表明土壤经长期有机肥配施化肥处理后具有最高的微生物量碳、氮和较强的酶活性^[34-35]。沈其荣等对有机肥配施无机肥条件下滨海盐土土壤微生物量氮和土壤供氮特征进行了研究,结果表明在大麦生长季节内,土壤微生物量变化为施肥处理明显高于不施肥处理,化肥与蚕粪配施处理土壤微生物量增加最多,然而单施化肥和蚕粪处理的土壤微生物量增加幅度较小^[36]。土壤微生物量磷一般与微生物量碳、微生物量氮之间关系密切,同时其与土壤全磷、有机磷及有效磷含量具有一定的联系。土壤有效磷含量在土壤施用磷肥后增加,同时,更多的无机磷被同化、结合到微生物体内。相反,土壤有效磷被植物耗竭时,微生物量磷将逐渐被释放出来^[37]。

3.2.2 种植与耕作方式 种植和轮作对土壤微生物量的影响实质上是由于植物根和残体的不同,而导致作物残体和根系残留物及根系分泌物在土壤中积累产生差异,使得土壤微生物所得到的碳源数量及性质发生变化,进而土壤微生物量的数量在不同种植方式下有所差别。Melero 等研究表明轮作中含有豆科作物时,土壤微生物量碳含量显著增加,主要是由于豆科作物刺激土壤中微生物的繁殖^[35]。Anderson 和 Domsch 也发现在轮作系统中,当作物中存在豆科作物时,微生物量碳与有机碳的比值较单一栽培高,主要归于轮作系统中投入了大量的有机物料^[38]。免耕和少耕法与传统农业耕作方式相比能够使表层(0~5 cm)土壤的微生物量和土壤有机质含量增加;深层效果则不明显^[39]。

3.2.3 季节变化与重金属 土壤微生物量季节变化的主要原因是环境条件和植物生长等因子的综合影响。Collins 等研究发现,土壤微生物量碳和氮的变化不一致。整个生长季中,土壤微生物量氮增加不明显,而土壤微生物量碳则明显增加,这使得土壤微生物的 C/N 发生变化,例如 C/N 比值在种植时为 11.1,开花时上升到 12.8,收获时达到 13.4^[40];Mandal 等的研究也获得了类似的结果^[34]。此外,土壤微生物量受重金属的影响较大,主要包括土壤微生物量下降,微生物活性降

低,土壤中自生固氮菌等受重金属影响更为明显。有研究表明,铜对盆栽试验中土壤微生物量有一定影响,水田添加镉浓度与土壤细菌数量呈显著至极显著的负相关关系;而旱地土壤真菌数量与镉浓度呈显著负相关关系,在砖红壤地区,镉对旱地土壤微生物的抑制明显高于水田^[41]。

参考文献:

- [1] 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 1-9.
- [2] 孙波, 朱兆良, 牛栋. 农田长期生态过程的长期试验研究进展与展望[J]. 土壤学报, 2007, 39(6): 849-854.
- [3] Dick R P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[M]//Parkhurst C, Doube B M, Gupta V V S R. Biological Indicators of Soil Health. New York: CAB International, 1997: 121-156.
- [4] 沈善敏. 国外的长期肥料试验(一)[J]. 土壤通报, 1984(2): 85-91.
- [5] 沈善敏. 国外的长期肥料试验(二)[J]. 土壤通报, 1984(3): 134-138.
- [6] 沈善敏. 国外的长期肥料试验(三)[J]. 土壤通报, 1984(4): 184-185.
- [7] Leigh R A, Johnston A E. Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences[M]. Oxford: Oxford University Press, 1994: 1-448.
- [8] Powlson D S, Poulton P R, Addiscott T M, et al. Leaching of nitrogen from soils receiving organic or inorganic fertilizers continuously for 135 years[M]//Hansen J A, Henriksen K. Nitrogen in Organic Wastes Applied to Soils. London: Academic Press, 1989: 334-345.
- [9] Pickrell J. Where the grass never stops growing[J]. Sci., 2001, 293: 625.
- [10] 牛栋, 李正泉, 于贵瑞. 陆地生态系统与全球变化的联网研究进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1199-1205.
- [11] 关焱, 宇万太, 李建东. 长期施肥对土壤养分库的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 131-137.
- [12] Waddell J T, Weil R R. Water distribution in soil under ridge-till and no-till corn[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 230-237.
- [13] Kanmar R S. Effect of tillage systems on the variability of soil-water tensions and soil-water content[J]. Trans of the ASAE, 1989, 32(2): 605-610.
- [14] 许迪, Schmid R, Mermoud A. 夏玉米耕作方式对耕层土壤特性时间变异性的影响[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 64-70; 87.
- [15] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities [J]. Soil Biol. Biochem., 1999, 31: 1471-1479.
- [16] Goyal S, Chander K, Mundra M C, et al. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions[J]. Biol. Fertil. Soils, 1999, 29(2): 196-220.
- [17] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-622.
- [18] Mandal A, Patra A K, Singh D, et al. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages[J].

- Bioresour. Technol. ,2007,98:3585-3592.
- [19] 刘杏兰,高宗,刘存寿,等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报,1996,33(2):138-147.
- [20] Hsieh C H, Hong C M, Hong K Y. Effect of surface application of cattle manure on soil physical and chemical properties on pangola grass pasture[J]. J. Taiwan Lives. Res. , 1997,30(4):395-409.
- [21] Darusman M, Stone L R, Whitney K A. Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen sources[J]. Soil Sci. Soc. Am. J. ,1991,55(4):1097-1100.
- [22] Lwkin L Y, Kosilova A N, Dubanina G V. The effect of long-term application of fertilizers on soil fertility and winter hardiness and productivity of winter wheat on typical chernozem[J]. Agrokhiimiya,1994(1):38-43.
- [23] Goto S, Nagata S. Effect of crotalaria, sorghum and pampas grass in-corporated as green manure on the yield of succeeding crops and soil physical and chemical properties[J]. Japan. J. Soil Sci. Plant Nutri. ,2000,71(3):337-344.
- [24] 李新华,刘景双,孙志高. 三江平原不同土地利用方式下土壤硫含量变化特征[J]. 生态与农村环境学报,2006,22(4):80-82.
- [25] 刘梦云,安韶山,常庆瑞,等. 不同土地利用方式下土壤化学性质特征研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(1):39-42.
- [26] 曹慧,孙辉,杨浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
- [27] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤,1997,29(2):61-69.
- [28] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure MB-N in soil[J]. Soil Biol. Biochem. ,1985,12:837-842.
- [29] Brookes P C, McGrath S P. Effects of metal toxicity on the size of the soil microbial biomass[J]. J. Soil Sci. ,1984,35:341-346.
- [30] Chapman S J. Microbial sulfur in some Scottish soils[J]. Soil Biol. Biochem. ,1987,19:301-305.
- [31] Kandeler E, Tschierko D, Spiegel H. Long-term monitoring of a microbial biomass, N mineralisation and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management[J]. Biol. Fertil. Soils,1999,28:343-351.
- [32] Livia B, Frank B. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization[J]. Europ. J. Soil Biol. ,2006,42(1):1-12.
- [33] Witter E, Martnsson A M, Garica F V. Size of the soil microbial biomass in a long term experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures[J]. Soil Biol. Biochem. ,1993,25:659-669.
- [34] Mandal A, Patra A K, Singh D, et al. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages[J]. Bioresour. Technol. ,2007,98:3585-3592.
- [35] Melero S, Madejon E, Ruiz J C, et al. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization[J]. Europ. J. Agro. ,2007,26(3):327-334.
- [36] 沈其荣,余玲,刘兆普,等. 有机无机肥料配合施用对滨海盐土土壤生物量态氮及土壤供氮特征的影响[J]. 土壤学报,1994,31(3):287-294.
- [37] 赵先丽,程海涛,吕国红,等. 土壤微生物生物量研究进展[J]. 气象与环境学报,2006,22(4):68-72.
- [38] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon total organic carbon in arable soils[J]. Soil Biol. Biochem. ,1989,21:471-479.
- [39] Powlson D S, Jenkinson D S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils[J]. J. Agri. Sci. ,1981,97:713-721.
- [40] Collins H P, Rasmussen P E. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics[J]. Soil Sci. Soc. Am. J. ,1992,56:783-788.
- [41] 谢正苗,卡里德,黄昌勇,等. 镉铅锌污染对红壤中微生物生物量碳氮磷的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(1):69-74.

Research Progress on Soil Physical and Chemical Property and Microbial Biomass of Long-term Experiment

MA Xing-zhu

(Soil Fertilizer and Environmental Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Plant Nutrition and Soil Environment of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract: Through analyzing and summarizing the progress of long-term experiment, studying the characteristics, meaning and contents of long-term experiment, the effects of long-term experiment on soil physical and chemical property and soil microbial biomass, long-term experiment progresses at home and abroad were analyzed and summarized. At present, long-term experiment, which chooses methods of 'long-term' and 'located', has the characteristics of long time and repeatability of climate, could overcome influence and restraint of experiment from different ecological factors; Long-term experiment has close relationship with soil physical and chemical property and soil microbial biomass, which would be important for modern agriculture, provide field for studying the effect of different measures on soil properties.

Key words: long-term experiment; soil; microbial biomass; agriculture