

长期施肥对土壤微生物学特性的影响

孙瑞莲¹, 赵秉强², 朱鲁生¹

(1 山东农业大学 山东泰安 271018; 2 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘要:在以往的研究中,人们一直强调以土壤的理化特性作为持续性指标。近些年来,由于认识到微生物在整个土壤生态系统中的重要功能,国际上关于土壤生物学参数的研究也日渐增多。本文扼要的概述了近年来国内外土壤肥料长期定位试验中关于土壤微生物方面的一些研究成果。

关键词:长期定位施肥;土壤微生物;酶活性

中图分类号:S154.34 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2002)S0-0151-04

Effect of long-term fertilization on soil microbiological characteristics

SUN Rui-lian¹, ZHAO Bing-qiang², ZHU Lu-sheng¹

(1 Shandong Agricultural University, Taian, 271018, China; 2 Inst. of Soil and Fertilizer, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: In the past studies, the major emphasis has been on the use of soil chemical and physical attributes as indicators of sustainability. Owing to realizing the important function of microorganism in the whole soil ecosystem, investigations on microbiological parameters are increasing. The essay discusses stressly the effects of long-term fertilization on soil microorganisms and enzyme activities.

Key words: long-term fertilization; soil microorganism; enzyme activity

肥料长期定位试验是观察长期施用不同肥料及相互配合对作物产量、土壤肥力和环境影响的可靠方法^[1],具有时间的长期性和气候的重复性等特点,它是农业生产和农业科学的一项重要基础研究工作,能为农业发展提供决策依据。

国外长期定位试验已经有 150 年以上的历史了,19 世纪后半叶在欧洲布置的一批长期试验,是为了解决当时植物营养学说之间的纷争和农业发展中存在的问题,其结果肯定了长期施用化肥的作用和某些作物单一种植的可行性,对发达国家的农业发展产生了重大的影响。但当时许多条件与当今的现代农业有着很多重要的区别,例如,现代农业中种植作物的品种及所施化肥的品种均与传统农业不同,尤其是现代农业中的环境问题已经成为当今世界可持续农业中的一个重要问题,因此,长期施肥对环境质量,特别是对土壤质量的影响已经越来越受到国内外土壤科学家的重视。

土壤的质量由三方面要素决定,即物理因素、化学因素和生物因素,而尤以生物因素最为重要。在过去十几年中愈来愈多的注意力集中到用土壤微生物参数来估计土壤的健全性和质量,这些参数包括土壤微生物生物量、各种酶活性以及微生物的多样性^[2],土壤中的微生物对土壤的健全性和质量如此重要是因为土壤微生物不仅是土壤中物质循环的驱动力,而且其代谢物也是植物的营养成分,还要指出的是土壤微生物活动能直接影响到土壤的物理、化学性质^[3]。

1 长期施肥对土壤微生物量的影响

1.1 对土壤微生物量碳的影响

土壤微生物量是指土壤中体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量,它是活的土壤有机质部分^[4]。微生物量的多少反映了土壤同化和矿化能力的大小,是土壤活性大小的标志。广义的土壤微生物量包括微生

定稿日期:2002-05-15

基金项目:基础研究重大项目(973)前期研究专项(2001CCB00800);科研院所社会公益研究专项资金(2000-173,2001DIA10004)资助。

作者简介:作者简介:孙瑞莲(1978—),女,山东烟台人,硕士研究生,主要从事农业微生物方面的研究。

物碳、微生物氮、微生物磷和微生物硫,其中土壤微生物量碳是土壤有机碳的灵敏指示因子,与土壤有机质含量呈正相关^[5]。

长期施用有机肥或有机肥与无机肥配施均能大大提高土壤微生物量碳,其中以施用有机肥的增长率高^[6];亦有研究报道不同施肥处理土壤微生物量碳含量大小的顺序为:有机肥配施无机肥处理>有机肥处理>无机肥处理^[7],这主要是由于土壤类型和肥料用量不同的缘故。秸秆还田也可以提高土壤微生物量碳^[8],这与施用有机肥的效应相似,均是由于提高了土壤有机质含量,增加了微生物同化碳、氮养分供应,从而促进了土壤微生物量碳的增长。化肥施用对土壤微生物的影响比较复杂,长期施用无机氮肥或磷肥均能促进土壤微生物量碳的增长^[9,10],这可能与氮肥、磷肥能促进植物根系生长、发育密切联系。

1.2 对土壤微生物量氮的影响

土壤微生物量氮的基础含量是土壤有效养分的贮藏^[11],它是土壤有机质组分之一,其数量虽少,但却控制着农田生态系统中碳、氮养分循环,对土壤有机质含量、氮、磷、钾的供给以及有机无机养分转化起重要作用^[11,12]。

长期施用有机肥或化肥均能增加土壤微生物量氮,尤以有机肥的作用更为明显^[7,13],施用不同用量的有机肥,对土壤微生物量氮的影响之间的差异并不明显^[13],是因为长期施用有机肥,土壤有机质残效迭加效应。长期施用氮肥能增加生物量氮含量^[14],作物生长量增大使归还到土壤中的有机物(包括根、分泌物及残茬等)增加,从而为微生物活动补充了碳源。长期施用化肥(包括N、NP、NPK)虽可以提高土壤微生物量氮的含量,但与施用有机肥相比,它的增长率要低,可能是由于单施化肥区土壤微生物活动受碳源不足的影响,使生物量减少^[15]。

2 长期施肥对土壤微生物数量的影响

土壤中的微生物是土壤有机质转化的执行者,又是植物营养元素的活性库^[16],土壤微生物群落包括细菌、真菌和藻类,它们在土壤的功能和过程中起重要作用,微生物群落结构和功能的变化与土壤有机质的含量和构成紧密相连。密集种植和连续施肥将极大的影响土壤微生物的数量及生物活性^[17]。

长期施用有机肥或有机无机肥配施可大大提高土壤中细菌、真菌和放线菌的数量,其中氨化细菌、硝化细菌、磷细菌、自生固氮菌等增加显著^[18],与粪

肥配施对细菌的增加效果明显大于真菌及放线菌;也有报道认为,有机肥与无机肥按某一比例配施时,增加了细菌的数量,并使真菌数量减少^[19]。有机肥料种类不同,对土壤微生物的影响亦不相同,猪粪主要是增加氨化细菌和固氮菌的数量,而稻草主要是增加固氮菌和纤维素分解菌的数量^[20]。

化肥对土壤微生物的影响因肥料种类、用量或肥料之间的配合方式的不同而不同。单施氮肥能促进土壤中真菌的繁殖^[1]。大量的施用氮肥不仅能促进土壤微生物中许多类群的发展,尤其是模式真菌,也能促进放线菌的快速生长,强烈抑制自生固氮菌的生长^[21,22]。单施磷肥也能增加土壤中真菌的数量,但效果不如氮肥显著。通气土壤使用磷肥,可以提高土壤中硝化细菌的活性,从而促进硝化作用。钾对土壤微生物数量一般没有影响^[22]。氮磷肥配施或磷钾肥配施主要增加的是土壤中的细菌数量^[22]。也有报道氮磷肥配施可降低土壤中细菌的数量^[23],这主要是由于土壤类型和肥料用量不同的缘故。有人作过试验,当磷肥、钾肥之间的比例一定时,不论施用总量是否适量,均可以增加土壤中细菌、真菌、放线菌的数量^[19]。施用高量含氯化肥强烈抑制细菌、放线菌、固氮细菌、氨化细菌的生长,而对真菌却有一定的刺激作用^[24],这是由于施氯肥所引起的土壤酸化有利于真菌的生长,且真菌体内有较多的含氯有机化合物^[25],参与其生化代谢活动。

3 长期施肥对土壤酶活性的影响

土壤酶来自微生物、植物和动物的活体或残体,是土壤生化过程的产物。土壤酶通过催化无数土壤反应而在土壤中发挥重要作用,土壤酶活性是土壤生物活性的一个重要指标^[26]。土壤酶对因环境或管理因素引起的变化较敏感,并具有较好的时效性特点。土壤酶活性的高低可以反映土壤养分(尤其是氮磷)转化的强弱。

无机肥料对土壤酶的直接影响,可归纳为三种:即增强、减弱和无影响或影响不大^[27]。长期施用无机肥料定位试验结果表明,长期施用无机肥料,能够增强某些土壤酶活性,而对另一些酶则无任何影响。施用适当N、P、K及其它无机肥料对酶有一定的激活作用,能增强土壤酶活性,其中脲酶、转化酶、过氧化氢酶、蛋白酶活性都有随施肥量的增加而增加的趋势^[28,29]。施化肥提高土壤酶活性的原因在于,化肥能促进作物根系代谢,使根系分泌物增多,微生物繁殖加快,从而有利于提高土壤酶活性。前苏联有

资料表明:高 N、P 和 K 常引起土壤消化力和酶活性减弱,高量尿素使脲酶活性受到抑制,高量磷肥能抑制磷酸酶活性。亦有报道,增加铵态氮肥的施用比率会降低那些与 N 循环有关的酶的活性,如酰胺酶和脲酶^[30]。同样高量的氮肥尿素或其他铵态氮肥对土壤脲酶也有抑制作用。施用磷钾肥,可能减弱磷酸酶活性,其中土壤有效磷增加是磷酸酶减弱的一个原因。还有资料表明,土壤中施用石灰可以增加脲酶活性,不同的石灰物质施用量对土壤脲酶活性影响也不相同,施用氧化钙能增加脲酶活性,且随施用量的增加,脲酶活性亦有增加的趋势;而施用碳酸钙不能改变土壤活性。原因在于氧化钙通过提高土壤 pH 值,使酶活性中心发生变构,因而酶活性增大,而碳酸钙对土壤 pH 几乎没有影响。

有机肥料具有较强的酶活性^[31]。长期的定位试验表明,向土壤中施用有机物质,如动物粪肥、绿肥或作物残体、城市垃圾等,许多土壤酶的活性均增强,这是由于有机肥施入土壤,增加了大量的有机碳,并带入丰富的微生物和酶。但也有人发现:施用有机肥料对于有机质含量低的土壤的酶活性会有良好的提高作用,而在有机质含量较高的土壤中,施用堆肥对转化酶的提高不明显,或者施用大量有机肥料对土壤转化酶和磷酸酶都呈现一定的抑制作用。由于化学成分不同,各种有机肥料对土壤酶活性的影响亦不相同^[31],有机肥料的养分状况、C/N 和木质素含量等综合影响,决定了它对土壤酶的作用。一般来说,C/N 和木质素含量越低,越有利于激发土壤微生物活性,提高土壤酶活性。绿肥可提高土壤酶活性,并且效果比一般农家肥料和植物秸秆好^[32]。亦有研究报道猪粪对提高土壤蛋白酶、过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶活性的作用要比绿肥的作用大^[28],原因可能是猪粪中的蛋白质含量高,并含有较高的脲酶和磷酸酶。有试验表明:有机肥料对土壤酶活性的影响比无机肥料的影响大,二者配合施用效果更好,可明显提高土壤酶活性,其中脲酶、转化酶、过氧化氢酶、磷酸酶等增加较多^[7,28]。因为有机肥与化肥配合施用不仅可以提供丰富的有机碳,而且化肥中的无机氮调节了土壤中的碳氮比,为微生物的活动和酶活性的提高创造了良好的条件。

微量元素能抑制推动矿化作用的一些土壤酶,施用微量元素肥料,可使胞外酶钝化。Juma 曾作过试验把 20 种微量元素加到土壤中,所有微量元素对磷酸酶均有不同程度的抑制作用^[33]。由于化肥本身的质量问题导致了施肥势必引入大量的毒害物

质,尿素中含有缩二脲,磷肥中含有镉、氟、砷、稀土元素等,许多专用肥还含有高残留性的农药,重金属元素及一些有害的物质均能抑制土壤脲酶、转化酶、过氧化氢酶、磷酸酶活性。微量元素 Hg、Ag、Cr、和 Cd 等对 L-谷酰胺酶、纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶均产生较强的抑制作用^[34]。

4 问题与展望

土壤肥料长期定位试验虽然已经有了一百多年的历史了,但由于它具有着非短期试验所具备的解释和回答问题的潜力,人们对它至今依然有着浓厚的兴趣。它的研究范围已经牵涉到很多方面,仅土壤学,其研究方向就涉及土壤微生物、土壤有机质、土壤氮、磷、钾等营养物质及污染物质的调控、土壤肥力等各方面,并且在许多研究领域取得重大进展。但对目前有关土壤微生物方面的研究来看,还存在一些问题:1)要定量描述土壤微生物的群落结构组成在目前依然是很困难的;2)土壤微生物量及其活性与土壤质量的内在联系方面的研究较少;3)将土壤微生物、酶与土壤有机质的转化联系在一起的研究较少;4)对土壤酶活性能否作为土壤肥力指标依然存在争议和怀疑。

今后研究将着重在以下几个方面:

- 1) 进一步了解土壤生物多样性,确定各种微生物的功能,以便通过生物调控促进土壤肥力的持续性。
- 2) 明确土壤微生物量及其活性与土壤质量的内在联系,寻求能够反映土壤污染退化或土壤肥力持续性的土壤生物学指标。
- 3) 分土类确定在肥力形成演变中起关键作用的酶活性群体作为肥力评价的总体参数指标。
- 4) 土壤微生物和酶在土壤有机质转化中的作用机制。

参考文献:

- [1] 林葆,林继雄,李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 1996. 1-179.
- [2] Warkentin B P. The concept of soil quality[J]. J. of Soil and Water Conservation, 1995, 50:226-228.
- [3] Kennday A C *et al.* Microbial characteristics of soil quality[J]. J. of Soil and Water Conservation, 1995, 50:243-248.
- [4] Jenkinson D S and Ladd J N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover [A]. In: Paul E A and Ladd J N(eds.) Soil Biochem [M]., 1981, 5:415-471.
- [5] Anderson J P E and Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. Soil Biology

- Biochem., 1989, 21(4):471-479.
- [6] 许月蓉. 不同施肥条件下潮土中微生物量及其活性[J]. 土壤学报, 1995, 32(3):349-352.
- [7] 沈宏, 曹志洪, 等. 施肥不同农田土壤微生物活性的影响[J]. 农村生态环境, 1997, 13(4):29-35, 54.
- [8] Lynch J M. Crop rotation and plant residues in relation to biological activity in soil[A]. Agricultural Yield Potentials in Continental Climates[C]. Int. Potash Inst., 1981. 157-167.
- [9] Lynch J M *et al.* Effects of season, cultivation and nitrogen fertilizer on the size of the soil microbial biomass[J]. J. of the Sci. of Food and Agric., 1982, 33:249-252.
- [10] Van Vuurde J W *et al.* Bacterial colonization of seminal wheat roots[J]. Soil Biology Biochem., 1980, 12:559-565.
- [11] Smith J L *et al.* The significance of soil microbial biomass estimation[J]. Soil Biochem., 1990, 6:357-396.
- [12] Patra D D *et al.* Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and grass-land soil which have been under uniform management for many years[J]. Soil Biology Biochem., 1990, 22(6): 739-742.
- [13] 韩晓日, 等. 长期施肥条件下土壤微生物量氮的动态及其调控氮素营养的作用[J]. 植物营养与肥科学报, 1996, 2(1):16-22.
- [14] Shen S M *et al.* The nitrogen cycle in the Broadalk wheat experiment: ^{15}N -labelled fertilizer residues in soil and in the soil microbial biomass[J]. Soil Biology Biochem., 1989, 21:529-533.
- [15] Boyle M *et al.* Carbon and nitrogen mineralization kinetics in soil previously amended with sewage sludges[J]. Soil Sci. Soc. Am., 1989, 53:99-103.
- [16] Srivastava S C and Singh J S. Microbial C, N, and phosphorus in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-uses and nutrient flux[J]. Soil Biology Biochem., 1991, 23(2):117-124.
- [17] Ray A H *et al.* Effect of intensive cropping of jute-rice-wheat on ammonification, nitrification and nitrogen fixation in soil[J]. J. Indian Soc. Soil Sci., 1985, 33:905-907.
- [18] Ndayegamiye A, Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties [J]. Canadian J. of Soil Sci., 1989, 69(1):39-47.
- [19] Nanda S K, Das P K, Behera B. Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification and CO_2 evolution in a rice soil[J]. Oryza, 1998, 25(4):413-416.
- [20] 林增泉, 翁文钰, 蒋和, 等. 连续十年施肥对水稻土肥力的影响[J]. 福建省农科院学报, 1991, 6(1):35-44.
- [21] Svirskiene A, Tarvidas J. Survey of investigation of the biological activity of neutral loamy soil in cultivated pastures[J]. Lietuvos Zemdirbystes Institito Mokslo Darbai, 1995, 43:109-119.
- [22] Krishnamoorthy K K. Review of soil research in India. Part I [M]. 1982. 453-464.
- [23] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机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.
- [24] 薛景珍, 郭树范, 程国华, 等. 长期施用含氯化肥对土壤微生物区系及固氮细菌生理群的影响[J]. 土壤通报, 1995, 26(3): 135-138.
- [25] Hewitt E J, Smith T A (铃木, 米兰, 等译). 植物的无机营养 [M]. 理工学社. 1979.
- [26] 陈恩凤, 等. 土壤酶与土壤肥力研究[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 54-61.
- [27] 关松荫. 棕壤的十二种土壤的酶活性[J]. 土壤肥料, 1980, (2):19-21.
- [28] 袁玲, 杨邦俊, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 1997, 3(4):300-306.
- [29] 蒋和, 翁文钰, 林增泉. 施肥十年后的水稻土微生物学特性和酶活性的研究[J]. 土壤通报, 1990, 21(6):265-268.
- [30] Dick R P *et al.* Influence of long-term residue management on soil enzyme activity in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system[J]. Soil Biology and Biochem., 1988, 20(6):159-164.
- [31] 关松荫. 土壤酶活性影响因子的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(1):72-78.
- [32] 赵之重. 土壤酶与土壤肥力关系的研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 1998, 16(3):24-29.
- [33] Juma N G, Tabatabai M A. On predicting the soil fertility use enzymes in soil beneath grassland[J]. Soil Sci. Soc. of Am. J., 1991, 41(2):343-346.
- [34] Deng S P *et al.* Cellulase activity of soil: effect of trace elements [J]. Soil Biology and Biochem., 1995, 27:977-979.