

生物有机肥对盆栽小白菜土壤酶活性和微生物数量的影响

荆瑞勇, 王丽艳, 郭永霞

(黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:生物有机肥对绿色有机农业的发展至关重要,国内外生物有机肥品种繁多,筛选适宜本地的生物有机肥意义重大。采用施 4 种生物有机肥盆栽四季小白菜试验,定期采集土样检测少量施生物有机肥处理(2 g/kg)的土壤酶和微生物数量的动态变化。结果发现,施肥 1 周时,生物有机肥可促进土壤过氧化氢酶及脲酶活性,而降低了土壤细菌数量,2 周时,生物有机肥可明显刺激细菌增殖,提高土壤蛋白酶、转化酶及磷酸酶活性。3 周时生物有机肥仍可促进土壤磷酸酶活性,而其他酶活性恢复至对照水平,4 周时,生物有机肥处理的土壤过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶及磷酸酶活性及土壤真菌数量恢复至对照水平。在检测中期,由国外引进的生物有机肥 BF1 在不施化肥时可明显改善土壤微生物学特性,有待深入研究。以上结果为筛选优良生物有机肥提供理论依据。

关键词:生物有机肥;土壤酶;微生物数量;四季小白菜

中图分类号:S154.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0079-05

Effects of Bioorganic Fertilizers on Soil Enzyme Activities and Amount of Microorganism in Pakchoi Pot Experiment

JING Ruiyong, WANG Liyan, GUO Yongxia

(Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: Bioorganic fertilizer is vital for development of green organic agriculture, and there are a great variety of bio-organic fertilizers at home and abroad. It is of significance of screening appropriate local bioorganic fertilizers. In this paper, pakchoi was cultivated with four bioorganic fertilizers, dynamic changes of soil enzyme activities and amount of microorganism in the treatment with bio-organic fertilizer (2 g/kg) were detected by regular sampling in pot experiment. The results showed that bioorganic fertilizers could promote the activities of catalase and urease and reduce the amount of soil bacteria at the first week after fertilization. Bioorganic fertilizers significantly stimulated the bacteria proliferation, improved the activities of soil protease, sucrose and phosphatase in 2 weeks after fertilization. In 3 weeks after fertilization bioorganic fertilizers still promoted the activity of soil phosphatase, however, the other enzyme activity returned to control level. In 4 weeks after fertilization the activities of catalase, urease, protease and phosphatase and the amount of fungi in treatment with bioorganic fertilizer returned to control level. In the middle of detection, the abroad bioorganic fertilizer(BF₁) could improve soil microbial properties when no chemical fertilizer was not applied, which needs to further study. The above results can provide the theoretical basis for selecting excellent bioorganic fertilizer.

Keywords: bioorganic fertilizer; soil enzyme; amount of microorganism; pakchoi

生物有机肥是一种带有活性微生物的有机肥,兼有生物肥和有机肥优点,可增产增收,改良土壤,同时提高产品品质,减少病害。据报道施用有机肥或生物

有机肥可改善品质的作物有很多,如黄瓜^[1]、甘蓝^[2]、胡麻^[3]、花生^[4]、香草兰^[5]、冬小麦^[6]、樱桃^[7]、香蕉^[8]、可可^[9]等等。四季小白菜是常见的食用蔬菜,

生长周期短,出苗后近一个月即可上市。筛选适用于生长期短食用蔬菜的生物有机肥,改良土壤,提高产品品质,具有重要意义。

土壤微生物数量和酶活性是影响土壤微生态环境的重要因素,驱动土壤有机质和养分的转化。施用生物有机肥,可提高土壤脲酶、磷酸酶及转化酶活性^[7-8,10-13],且与土壤有机质和养分间呈显著或极显著正相关^[13]。生物有机肥亦可提高土壤细菌数量和放线菌数量,降低土壤真菌数量^[2,8]。已报道生物有机肥施用的土壤有沼泽潮土^[14]、水稻土^[8]、盐渍土^[11]等。但土壤类型、耕作、施肥方式复杂多样,施肥对土壤酶和土壤微生物数量影响不尽相同,而且农田生物有机肥施用量 5 000~22 500 kg/hm²,甚至更多。至目前为止,减少生物有机肥施用量,对于生育期短的食用蔬菜施用少量生物有机肥对土壤微生物数量和酶活性的影响并不清楚。本研究针对我国东北草甸黑钙土,少量施用几种生物有机肥,对种植短生育期食用蔬菜的土壤微生物数量及酶活性进行调查,为筛选适宜于种植生育期短食用蔬菜的生物有机肥,改善土壤肥力,合理施肥提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为草甸黑钙土,土壤有机质 3.08%,碱解氮 178.5 mg/kg,有效磷 25.4 mg/kg,速效钾 257.4 mg/kg,pH 值为 7.88;供试植物为四季小白菜,由哈尔滨金龙农业有限公司生产。供试生物有机肥有 4 种,分别为:BF₁ 是澳大利亚引进生物肥,活菌数 $\geq 0.2 \times 10^8$ CFU/g;BF₂ 是肉蛋白生物有机肥,有机质含量 $\geq 25\%$,粗蛋白 $\geq 9\%$,氨基酸 $\geq 3\%$,钙镁硫 $\geq 8\%$,总养分(有机氮、有机磷、有机钾) $\geq 6\%$,活菌数 $\geq 0.2 \times 10^8$ CFU/g;BF₃ 是植物生长精生物肥,CuO $\geq 6\%$ 、MgO $\geq 5\%$ 、SiO₂ $\geq 3\%$,活菌数 $\geq 0.2 \times 10^8$ CFU/g;BF₄ 是莲花生物有机肥料,氨基酸 $\geq 10\%$ 、有机质 $\geq 20\%$ 、腐植酸 $\geq 15\%$,活菌数 $\geq 0.2 \times 10^8$ CFU/g。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 本试验采用盆栽试验探讨几种生物有机肥对土壤微生物和酶活性的影响,供试塑料盆的口径为 14 cm,高为 13 cm,每盆装入土壤 3.5 kg,设 7 个处理分别是:处理一不施肥(CK)、处理二仅施化肥,磷酸氢二胺用量 300 kg/hm²(F)、处理三为化肥+BF₁、处理四为化肥+BF₂、处理五为化肥+BF₃、处理六为化肥+BF₄、处理七为 BF₁(BF₅),不施化肥,以上处理的生物有机肥施用量均为 2 g/kg,化肥用量均为磷酸氢二胺 300 kg/hm²。每处理 3 次重

复,共计 21 盆。2013 年 6 月 8 日种植小白菜,先将每盆土样用同量的水湿透,播种后覆干土,于玻璃温室中生长培养。种植 4 d 时,每盆留水白菜幼苗 6 株。水分管理为:前期每隔 2 d 浇水一次,后期每隔 1 d 浇水一次,每处理浇水量及浇水时间一致。在盆栽后 7,14,21,28 d 分别取盆栽小白菜盆中央土壤样品,取样深度约为 8—10 cm。测定土壤细菌、放线菌及真菌数量;土壤过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶、转化酶、磷酸酶等各项指标。

1.2.2 测定指标 土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法、蛋白酶采用茚三酮比色法、脲酶采用靛酚蓝比色法、转化酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸酶采用氯代二溴对苯醌亚胺比色法^[15];土壤细菌数量、放线菌及真菌数量分别于牛肉膏蛋白胨培养基、高氏一号培养基、孟加拉红培养基采用平板计数法测定。

1.2.3 数据分析 数据均采用 Excel 软件和 SPSS 20.0 软件进行 ANOVA 方差分析、多重比较(LSD, $p \leq 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥料对土壤酶活性的影响

施用生物有机肥料处理的土壤酶活性的动态变化见表 1。7 d 时,施用生物有机肥均可提高过氧化氢酶(CAT)活性,BF₁ 较 F 处理最大可提高 CAT 活性 7.4%;BF₂ 和 BF₄ 处理较 F 处理蛋白酶活性均受到抑制,分别抑制 6.6%和 6.7%,其他处理无显著差异;F 处理较 CK 处理显著抑制脲酶、转化酶和磷酸酶活性,分别可抑制 42.2%、25.0%和 53.4%。而施用生物有机肥可缓解这种抑制作用,各生物有机肥处理较 F 处理脲酶活性均显著提高,BF₃ 处理可提高 88.5%;而施用生物有机肥 BF₁ 和 BF₂ 较 F 处理出现抑制转化酶和磷酸酶作用,分别抑制转化酶的 28.8%和 45.4%、磷酸酶活性的 15.8%和 27.6%;BF₃ 和 BF₄ 出现促进作用,较 F 处理均提高转化酶 24.1%、磷酸酶 10.8%。BF₅ 处理亦抑制了转化酶活性。表明,不同种类的生物有机肥施入土壤时,对土壤碳、磷循环有着不同的响应。

14 d 时,F 处理较 CK 处理降低 CAT 活性,但 BF₂ 较 F 处理仍促进 CAT 活性;生物有机肥处理较 F 处理均可提高土壤蛋白酶、磷酸酶和转化酶活性,最高处理分别为 BF₄,BF₄ 和 BF₁,较 F 处理分别可提高 16.2%、23.7%和 33.6%。但生物有机肥处理脲酶活性均较低,BF₁、BF₃ 和 BF₄ 处理较 F 处理的脲酶活性均受到抑制,BF₁ 最大可抑制 54.8%;此时,土壤微生物大量增殖,需要大量的碳源供应,促使

转化酶、磷酸酶、蛋白酶活性增大。

21 d 时,F 处理较 CK 处理 CAT 活性显著提高,提高约 3%。而施用生物肥处理较 F 处理差异较小;此时,生物有机肥可促进蛋白酶、脲酶及磷酸酶活性,最高分别为处理 BF₄、BF₁ 和 BF₁,分别较 F 处理可提高 17.2%,1.6 倍和 34.6%。而施用生物肥较 F 处理可抑制转化酶活性,F₁ 处理最高可抑制 86.0%;表明当土壤中氨态氮、磷素被作物或土壤微生物利用后,解除了底物的反馈抑制作用,又可提高其脲酶、磷酸酶的活性。

28 d 时,各处理 CAT、磷酸酶、脲酶活性恢复至对照水平。生物有机肥处理的蛋白酶活性亦恢复至对照水平,甚至出现抑制蛋白酶活性,BF₄ 处理较 F

处理可抑制 6.7%。而生物肥处理较 F 处理促进转化酶活性,最高为 BF₄ 处理可提高 89.8%;这可能与后期小白菜根系分泌物较多有关。

2.2 生物有机肥对土壤微生物数量的影响

由表 1 可以看出,7 d 时,施用化肥和生物有机肥均可促进土壤细菌的数量,其中 F 处理较 CK 处理可提高 1.56 倍,而生物肥处理中 BF₁ 较 CK 处理可提高土壤细菌数量的 80%,但较 F 处理明显抑制细菌的增殖;施用化肥和生物肥均可抑制土壤放线菌数量,其中,BF₄ 处理较 CK 处理可抑制 47.2%;F 处理较 CK 处理可明显提高土壤真菌数量 54.5%,而 BF₂ 和 BF₃ 可减缓这种抑制作用。BF₅ 处理较 CK 明显增加真菌数量,约提高 1.73 倍。

表 1 施用生物有机肥处理土壤微生物数量和土壤酶活性的动态变化

时间/ d	处理	过氧化氢酶活性/ (ml·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	蛋白酶活性/ (μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	脲酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	转化酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·24h ⁻¹)	磷酸酶活性/ (mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	土壤细菌数量/ (10 ⁵ CFU·g ⁻¹)	放线菌数量/ (10 ⁵ CFU·g ⁻¹)	真菌数量/ (10 ² CFU·g ⁻¹)
7	CK	10.56±0.03c	43.5±0.12bc	0.90±0.12ab	7.94±1.22a	12.89±0.05a	96.66±8.08c	70.66±10.06a	74.66±11.01c
	F	10.49±0.18c	45.24±0.59ab	0.52±0.05d	6.35±0.72b	6.01±0.16d	248.33±7.63a	47.66±3.21b	115.33±15.30b
	BF ₁	11.27±0.21a	45.54±2.34a	0.74±0.19bc	4.52±0.38c	5.06±0.20e	172.00±66.02b	47.33±2.3b	111.66±6.8b
	BF ₂	10.69±0.15bc	42.44±0.58c	0.64±0.08cd	3.47±0.7c	4.35±0.09f	171.00±33.95b	47.33±3.05b	49.33±4.50c
	BF ₃	10.58±0.42c	43.78±0.99abc	0.98±0.05a	7.88±0.31a	6.66±0.14c	153.00±40.26bc	37.00±3.46c	58.33±10.69c
	BF ₄	11.09±0.17ab	42.40±0.43c	0.80±0.07bc	7.88±0.88a	6.64±0.11c	129.33±20.64bc	35.33±7.63c	123.66±16.16b
	BF ₅	11.19±0.29a	42.47±0.31c	0.71±0.07c	6.16±0.11b	8.20±0.10b	174.00±37.98b	37.33±2.88c	204.33±31.65a
14	CK	8.36±0.14b	40.49±1.88ab	0.28±0.03b	6.48±0.12e	11.22±0.27bc	140.66±23.45d	97.66±1.52a	158±2.82b
	F	7.44±0.26cd	37.50±2.31b	0.31±0.02b	8.01±0.17d	10.73±0.69c	241.33±26.83c	67.66±16.19b	116±25.98b
	BF ₁	8.13±0.44bc	43.21±0.85a	0.14±0.05c	10.7±0.19a	11.53±0.38b	293.00±17.00bc	50.33±7.57c	100.66±22b
	BF ₂	9.24±0.82a	40.64±1.93ab	0.31±0.04b	8.5±0.11c	11.71±0.24b	416.66±89.62a	69.33±7.63b	85.66±5.68b
	BF ₃	7.38±0.33d	41.43±1.12a	0.20±0.01c	9.25±0.41b	11.13±0.02bc	332.33±12.66ab	68.66±7.02b	308±43.4a
	BF ₄	6.93±0.24d	43.59±1.76a	0.19±0.02c	9.53±0.21b	13.27±0.02a	232.33±59.36c	68.33±10.69b	101.66±51.81b
	BF ₅	6.89±0.15d	41.76±4.09a	0.40±0.04a	8.37±0.25cd	12.75±0.12a	227.00±57.41c	67.66±7.09b	115±8.88b
21	CK	10.59±0.13c	41.24±2.44b	0.08±0.01c	0.13±0.01d	1.21±0.08c	306.33±22.81d	53.66±7.50e	205.66±50.00ab
	F	10.91±0.13a	46.81±7.69ab	0.07±0.02c	1.07±0.08a	1.04±0.04d	280.66±15.63d	70.66±5.5cd	194.00±12.12ab
	BF ₁	10.77±0.07abc	54.29±1.96a	0.18±0.01b	0.33±0.03c	1.25±0.08c	343.66±16.04c	83.33±5.03ab	175.00±37.02b
	BF ₂	10.72±0.23bc	54.88±1.04a	0.11±0.01c	0.16±0.02d	1.26±0.05c	176.33±20.84f	77.33±8.96bc	236.66±12.09ab
	BF ₃	10.58±0.15c	55.8±9.17a	0.08±0.02c	0.15±0.02d	1.40±0.07b	238.33±17.15e	94.00±6.00a	229.33±26.76ab
	BF ₄	10.81±0.04abc	49.4±4.38ab	0.17±0.04b	0.32±0.02c	1.27±0.05c	380.66±14.01b	75.33±7.37bc	268.66±103.46a
	BF ₅	10.97±0.05a	54.89±5.27a	0.31±0.05a	0.49±0.07b	1.66±0.06a	432.66±22.18a	60.66±6.65de	179.66±7.37b
28	CK	10.56±0.12a	43.5±0.12bc	0.19±0.03bc	0.94±0.03d	13.37±2.01a	322.33±48.00a	38.66±6.50e	208.33±11.06bc
	F	10.60±0.18a	45.24±0.59ab	0.23±0.06ab	1.08±0.13c	13.28±4.04a	169.00±14.00b	95.00±8.88a	254.33±13.57ab
	BF ₁	10.45±0.06a	45.54±2.34a	0.27±0.05a	1.27±0.01b	12.50±0.34a	177.33±3.05b	55.33±10.01cd	305.33±75.63a
	BF ₂	10.47±0.23a	42.44±0.58c	0.2±0.01abc	1.09±0.01c	14.43±0.69a	155.00±6.08b	48.33±3.05de	156.00±21.79c
	BF ₃	10.64±0.15a	43.78±0.99abc	0.20±0.00bc	1.22±0.01b	12.49±0.71a	285.66±5.50a	58.33±6.5cd	226.00±21.93b
	BF ₄	10.62±0.17a	42.40±0.43c	0.19±0.02bc	2.05±0.01a	15.22±3.57a	97.66±10.69c	77.66±3.78b	255.00±20.66ab
	BF ₅	10.37±0.24a	42.47±0.31c	0.14±0.02c	0.89±0.01d	13.91±2.66a	143.0±50.76bc	64.33±1.15c	205.66±16.92bc

注:CK 为不施肥处理,F 为仅施化肥处理;BF₁—BF₅ 为不同生物有机肥;n=3。

14 d 时,化肥和生物有机肥对细菌仍具有促进作用,BF₂ 处理较 CK 处理最大可提高 1.96 倍,BF₅

处理可提高 61.4%;施用化肥和生物有机肥处理仍抑制土壤放线菌数量,其中 BF₁ 处理抑制效果最明

显,可抑制 48.5%;而 BF₃ 处理较 F 处理明显促进真菌数量,其他处理真菌数量无显著差异。

21 d 时,BF₁ 和 BF₄ 较 F 处理对细菌数量仍具有明显促进作用,分别提高 22.4%和 35.6%,而 BF₂ 和 BF₃ 较 F 处理的细菌呈现出抑制作用,分别抑制 37.2%和 15.1%;F 处理较 CK 处理放线菌数量明显增多,提高 31.7%,BF₁ 和 BF₃ 处理较 F 处理放线菌数量明显增多,分别提高 17.9%和 33.0%;而各处理的真菌数量无显著差异。

28 d 时,施用化肥和生物有机肥处理均表现出对细菌数量的抑制作用,其中 BF₄ 处理较 F 处理可抑制 42.2%;施用化肥和生物有机肥处理对放线菌数量有

促进作用,其中,F 处理促进效果最明显,可提高 1.46 倍,而添加生物有机肥处理抑制了这种作用,较 F 处理仍呈现出抑制作用。而 BF₅ 处理可提高放线菌数量 66.4%;施化肥处理真菌数量已恢复至对照水平。施用生物有机肥处理较 F 处理恢复至对照水平,而 BF₂ 处理甚至出现抑制土壤真菌数量,抑制 38.7%。

2.3 土壤酶活性和微生物数量的相关性

过氧化氢酶与蛋白酶呈显著正相关;转化酶与脲酶、磷酸酶呈显著正相关;细菌数量与脲酶呈现显著负相关;放线菌数量与脲酶呈极显著负相关;真菌数量与脲酶、转化酶活性呈极显著负相关。转化酶、磷酸酶与过氧化氢酶、蛋白酶呈极显著负相关。

表 2 土壤酶活性和微生物数量间相关性分析

项 目	过氧化氢酶	蛋白酶	脲酶	转化酶	磷酸酶	细菌数量	放线菌数量
蛋白酶	0.436*						
脲酶	0.218	−0.241					
转化酶	−0.665**	−0.564**	0.465*				
磷酸酶	−0.436*	−0.656**	0.011	0.377*			
细菌数量	−0.134	0.288	−0.434*	−0.107	−0.353		
放线菌数量	−0.229	0.325	−0.511**	−0.221	−0.035	0.056	
真菌数量	0.187	0.297	−0.594**	−0.579**	−0.025	0.146	0.342

** 表示极显著相关($p<0.05$); * 表示显著相关($p<0.01$)。

3 讨论与结论

本研究旨在了解在种植生育期短的蔬菜土壤中少量施入不同生物有机肥对土壤肥力的影响,而土壤酶、微生物数量从不同角度表征土壤生物化学代谢过程、微生态环境^[20]。当施肥 7 d 时,土壤中加入化肥较不施肥 CK 处理均可提高细菌数量,真菌数量,抑制土壤脲酶、磷酸酶、转化酶活性及放线菌的增殖,可能由于施入土壤化肥后土壤中释放大量氨态氮和磷素,底物浓度的增大抑制了土壤脲酶和磷酸酶的活性,但有利于微生物的增殖,其中细菌和真菌的增殖较快,放线菌的增殖受到抑制。施生物有机肥处理与仅施化肥处理相比过氧化氢酶、脲酶活性增加,这与杜社妮^[16]及谷思玉^[15]等的研究相似,施用生物有机肥或有机肥可提高土壤过氧化氢酶及脲酶的活性、而与本研究的生物有机肥施用量大小及施肥时间长短不同。但对过氧化氢酶活性的影响较小,与袁岭等的^[18]研究结果一致。施用生物有机肥处理较化肥处理抑制细菌的增殖,一些生物有机肥处理呈现出抑制放线菌数量增殖(BF₃ 和 BF₄),蛋白酶(BF₂ 和 BF₄)、转化酶(BF₁ 和 BF₂)及磷酸酶(BF₁ 和 BF₂)的活性,而一些生物有机肥呈现出激活过氧化氢酶(BF₁ 和 BF₄)、转化酶(BF₃ 和 BF₄)、磷酸酶(BF₃ 和 BF₄)。这可能与不同生物肥所含微生物种类不同,对土著微

生物及微生态环境响应不同造成。

施肥 14 d 时,由于本研究施入生物有机肥的量较小,生物有机肥较化肥处理的过氧化氢酶活性影响较小,但仍可以明显激活细菌的增殖,提高蛋白酶、转化酶、磷酸酶的活性。这与前人研究结果一致^[22-23],表明少量施用生物有机肥对土壤微生态环境具有明显改善,促进土壤物质代谢能力。丁文娟等^[8]研究种植香蕉的水稻土中施入生物有机肥也可提高土壤酶活性,促进细菌的增殖,与本文研究结果一致。而本研究中部分生物有机肥较化肥处理抑制了放线菌的增殖(BF₁)、脲酶活性(BF₁,BF₃ 和 BF₄)。仅 BF₃ 生物肥促进真菌的增殖。这可能是由于施入少量的生物有机肥较化肥处理相比,生物肥中所带有有益微生物数量并不一定占有菌群优势,而施入土壤中氨态氮肥在细菌的增殖过程中仍存有一定浓度,对土壤脲酶活性可产生反馈抑制作用。仅施 BF₁ 生物有机肥处理 BF₅ 与 CK 相比,蛋白酶、脲酶、转化酶及磷酸酶及土壤细菌数量均有所提高。

施肥 21 d 时,供试生物有机肥较化肥处理对过氧化氢酶、蛋白酶、真菌数量影响较小,促进磷酸酶活性,抑制转化酶活性,部分生物有机肥可促进脲酶活性(BF₁ 和 BF₄)、细菌的增殖(BF₁ 和 BF₄)和放线菌的增殖(BF₁ 和 BF₃),而部分生物有机肥较化肥处理抑制细菌增殖(BF₂ 和 BF₃)。据田小明等^[14]报道连续施用生

物有机肥,随着其用量的增加,微生物量及脲酶活性也在增加。而本研究施入少量生物有机肥在四季小白菜的生长旺盛期也可促进土壤细菌的增殖和脲酶的活性。在此阶段,仅施 BF_1 生物有机肥的处理 BF_5 与对照相比,过氧化氢酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶、转化酶及细菌数量均有明显的增殖。表明仅施 BF_1 生物有机肥可在种植四季小白菜生育期后期也可改善土壤理化性质。而王延军等^[19]认为生物有机肥与有机肥配施效果更好。本研究与张辉等^[6]及陈波等^[7]的研究结果相似,施用生物有机无机复合肥可提高土壤转化酶、脲酶、磷酸酶及土壤微生物数量,其中,张辉等^[6]研究时生物有机无机复合肥的施用量为 $6\ 670\text{ kg/hm}^2$,与本研究生物有机肥施用量约 $5\ 250\text{ kg/hm}^2$ 相近。但种植作物及选用测定的生长时期不同。

施肥 28 d 时,生物有机肥处理较化肥处理的土壤真菌数量、蛋白酶、过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶活性基本恢复至对照水平,土壤生物有机肥仍抑制放线菌的增殖,激活了转化酶活性。可能由于小白菜生育末期,植物体较大,土壤中根系分泌物较多,产生一些转化酶可利用底物,刺激转化酶活性的增高。而对 BF_1 生物有机肥与 CK 处理对比,土壤酶活性恢复至对照水平。

土壤酶主要由微生物及植物根系的分泌作用,是土壤养分转化的重要标志,土壤转化酶、蛋白酶、脲酶、磷酸酶参与土壤 C 素、N 素及 P 素循环,而过氧化酶参与土壤物质与能量转化过程,表征土壤总的生物活性及肥力状况^[16]。经相关性分析发现,过氧化氢酶与蛋白酶呈显著正相关关系,转化酶与脲酶、磷酸酶呈显著正相关关系,而转化酶、磷酸酶与过氧化氢酶、蛋白酶存在彼此消长的关系。而陈欢等^[10]经长期定位施肥发现,过氧化氢酶与脲酶、转化酶呈显著正相关关系,而与磷酸酶呈消长关系。可能由于土壤类型(草甸黑钙土与砂姜黑土)、种植作物(四季小白菜和小麦、玉米)及肥料种类(生物有机肥和有机肥)不同,导致微生物参与的代谢途径不同所致。而我们以前研究也发现土壤放线菌数量与土壤脲酶呈现显著负相关关系^[21],可能与土壤类型有关。

综上所述,本研究在种植四季小白菜时施入少量生物有机肥($5\ 250\text{ kg/hm}^2$),在施肥 7 d 时生物有机肥可促进土壤过氧化氢酶和脲酶活性,降低了土壤细菌数量,土壤蛋白酶及转化及磷酸酶活性因生物有机肥种类而异,施肥 14 d 时,生物有机肥可明显刺激细菌增殖,提高土壤蛋白酶、转化酶及磷酸酶的活性。施肥 21 d 时生物有机肥处理较施化肥处理仍可促进磷酸酶活性,而过氧化氢酶及蛋白酶活性已恢复至对照水平,仅施生物 BF_1 与不施肥处理相比,在 14 d 至

21 d 期间可明显提高土壤细菌数量,促进土壤蛋白酶、脲酶、转化酶及磷酸酶活性。施肥 28 d 时,施入少量生物有机肥处理较化肥处理的土壤过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶活性以及土壤真菌数量恢复至对照水平。此外,由国外引进的生物有机肥 BF_1 在不施化肥的情况下,可改善土壤微生态环境,因此在土壤肥力较好的土壤类型中适宜施用 BF_1 生物有机肥,有望达到土壤可持续利用的目的。

参考文献:

- [1] 曹丹,宗良纲,肖峻,等.生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(10):2587-2592.
- [2] 万水霞,李帆,蒋光月,等.有机肥不同用量对土壤微生物以及甘蓝品质和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2012(6):74-77.
- [3] 崔红艳,许维成,孙毓民,等.施用有机肥对土壤水分、胡麻产量和品质的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):307-312.
- [4] 王飞,林诚,何春梅,等.不同有机肥对花生营养吸收、土壤酶活性及速效养分的影响[J].中国土壤与肥料,2011(2):57-61.
- [5] 赵青云,赵秋芳,王辉,等.施用不同有机肥对香草兰生长及土壤酶活性的影响[J].热带作物学报,2014,35(2):256-260.
- [6] 张辉,李维炯,倪永珍.生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响[J].农村生态环境,2004,20(1):37-40.
- [7] 陈波,马海林,刘方春,等.生物有机肥对樱桃生长及根际土壤生物学特征的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):267-281.
- [8] 丁文娟,曹群,赵兰凤,等.生物有机肥施用期对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(8):1575-1582.
- [9] 赵青云,王华,王辉,等.施用生物有机肥对可可苗期生长及土壤酶活性的影响[J].热带作物学报,2013,34(6):1024-1028.
- [10] 陈欢,李玮,张存岭,等.淮北砂姜黑土酶活性对长期不同施肥模式的响应[J].中国农业科学,2014,47(3):495-502.
- [11] 谷思玉,汪睿,耿泽铭,等.生物有机肥对盐渍土壤酶活性和腐殖质组分的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):147-151.
- [12] 孙薇,钱勋,付青霞,等.生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1224-1233.
- [13] 赵晶,孟庆峰,周连仁,等.长期施用有机肥对草甸碱土土壤酶活性及养分性的影响[J].中国土壤与肥料,2014(2):23-26,34.

综合指数的逐年增加表明等级为4的建设用地的增加量大于等级为3的耕地的减少量;从土地利用程度综合指数变化量来看,2004—2007年土地利用综合指数变化量要远远超过2000—2004年和2007—2012年的土地利用变化综合指数变化量,表明2004—2007年土地利用程度提高速度最快,也间接说明了2004—2007年经济发展相对迅速。从近12a来看,万州区土地利用程度综合指数保持相对稳定,但与土地利用程度综合指数模型的理论极限值400相比,研究区土地利用综合程度还处于中等水平。

4 结论

本文以TM遥感解译数据为基础,运用GIS和遥感技术,分析了2000—2012年三峡库区典型地区万州区4个时段土地利用时空变化特征,主要结论如下:

1) 2000—2012年,研究区土地利用结构保持相对稳定,耕地、林地为主要土地利用类型。

2) 2000—2012年,万州区土地利用流向特征明显,总趋势表现为耕地和林地流向建用地和水域,未利用地转出比例最大,其他地类变化相对较小。

3) 从土地利用动态度来看,首先,土地利用综合动态度2000—2012年为0.12%,其次,单一土地利用动态度2000—2012年末利用地达到-1.77%;说明在研究年限内,研究区土地利用整体变化不大,未利用地快速减少。

4) 研究区土地利用综合程度处于中等水平。2000年、2004年、2007年、2012年土地利用综合指数分别为246.12, 246.24, 246.64, 246.65, 呈现正向变化,说明研究区土地利用的深度和广度不断增大。

参考文献:

- [1] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [2] 常春艳,赵庚星,王凌,等. 黄河口生态脆弱区土地利用时空变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2013, 28(24): 226-234.
- [3] Zhou Q G, Lv Z Q, Ma Z, et al. Barrier Belt Division Based on RS and GIS in the Three Gorges Reservoir Area: A Case of Wanzhou District[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011(10): 1257-1263.
- [4] 陈丹,周启刚,黄永安,等. 基于RS和GIS的三峡库区景观格局分析:以万州区为例[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版, 2012, 29(1): 69-75.
- [5] 周启刚,张叶. 基于RS和GIS的成都市郊区景观格局分析[J]. 土壤, 2007, 39(5): 813-818.
- [6] 王福海,周启刚,杨霖. 三峡库区2010年度土地利用现状分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 221-225.
- [7] 赵小沉,代力民,王庆礼. 基于RS和GIS的县域土地利用变化特征分析[J]. 土壤, 2007, 39(3): 415-420.
- [8] 凌侠,王丹秋. 基于RS和GIS的固阳县土地利用动态变化研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2013, 34(5): 47-52.

(上接第83页)

- [14] 田小明,李俊华,王成,等. 连续3年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 481-488.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社, 1986: 274-232.
- [16] 杜社妮,梁银丽,徐福利,等. 施肥对日光温室土壤微生物与酶活性变化的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 68-71.
- [17] 李娟. 长期不同施肥制度土壤微生物学特性及其季节变化[D]. 北京:中国农业科学院, 2008.
- [18] 袁玲,杨邦俊,郑兰君,等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 300-306.
- [19] 王延军,宗良纲,李锐,等. 不同肥料对有机栽培番茄生

长和土壤酶及微生物量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(3): 83-87.

- [20] 李世清,李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 136-142.
- [21] 荆瑞勇,王丽艳. 氯噻磺隆对土壤微生物数量、酶活性及呼吸强度的影响[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 60-64.
- [22] 张信娣,曹慧,徐冬青,等. 光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. 土壤, 2008, 40(3): 443-447.
- [23] Marcote I, Hernández T, Garcia C, et al. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilisers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation[J]. Bioresource Technology, 2001, 79(2): 147-154.