

水溶性聚合材料对土壤生物的影响

张建峰^{1,2}, 姜慧敏², 李桂花², 李玲玲², 张夫道², 李首成^{1*}, 杨俊诚^{2*}, 张 勇³

(1.四川农业大学农学院, 四川 温江 611130; 2.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3.陕西省汉中市植保站, 陕西 汉中 723000)

摘 要:缓/控释肥料研制和应用已成为提高肥料利用率和降低环境污染风险的重要途径。通过田间小区试验,研究了5种具有代表性的缓释肥料包膜材料纳米-亚微米级水溶性聚合物,即纳米级聚乙烯醇混聚物(CF2)、纳米-亚微米级高岭土-聚酯混聚物(N-KL)、纳米-亚微米级腐植酸混聚物(N-FZ)、纳米-亚微米级丙烯酸酯类混聚物(N-BX)、纳米-亚微米级聚苯乙烯泡沫塑料混聚物(N-PS),在降解释放过程中对土壤主要微生物、主要功能群以及具有代表性土壤动物群落影响。结果表明,不同水溶物聚合物对土壤生物的影响不同,与CK相比,5种水溶性聚合材料处理后细菌、放线菌、氨化细菌、硝化细菌、纤维分解菌种群数量分别增加1.08~2.34倍、0.37~0.96倍、0.3~2.17倍、0.52~1.15倍、0.03~2.45倍,其中腐植酸混聚物处理增加量最大;对真菌、固氮菌种群数量影响不大;对反硝化细菌种群数量有减少的趋势。5种水溶性聚合材料处理对土壤动物的线虫动物门、蜷螨目个体数分别增加15.16%~52.98%、12.33%~200%,其中腐植酸混聚物处理增加数量最多。

关键词:水溶性聚合材料;土壤生物;影响

中图分类号:S154.36 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)05-0984-05

Effect of Water-soluble Composites on Soil Biota

ZHANG Jian-feng^{1,2}, JIANG Hui-min², LI Gui-hua², LI Ling-ling², ZHANG Fu-dao², LI Shou-cheng^{1*}, YANG Jun-cheng^{2*}, ZHANG Yong³
(1.College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, Sichuan, China; 2.Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China; 3.Plant Protection and Quarantine Station of Hanzhong, Shaanxi Province 723000, China)

Abstract: Application of slow/controlled release fertilizer is an efficient way to increase fertilizer use efficiency and decrease risk of environmental pollution. Five typical water-soluble composites as coating agent for slow-release fertilizer were prepared to study their effect on soil microbe, microbial function groups and soil animals in the field, which were named nanometer sized polyvinyl alcohol composite (CF2), nanometer-sub micrometer sized porcelain-polyester composite (N-KL), nanometer-sub micrometer sized humic acid composite (N-FZ), nanometer-sub micrometer sized acrylate composite (N-BX), and nanometer-sub micrometer sized polystyrene foam plastic. The results showed for all five composites of bacteria, actinomycetes, ammonibacteria, ammonifying bacteria, and cellulolytic bacteria, the quantities were increased as 1.08~2.34, 0.37~0.96, 0.3~2.17, 0.52~1.15, 0.03~2.45 times respectively, comparing with CK, with N-FZ treatment the highest. While all five composites had no significant effect on the quantities of fungi and azotobacter, the quantity of denitrifying bacteria was decreased for those five composites. The soil animal numbers of nematode and acarina were increased as 15.07%~52.92% and 12.33%~200% respectively for the five composites, with N-FZ treatment the most. In conclusion, all five composites had similar effects on soil organisms except different degree.

Keywords: water-soluble composites; soil organisms; effect

收稿日期:2012-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(21107139); 科研院所技术开发研究专项资金“新型土壤改良功能材料研发与应用示范”; 国家科技支撑计划(2012BAC03B06); 环保公益性行业专项(200909005)

作者简介: 张建峰(1979—), 男, 江苏徐州人, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事土壤生态环境和新型肥料研究。

通讯作者: 李首成, 教授, E-mail: lsc5101@yahoo.com.cn

杨俊诚, 研究员, E-mail: yangjch@263.net

缓/控释肥料是根据作物不同生育期对养分需求而释放养分的新型肥料,具有可延续和控制肥料氮的释放、提高氮肥资源的利用率等特征,其研制和应用成为提高肥料利用率和降低环境污染风险的一个新的发展趋势^[1-2],也是国内外植物营养和肥料科学的一个热点研究领域^[3]。近年来包膜型缓释肥料在国内外发展迅速,其种类繁多,占缓/控释肥料的 95% 以上^[4]。包膜肥料按包膜材料的性质分为无机包膜材料和有机包膜材料两大类。其中采用有机聚合物作为包膜材料的缓/控释肥料占缓/控释肥料的主导地位,占缓/控释肥料总产量的 85% 以上^[5]。随着现代农业对包膜缓/控释肥料需求量的增多,包膜缓/控释肥料在农业应用中逐渐暴露出新的问题:缓/控释肥料的包膜材料不是肥料成分,它占肥料的比例为 13%~20%,当肥料释放殆尽后,膜壳残留在土壤中,而这些膜壳能否降解,其残留物或降解后的产物是否会对土壤环境产生负面影响等问题随之而来^[6]。研究证明,以有机溶剂性树脂为主的缓/控释肥料包膜材料,材料性质稳定,进入土壤很难降解,降解的周期长达 30~50 a,连年使用易对土壤造成污染^[7-9]。为了缓/控释肥料的健康发展,我们研制了系列纳米-亚微米级水溶性聚合物,作为肥料的缓释包膜材料,据前期研究表明,聚合物材料具有良好的缓释性和可降解性。由于该类材料在国内外首次引进缓释肥料生产中,其对土壤生物影响尚不清楚。本文选择 5 种具有代表性纳米-亚微米级水溶性聚合物进行土壤生物影响研究,分析其在分解释放过程中土壤主要微生物、主要功能群以及具有代表性土壤动物群落变化,为探索水溶性聚合物对土壤健康质量的影响机理,以及作为缓释肥料包膜材料应用于环境友好型的缓/控释肥料生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 水溶性聚合物来源

实验室自制 5 种纳米-亚微米级水溶性聚合物。聚合物材料选用工农业废弃物和廉价环保的化工原

料,在液相条件下,采用化学反应、微乳化和高剪切技术制备。聚合物的性状、颜色和 pH 值等主要性状如表 1。

1.2 试验设计

试验地点设在北京昌平“国家褐潮土土壤肥力与肥料效益监测基地”,地理位置为北纬 40°13',东经 116°14',试验期间降雨量为 784.1 mm,极端最低温度-11.6℃,最高温度 40.6℃;

土壤主要理化性状:土壤有机质 14.4 g·kg⁻¹,全氮 0.80 g·kg⁻¹,全磷 1.6 g·kg⁻¹,全钾 17.3 g·kg⁻¹,速效氮 65.52 mg·kg⁻¹,速效磷 12 mg·kg⁻¹,速效钾 87.0 mg·kg⁻¹,pH7.8(H₂O)。

本试验在长 1.0 m×宽 1.0 m×深 1.5 m 试验池进行,试验池内土壤在“基地”预备地中采集,分层放入试验池。为避免作物根系及其分泌物的影响,试验在无作物种植条件下实施。试验共设 6 个处理,即:(1) CK,(2)纳米级聚乙烯醇混聚物(CF2),(3)纳米-亚微米级高岭土-聚酯混聚物(N-KL),(4)纳米-亚微米级腐植酸混聚物(N-FZ),(5)纳米-亚微米级丙烯酸酯类混聚物(N-BX),(6)纳米-亚微米级 PS 混聚物(N-PS)。

2010 年 7 月 20 日,将水溶性聚合物在搅拌条件下,用 50℃热水稀释至 5% 固形物含量,每个试验池称取 1.5 kg 稀释液,与 0~20 cm 土壤混合均匀,含水量调节至 19% 左右,再放入试验池,并耙平。次年 7 月 20 日取样对土壤生物指标进行分析。

1.3 土壤生物采集与培养

1.3.1 土壤动物采集

2011 年 7 月,每个处理随机采集 5 个点,采用 Cobb 过筛法^[10]分离中小型土壤动物。受分类的限制,以土壤动物类群进行分类。

1.3.2 土壤微生物培养与计数

采集土壤动物的同时,采集新鲜土壤样品带回实验室对主要土壤微生物类群与功能群进行室内培养,其中主要微生物类群,细菌、真菌、放线菌分别采用牛

表 1 供试材料的理化性质

Table 1 The physical and chemical characters of Nano-subnano composites

序号	材料名称	pH	固形物含量/%	粒径/nm	颜色与物相
1	聚乙烯醇混聚物(CF2)	7.0	18.5	10~80	米黄色液体
2	粘土-聚酯混聚物(N-KL)	7.0	35.0	30~160	灰白色液体
3	腐植酸混聚物(N-FZ)	7.0	41.5	110~316	浅黑色液体
4	废弃聚苯乙烯泡沫塑料混聚物(N-PS)	7.0	45.0	105~403	白色液体
5	丙烯酸酯类混聚物(N-BX)	7.0	46.8	32~93	泛蓝光白色液体

肉膏蛋白胨、马丁氏、改良高氏 1 号培养基,用涂抹法接种,稀释平板法测数。主要功能群,氨化细菌、硝化细菌、反硝化细菌、纤维素分解菌分别选用各生理群的特定培养基,稀释频度法测数^[10],并折算成每克干土微生物数量。

2 结果分析与讨论

2.1 水溶性聚合物对主要土壤微生物与功能群数量的影响

施用水溶性聚合物条件下,主要土壤微生物数量发生了改变,与对照相比,均出现不同程度增长,土壤主要微生物数量变化因水溶性聚合物种类不同而不同(表 2)。从表 2 看出,与对照(CK)相比,主要土壤微生物数量均呈现增加趋势,如细菌的数量增加最多,其中腐植酸混聚物(N-FZ)处理增加最多,增加了 2.34 倍;其次为丙烯酸酯类混聚物(N-BX)处理,增加了 1.7 倍,增加最少的是聚乙烯醇混聚物,仅增加了 1.08 倍;其次是放线菌的数量,其增加最多的也是腐植酸混聚物,其次是丙烯酸酯类混聚物(N-BX)处理,最少的是聚乙烯醇混聚物(CF2),仅增加了 0.37 倍;增加最少的是真菌,其数量增加最多的也是在腐植酸

混聚物(N-FZ)处理,其次是聚乙烯醇混聚物(CF2),最少的是丙烯酸酯类混聚物(N-BX)。

与主要土壤微生物趋势略有不同的是,土壤微生物主要功能群的变化因功能群的种类不同而不同,如氨化细菌、硝化细菌、纤维分解菌数量均呈现增长趋势,与其他水溶性聚合物相比,在施用腐植酸混聚物(N-FZ)的条件下,三种功能菌增长量最多,均在 1 倍以上;而在粘土-聚酯混聚物(N-KL)处理条件下数量增加最少。

反硝化细菌数量呈减少趋势,如减少最多处理是废弃聚苯乙烯泡沫塑料混聚物(N-PS),为 20.93%,其次是丙烯酸酯类混聚物(N-BX),为 20.29%,减少最少的是聚乙烯醇混聚物(CF2),为 16.13%。而固氮菌数量变化幅度较大,如在聚乙烯醇混聚物(CF2)条件下,固氮菌数量增加了 8.92%,而在粘土-聚酯混聚物(N-KL)条件下,固氮菌数量减少了 2.82%,说明各处理的聚合材料对反硝化细菌有抑制作用。

2.2 水溶性聚合物对土壤动物群落的影响

6 种处理条件下,共采集中小型土壤动物 3 大类(图 1)。从图 1 可以看出,与对照相比,水溶性聚合物处理均对土壤动物具有不同程度影响,其中线虫与蟬

表 2 不同水溶性聚合物处理微生物种群数量(cfu·g⁻¹干土)
Table 2 The quantities of microorganism in different composite treatments

处理	CK	CF2	N-KL	N-FZ	N-BX	N-PS
细菌(×10 ⁶)	13.62	28.37	30.51	45.50	36.77	34.28
真菌(×10 ⁴)	2.05	2.49	2.65	3.26	2.35	2.47
放线菌(×10 ⁵)	8.75	13.55	12.0	17.14	13.05	14.83
固氮菌(×10 ⁶)	13.11	14.28	12.74	13.55	13.18	13.24
氨化细菌(×10 ⁶)	6.56	9.43	8.75	20.08	8.41	8.52
硝化细菌(×10 ²)	3.41	6.70	5.17	7.32	5.82	5.66
反硝化细菌(×10 ⁴)	15.63	13.10	12.96	12.76	12.45	12.35
纤维分解菌(×10 ⁴)	20.80	22.47	21.35	69.18	28.11	30.86

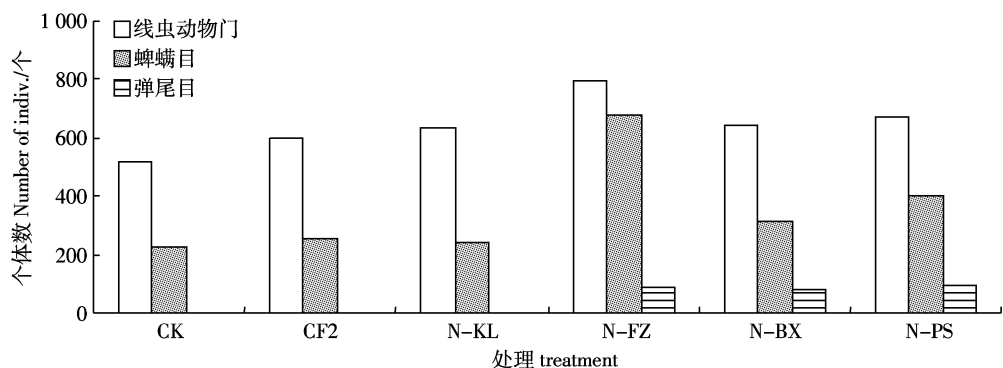


图 1 不同水溶性聚合物处理下中小型土壤动物个体数变化
Figure 1 The numbers of soil animal in different composite treatments

螯类腐植酸聚合物(N-FZ)处理条件中采集到的数量最多,分别为797个和682个,其次是聚苯乙烯泡沫塑料混聚物(N-PS)处理,检出动物个体数为672个和405个,增加最少的分别是聚乙烯醇混聚物(CF2)和粘土-聚酯混聚物(N-KL)。与线虫与蛭螨类土壤动物不同的是,在所采集到弹尾类的三个处理中,弹尾类聚苯乙烯泡沫塑料混聚物(N-PS)处理数量增加最多,检出动物个体数为405个,丙烯酸酯类混聚物(N-BX)最少。结果反映出不同种类土壤动物对水溶性聚合物的响应不同。

2.3 讨论

(1)水溶性聚合物具有良好的胶结性能,对供试土壤产生较好的团聚作用。在传统土壤学中,将大于10 μm 的粒级称为粉砂粒,小于10 μm 的粒级称为黏粒。根据刘秀梅研究结果^[12],施用水溶性聚合物可减少大于10 μm 粒级含量,增加小于10 μm 粒级含量,其中小于2 μm 和2~10 μm 粒级土壤复合体含量增加显著,而且这两个粒级中C、N、P含量均大于其他粒级,特别是腐植酸混聚物处理最为显著,这意味着施用水溶性聚合物可提高土壤肥力。本研究结果腐植酸混聚物(N-FZ)处理中各有益微生物种群数量均最高,可能与小于10 μm 复合体数量增加有关,施用水溶性聚合物各处理反硝化细菌数量有减少的趋势,水溶性聚合物是否具有抑制反硝化细菌的作用,尚需进一步试验研究证明。

(2)土壤微生物和土壤动物的繁殖和生长均与土壤水分含量密切相关。前期试验结果表明,腐植酸混聚物和塑料-淀粉混聚物均具有良好的保水性能^[13],为土壤微生物和动物生长创造了有利的条件。

(3)本实验室研制的5种水溶性聚合物,施入土壤后,研究结果表明其能够增加土壤有益细菌数量,这对提升土壤健康水平、减少土传病害的发生具有积极作用;同时抑制了反硝化细菌的数量,对减少土壤中氮素的损失具有重要意义,可以有效地提高氮素肥料的利用率。水溶性聚合材料处理可以增加土壤动物的线虫动物门、蛭螨目的个体数,与对照相比,分别增加了15.07%~52.92%、12.33%~200%,表明供试水溶性聚合物具有较好的生态效应,从而可以有效地促进土壤分解有机质的能力,提高土壤肥力,改善土壤物理性质。前期研究结果^[14]显示,在室内模拟条件下,选用混合菌剂,5种水溶性聚合物均能在4~20周降解率达98%以上,降解产物为稳定的小分子、 CO_2 和 H_2O ,但5种水溶性聚合物的生产原料不同,降解释

放时间和中间产物不同,因此对土壤生物的影响存在一定的差异性。综合考虑,这5种水溶性聚合物作为缓/控释肥料包膜剂具有很好的适用性。

3 结论

(1)5种水溶性聚合材料对研究区主要土壤微生物与土壤功能微生物具有一定影响。与对照相比,各水溶性聚合材料处理均能促进细菌、放线菌、氨化细菌、硝化细菌、纤维分解菌数量增长,其中纳米级腐植酸混聚物处理增加数量最多;对反硝化细菌均具有抑制作用。这5种水溶性聚合物可以有效避免部分缓/控释肥料包膜剂在降解过程中中间产物对土壤功能微生物造成危害,可以优化土壤生态系统结构,从而提高土壤肥力水平,为我国环境友好型的缓/控释肥料生产应用提供新的技术思路和包膜材料。

(2)土壤动物群落对不同水溶性聚合材料的反映不一致。对本研究中采集到的三类典型中小型土壤动物分析显示,纳米级腐植酸混聚物更有利于土壤线虫动物门、蛭螨目、弹尾类土壤动物生存。土壤动物是土壤质量评价的重要生物学指标,综合考虑缓/控释肥料包膜剂对土壤动物的影响对于包膜材料的选择利用具有重要科学意义。本文选择的5种具有代表性的水溶性聚合材料作为缓/控释肥料包膜剂,从生态环境保护的角度出发,纳米级腐植酸混聚物在供试材料中可以更好地适用于缓/控释肥料包膜剂。

参考文献:

- [1] 张夫道,王玉军.我国缓/控释肥料的现状和发展方向[J]. 中国土壤与肥料,2008(4):1-4.
ZHANG Fu -dao,WANG Yu -jun.Current situation and development trend of slow/controlled-release fertilizer in China[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(4):1-4.
- [2] Jarosiewicz A, Tomaszewska M. Controlled-release NPK fertilizer encapsulated by polymeric membranes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51: 413-417.
- [3] TANG Shuan-hu, YANG Shao-hai, CHEN Jian-sheng, et al. Studies on the mechanism of single basal application of controlled-release fertilizers for increasing yield of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2007,6(5):586-596.
- [4] 张树清.我国缓控释肥料现状与存在问题分析[J]. 中国农业信息, 2008,11:32-36.
Zhang Shu -qing.Current situation and problem analysis of slow/controlled-release fertilizer in China[J]. *China Agricultural Information*, 2008, 11:32-36.
- [5] 张夫道,王玉军.缓/控释 BB 肥是我国缓/控释肥料发展方向[J]. 磷肥与复肥,2009,24(2):8-11.

- ZHANG Fu-dao, WANG Yu-jun. Slow/controlled release BB fertilizer: The developing direction of China's compound fertilizer [J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2009, 24(2): 8-11.
- [6] 邹洪涛. 关于包膜肥料研制及其养分释控效果的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2003: 12-15.
- ZOU Hong-tao. Study on the manufacture of coated fertilizer and controlled release effect of fertilizer nutrient[D]. *Shenyang, Shenyang Agricultural University*, 2003: 12-15.
- [7] 肖传绪, 杜晓燕, 莫海涛, 等. 木质素作为包膜材料包裹尿素的缓释效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 167-170, 176.
- XIAO Chuan-xu, DU Xiao-yan, MO Hai-tao, et al. Study on slow-release effects of urea coated with lignin used as coating material[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(6): 167-170, 176.
- [8] 林海涛, 江丽华, 刘兆辉, 等. 生物可降解型自控缓释尿素养分释放规律的研究[J]. 山东农业科学, 2009, 11: 69-72.
- LIN Hai-tao, JIANG Li-hua, LIU Zhao-hui, et al. Study on nutrient release rule of biodegradable controlled-release urea[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, 11: 69-72.
- [9] 肖强, 王甲辰, 左强, 等. 有机-无机复合材料胶结包膜肥料的研制及评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 115-120.
- XIAO Qiang, WANG Jia-chen, ZUO Qiang, et al. Development and evaluation of fertilizers cemented and coated with organic-inorganic materials[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 115-120.
- [10] 张夫道等. 中国土壤生物演变及安全评价[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 34-36.
- ZHANG Fu-dao et al. Chinese soil biological evolution and safety evaluation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 34-36.
- [11] 尹文英等. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 8-10.
- YIN Wen-ying et al. Soil animals of China[M]. Beijing: Science Press, 2000: 8-10.
- [12] 刘秀梅. 纳米-亚微米级复合材料性能及土壤植物营养效应[D]. 北京: 中国农业科学院, 2005: 71-79.
- LIU Xiu-mei. Characteristics of nano-subnano composites and response of soil and plant nutrition to them[D]. Beijing: Chinese Agriculture Academic Science.
- [13] 张建峰, 杨俊诚, 张夫道, 等. 多功能固沙保水剂制备及其性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1820-1825.
- ZHANG Jian-feng, YANG Jun-cheng, ZHANG Fu-dao, et al. Preparation and characteristics evaluation of the multifunctional sand-fixing and water-maintaining polymer[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(5): 1820-1825.
- [14] 张建峰, 姜慧敏, 李桂花, 等. 微生物对水溶性聚合物的生物降解作用[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 956-960.
- ZHANG Jian-feng, JIANG Hui-min, LI Gui-hua, et al. Microbial degradation of water-soluble polymer[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 956-960.