

孙旭,郝玉敏,蔡金榜,等.拟茎点霉 B3 对稻秆-猪粪-蘑菇渣堆肥腐熟进程与品质的影响[J].江苏农业科学,2018,46(6):271-275.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.070

拟茎点霉 B3 对稻秆-猪粪-蘑菇渣堆肥腐熟进程与品质的影响

孙旭^{1,2},郝玉敏³,蔡金榜²,戴传超³

(1. 南京大学生命科学院,江苏南京 210023; 2. 环境保护部南京环境科学研究所,江苏南京 210042;

3. 南京师范大学生命科学学院,江苏南京 210046)

摘要:通过向稻秆猪粪高温堆肥中添加拟茎点霉 B3,研究其对堆肥腐熟过程及产品品质的影响。结果表明,与对照相比,经 32 d 的腐熟,接种拟茎点霉 B3 的处理堆料有机质降解率增加 23.1 百分点,纤维素和木质素含量分别下降 31.4%、14.1%, E_4/E_6 值下降 13.3%,养分含量(全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷)和微生物数量均明显增加,水藓种子发芽率指数达到 83.0%。稻秆猪粪的腐熟主要发生在堆肥升温阶段和高温阶段,而在降温阶段有机物降解缓慢,说明向稻秆猪粪堆肥中接入一定量的拟茎点霉 B3 菌剂可以加快堆肥腐熟进程,提高堆肥产品品质。

关键词:拟茎点霉 B3;堆肥;水稻秸秆;猪粪;蘑菇渣;有机质;降解

中图分类号: X71;S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0271-04

我国农业废弃物种类繁多且数量巨大,其中农作物秸秆年产量约为 7×10^8 t,秸秆中含有大量的有机质及微量元素,是一种综合利用价值较高的可再生资源^[1]。但目前我国秸秆利用方式相对粗放,除直接还田以及作为燃料、饲料外,每年约有 2×10^8 t 秸秆未经处理在田间堆放或焚烧,造成巨大的资源浪费和环境污染^[2]。

堆肥是农业秸秆减量化和资源化最为经济有效的方式之一,但由于秸秆中含有大量的木质素、纤维素和半纤维素等难降解成分,导致自然堆肥腐熟时间长、产品质量差,不利于高效利用秸秆^[3-4]。研究表明,接种外源功能微生物可以有效地促进木质素等物质的降解,加快堆肥腐熟进程,提高发酵物肥力^[5-7]。

内生真菌生长在植物内部,它对植物的侵染过程也是水解木质素和纤维素的过程,研究表明部分内生真菌可降解纤维素并产生油脂,对植物凋落物具有较强的降解能力^[8]。史央等从重阳木中分离出 1 株植物内生真菌拟茎点霉 B3,可离开宿主存活于土壤中,该 B3 菌能分泌漆酶,促进土壤纤维素酶活性,加快茅苍术凋落物和花生秸秆的降解^[9-11]。本研究以拟茎点霉 B3 为外源接种菌剂,研究其对稻秆猪粪堆肥进程及产品质量的影响,以期对农业废弃物资源化利用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用水稻秸秆为江苏省农业科学院提供的长度为

收稿日期:2016-10-10

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2014BAL02B04-02)。

作者简介:孙旭(1986—),男,湖北襄阳人,博士,助理研究员,从事农业废弃物资源化技术研究。E-mail:sunxu98418@163.com。

通信作者:蔡金榜,博士,副研究员,从事农村环境污染防治研究。

Tel:(025)85287130;E-mail:jinbangcai@126.com。

1~2 cm 的干碎料;猪粪采自镇江三明生物工程有限公司的新鲜猪粪;蘑菇渣为金坛阿波罗生物制品有限公司提供的金针菇发酵物,3 种物料的基本特性如表 1 所示。植物内生拟茎点霉属菌株 B3 (*Phomopsis liquidambari*) 分离自重阳木;水藓种子购于江苏宿迁鑫岩花卉园。

表 1 3 种试验物料的基本性质

物料	有机碳含量 (%)	全氮含量 (%)	碳氮比	含水率 (%)	pH 值
水稻秸秆	35.0	0.9	39.0	30.5	8.2
蘑菇渣	39.1	1.8	21.3	51.5	6.7
猪粪	35.1	2.0	17.2	77.0	8.2

1.2 稻秆猪粪腐熟试验

拟茎点霉 B3 菌剂制备:拟茎点霉 B3 以马铃薯葡萄糖液体培养基培养,500 mL 三角瓶中固体发酵培养基麸皮:糠:稻壳=6:3:1(质量比),按料液比 1 g:1.2 mL 加入灭菌水。拟茎点霉 B3 菌液以 10.0% 接种量接入固体培养基中,搅拌均匀后在 28.0℃ 条件下静置培养 1 周,有效活菌数达到 10^4 CFU/g。

堆肥试验于 2012 年 12 月 13 日至 2013 年 1 月 14 日进行。采用 6 个口径为 27.0 cm、高为 20.0 cm 的花盆进行试验,每个花盆内含 500 g 水稻秸秆,300 g 蘑菇渣,300 g 猪粪,混匀后碳氮比约为 28.0。随机选取 3 个花盆作为 B3 处理组,分别加入 150 g 的 B3 固体发酵物,另设 3 个不加任何处理的空白对照组(CK)。加入一定量蒸馏水,调节含水率在 70.0% 左右,进行好氧高温发酵,堆肥时间设为 32 d。从堆肥当天开始每 8 d 从堆体取 100 g 左右样品,一部分样品用自封袋密封,保存于 4.0℃ 冰箱中,用于 E_4/E_6 值、种子发芽指数和微生物数量的测定;另一部分样品于 105.0℃ 条件下烘干粉碎过 0.8 mm 筛,用于测定有机质、营养成分、木质素、纤维素的含量。

1.3 测定方法

E_4/E_6 值测定方法^[12]:称取 2.5 g 堆肥样品于 50 mL 离心管中,加入 25 mL 蒸馏水,离心后取上清液,用分光光度计分别在 465、665 nm 处测定吸光度,计算其比值。

种子发芽指数测定^[13]:称取 5 g 鲜样放于三角瓶中,加入 50 mL 蒸馏水,充分振荡,30 ℃ 条件下浸提 24 h,过滤取 6 mL 滤液加到铺滤纸的培养皿中,将 10 粒水堇种子置于其中,室温条件下放置 48 h,每个处理重复 3 次,同时以蒸馏水为对照,测定发芽指数。

有机质含量采用重铬酸钾氧化法^[14]测定;全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量参照土壤测试方法^[15]测定;木质素含量采用浓硫酸法^[16]测定;纤维素含量采用改进的浓酸水解定糖法^[16]测定;微生物数量采用平板稀释法^[14]测定。

1.4 数据分析

试验结果以算术平均数 ± 标准误表示,采用 SPSS 13.0 软件进行数据方差分析(One-way ANOVA)检验处理间的差异显著性。Duncan's 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 稻秆猪粪发酵物有机质含量变化

由图 1 可知,不同处理堆肥过程中有机质含量整体呈下降趋势。接种拟茎点霉 B3 能够促进有机质的分解,在堆肥升温期和高温期(0~16 d)微生物代谢活动较旺盛,有机质被大量分解。在 16 d 时,CK 和 B3 处理堆肥中有机质含量分别为 483.6、362.2 g/kg,比开始时减少 18.0% ($P < 0.05$) 和 44.3% ($P < 0.01$);在后腐熟阶段,大部分易降解有机质被分解,微生物活性减弱,有机质降解速率变慢并趋于稳定,在 32 d 时 CK 和 B3 处理分别比开始时有机质含量减少 21.2% ($P < 0.01$) 和 44.3% ($P < 0.01$)。表明接种外源功能微生物可以促进稻秆猪粪堆肥有机物质的降解,加快堆肥反应进程。

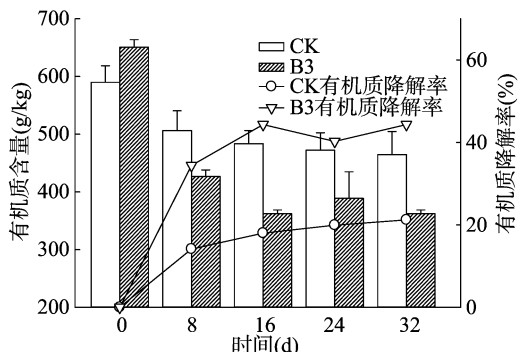


图1 稻秆猪粪腐熟过程中有机质含量的变化

2.2 稻秆猪粪发酵物 E_4/E_6 值的变化

在降解过程中稻秆猪粪产生了大量的腐殖酸,其含量是堆肥腐殖化的一个重要指标,可用来判断堆肥腐熟程度。堆肥腐殖酸在 465、665 nm 处具有特征吸收峰,其在 465、665 nm 处吸光度比值(E_4/E_6)通常被用来反映腐殖质的缩合和芳构化程度,通常 E_4/E_6 比值越低,腐殖化和聚合程度越高,分子量越大。由图 2 可知,接种 B3 处理堆肥 E_4/E_6 值呈先上升后下降的趋势,在 8 d 时达到最大值 3.0,之后迅速下降,在 24 d 时 B3 处理堆肥中 E_4/E_6 值为 1.6,比开始时下降 43.9%,此时降解物的芳构化程度较高,形成大量的腐殖质。接种 B3

处理堆肥 E_4/E_6 值较 CK 低($P < 0.01$),结果表明,添加菌剂能促进腐殖质的缩合和芳构化,加快稻秆腐殖化,形成更加稳定的腐殖质。

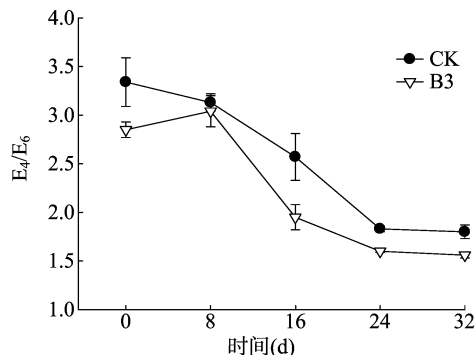


图2 稻秆猪粪腐熟过程中 E_4/E_6 的变化

2.3 稻秆腐熟过程中纤维素、木质素含量的变化

水稻秸秆主要由纤维素、半纤维素、木质素组成,含量分别在 36.7%、24.8%、25.2% 左右,这类物质不易降解,导致自然堆肥腐熟时间较长、堆肥产品质量差,不利秸秆的高效利用。

2.3.1 纤维素含量变化 由图 3 可知,在腐熟过程中 B3 处理的纤维素含量一直在下降,而纤维素的降解率持续上升。在前 16 d 内纤维素降解较快,CK 和 B3 处理的纤维素含量分别下降 15.3%、39.2%。堆肥结束时对照和 B3 处理堆肥中纤维素含量分别为 24.3%、16.7%,分别比开始时下降 30.7%、50.5%,表明接种 B3 菌有利于纤维素的降解。

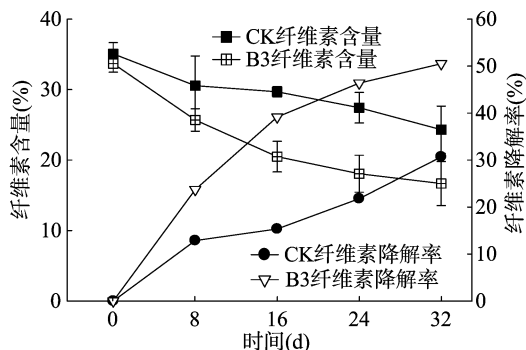


图3 稻秆猪粪腐熟过程纤维素含量变化

2.3.2 木质素含量变化 水稻秸秆腐熟过程中木质素的降解最为缓慢。由图 4 可知,对照组木质素的含量一直在下降,从开始的 25.7% 降至 32 d 的 17.2%,下降 33.1%;接种 B3 处理堆肥中木质素经 16 d 的降解,含量从开始的 24.1% 降至 15.1% ($P < 0.01$),下降 37.3%,后 16 d 降解较为缓慢。表明内生拟茎点霉 B3 在水稻秸秆木质素降解过程中起了很大的作用。

2.4 稻秆腐熟过程中微生物数量的变化

堆肥是以微生物为媒介的复杂生化过程,细菌、真菌、放线菌在有机质的降解中发挥着重要作用,其数量在堆肥的不同阶段是不同的。

2.4.1 细菌数量变化 细菌是堆肥腐熟过程中数量最多的微生物,可快速分解糖类、淀粉和蛋白质类易降解物质,部分细菌也参与纤维素的分解,进行自身生长代谢和产生热量。由图 5 可知,除 B3 处理 32 d 堆肥样品外,不同处理堆料中细

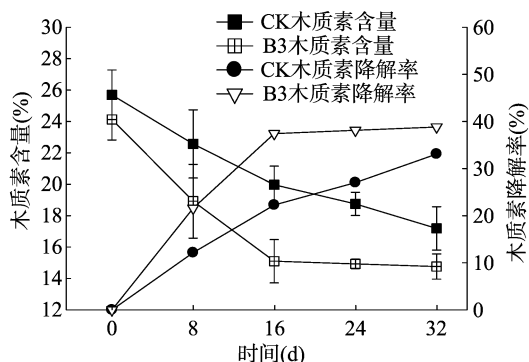


图4 秸秆猪粪腐熟过程木质素含量变化

菌数量呈先上升后下降的趋势。堆肥升温期,堆料中易降解物质较多,细菌迅速繁殖,在堆肥高温期,大多数细菌死亡,细菌数量降低,接种 B3 处理比对照处理的堆料中细菌数量多。堆肥开始时 B3 处理和对照的细菌数量分别为 3.2×10^9 、 1.8×10^9 CFU/g,分别在 8、16 d 时达到最大值,分别为 5.5×10^9 CFU/g 和 3.2×10^9 CFU/g,接种 B3 处理细菌数量比对照处理高 71.9%。表明接种外源功能菌 B3 有利于细菌的生长,能加速堆肥发酵的启动,促进有机质的降解。

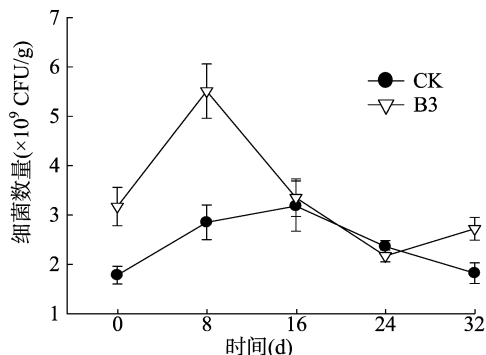


图5 腐熟过程细菌数量变化

2.4.2 放线菌数量变化 秸秆猪粪堆肥腐熟过程中放线菌的数量低于细菌和真菌,呈现先上升后下降的趋势。由图 6 可知,在堆肥前期放线菌数量逐渐升高,接种 B3 处理放线菌数量在 8 d 时达到最大值,为 3.8×10^8 CFU/g,比对照放线菌数量高 65.2% ($P < 0.05$);在高温期放线菌数量维持在一个较高的水平,而在降温期放线菌数量持续下降。研究表明,在高温期纤维素和木质素的分解主要由放线菌完成,其数量和种类也会有所增加^[17]。接种内生拟茎点霉 B3 明显增加堆肥腐熟过程中放线菌数量,产生更多的木质纤维素分解酶类,加速木质素的降解,从而促进水稻秸秆的腐熟。

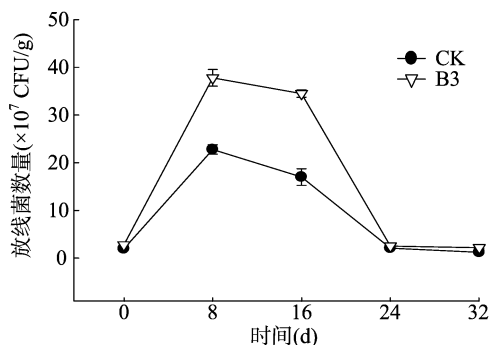


图6 腐熟过程放线菌数量变化

2.4.3 真菌数量变化 堆肥腐熟过程中真菌数量的变化趋势与细菌相似,但数量低于细菌。由图 7 可见,在堆肥前期真菌数量持续升高,接种 B3 处理真菌数量在 8 d 时达到最大值,为 2.6×10^9 CFU/g,比对照真菌数量高 83.8% ($P < 0.05$);在高温期大部分真菌处于休眠状态或死亡,导致其数量急剧下降;在堆肥结束时接种 B3 处理真菌数量达到 2.6×10^8 CFU/g,比对照真菌数量高 25.7% ($P < 0.05$),且低于堆肥起始的真菌数量。

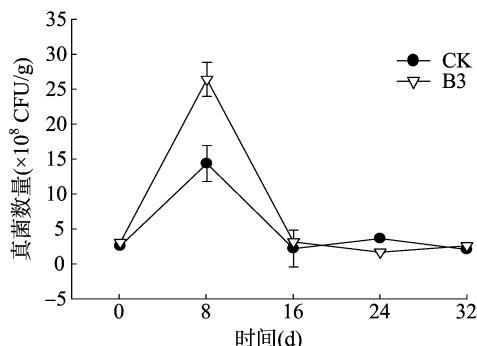


图7 腐熟过程真菌数量变化

2.5 稻秸猪粪发酵物对种子发芽指数的影响

种子发芽指数(germination index,简称GI)常被用来测定堆肥的生物毒性,它是表征堆肥腐熟水平的重要生物学指标之一。一般认为,当GI大于50.0%时,可认为堆肥发酵物对作物基本无毒害,堆料基本腐熟;当GI大于80.0%时,堆料已没有植物毒性且已腐熟。由图 8 可知,不同处理的堆肥发酵物GI呈先下降后上升的趋势。堆肥开始时有机质未分解,对植物抑制作用小,B3和CK的GI分别为87.0%、77.0% ($P < 0.05$),由于接种B3后加快了有机质的降解,产生了较多的有毒物质(氨和低级脂肪酸等),抑制了水藓种子的发芽,在8d时B3处理的GI为63.0%,低于CK的73.0%。随着堆肥的进行,有毒物质减少,16d时B3处理堆肥GI达到80.0%,显著高于CK处理的67.0% ($P < 0.05$),表明堆肥已达到腐熟状态,堆肥结束时B3处理和CK处理堆肥GI分别为83.0%和77.0%。结果表明,接种拟茎点霉B3有助于降低堆肥发酵物植物毒性,加快堆肥腐熟进程。

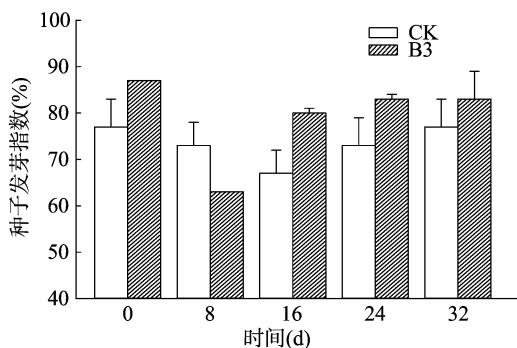


图8 发酵物对种子发芽指数的影响

2.6 稻秸猪粪发酵物养分含量的变化

堆肥过程是一个复杂的生物化学过程,伴随着有机物的降解及氮、磷、钾的释放和固定,氮、磷、钾的含量直接影响最终堆肥产品质量。堆肥产品的养分含量是评价堆肥产品质量的标准之一。水稻秸秆和猪粪经过32 d好氧高温堆肥后,不

同处理的堆肥产品品质有所差异,接种拟茎点霉 B3 能明显提高堆肥产品中养分含量。由表 2 可知,B3 处理堆肥中全氮和速效氮含量分别增加 23.7% ($P < 0.05$) 和 19.9% ($P <$

0.05);全磷和速效磷含量分别增加 33.3% ($P < 0.05$) 和 35.3% ($P < 0.05$);全钾和速效钾含量分别增加 14.3% ($P > 0.05$) 和 9.2% ($P > 0.05$)。

表 2 堆肥产品养分含量

处理	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	3.8 ± 0.1b	0.9 ± 0.1ab	0.7 ± 0.1a	327.7 ± 14.0b	1.7 ± 0.2b	257.4 ± 19.0ab
B3	4.7 ± 0.2a	1.2 ± 0.1a	0.8 ± 0.1a	393.0 ± 21.0a	2.3 ± 0.1a	281.0 ± 9.0a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

3 结论与讨论

堆肥是在微生物的作用下,将复杂的有机物分解为细胞可利用的小分子物质,并形成稳定腐殖质的过程。自然堆肥腐熟时间长、产品质量差,不利于农业废弃物的高效利用,微生物接种技术具有使堆体快速升温、无二次污染、提高堆肥质量的优点,因此被广泛应用在堆肥中^[3]。大量的研究表明,接种微生物菌剂能增加堆肥初期微生物数量,提高微生物代谢活性,加快有机物的降解,促进堆料的腐熟,例如在堆肥初期接种芽孢杆菌和链霉菌,可在堆肥过程中增加细菌数量,加速有机质分解^[18];接种 EM 菌剂(effective microorganisms)有利于堆肥矿化作用,缩短堆肥腐熟时间 5 ~ 8 d^[19]。

拟茎点霉 B3 是从重阳木中分离得到的 1 株植物内生真菌,可离开宿主在土壤中存活 30 d,能与大多数微生物形成互利共生关系^[10]。该 B3 菌能分泌降解木质素的关键酶——漆酶,粗酶液经 50 ℃ 处理 1 h 后,仍能保持 83.1% 的活性,且 pH 值在 6 ~ 8 时,酶活较为稳定,从而促进堆肥过程中木质素和纤维素的分解^[11,20]。当环境中可利用的营养物质匮乏时,拟茎点霉 B3 可被诱导产生纤维素酶和木质素酶,加快茅苍术凋落物和花生秸秆的降解^[10,21]。本研究在稻秆猪粪堆肥初期接入有效活菌数为 10⁴ CFU/g 的拟茎点霉 B3 菌剂,结果表明,与对照相比,接种拟茎点霉 B3 菌剂能增加堆肥升温期 and 高温期细菌、真菌、放线菌的代谢活性和细胞数量,其中有些放线菌能产生木质纤维素的分解酶类,例如放线菌(*Streptomyces* sp.)在以秸秆为唯一碳源时能产生大量的纤维素酶,在 70 ℃ 时仍具有较高的酶活性^[22];在牛粪堆肥中存在大量的高温放线菌 GPL 1 可产生完整的纤维素酶系,对甘蔗、滤纸、微晶纤维素等均具有较好的降解作用,从而促进有机质、木质素、纤维素的降解,形成更加稳定的腐殖质^[23]。种子发芽指数是评价堆肥腐熟效果和生物毒性的关键指标,接种拟茎点霉 B3 的处理在 16 d 时种子发芽指数达到 80.0%,远高于对照的 67.0%,表明堆肥完全腐熟且无生物毒性。因此,接种拟茎点霉 B3 能加快堆肥腐熟进程,缩短腐熟时间。

堆肥过程中有机物被不断分解,同时由于含水率的下降,堆体中无机营养成分会产生“浓缩效应”,使养分相对含量增加,有利于提高堆肥产品质量。接种拟茎点霉 B3 菌剂的处理经 32 d 腐熟后,堆体中全氮、速效氮、速效磷含量显著增加,与前人研究结果^[24]一致。有一些菌种虽然对秸秆的降解能力强,但同时也是植物致病菌,不能作为秸秆腐熟菌剂,研究表明,拟茎点霉 B3 不仅对水稻、大豆、花生等作物生长无毒害作用,还能促进水稻分蘖、大豆结瘤、缓解花生连作障碍等^[9,25 ~ 26]。

稻秆猪粪在自然堆肥过程中,有机质、纤维素、木质素降解缓慢,形成稳定腐殖质的时间长,堆肥产品养分含量和种子发芽指数较低,腐殖化进程较慢。向稻秆猪粪高温堆肥中添加内生拟茎点霉 B3 菌剂,能增加堆肥升温期和高温期微生物的数量,加速有机质、纤维素、木质素的降解,缩短腐殖质的形成时间,提高堆肥产品中全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量,提高种子发芽指数,减少对植物生长的抑制,提升堆肥产品品质。

参考文献:

[1] 靳贞来,靳宇恒. 国外秸秆利用经验借鉴与中国发展路径选择[J]. 世界农业,2015(5):129-132.

[2] 胡小然,邹积荣,李海滨. 关于秸秆利用的现状分析与对策[J]. 中国畜禽种业,2014(1):15-16.

[3] Mehta C M, Palni U, Franke - Whittle I H, et al. Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil - borne plant diseases[J]. Waste Management, 2014, 34(3): 607-622.

[4] Himanen M, Hanninen K. Effect of commercial mineral - based additives on composting and compost quality [J]. Waste Management, 2009, 29(8): 2265-2273.

[5] Zhang J C, Zeng G M, Chen Y N, et al. *Phanerochaete chrysosporium* inoculation shapes the indigenous fungal communities during agricultural waste composting[J]. Biodegradation, 2014, 25(5): 669-680.

[6] Martínez - Blanco J, Lazcano C, Christensen T H, et al. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment: a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(4): 721-732.

[7] López - González J A, López M J, Vargas - Garcia M C, et al. Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting[J]. Bioresource Technology, 2013, 146: 574-584.

[8] Osono T, Hirose D. Effects of prior decomposition of *Camellia japonica* leaf litter by an endophytic fungus on the subsequent decomposition by fungal colonizers[J]. Mycoscience, 2009, 50(1): 52-55.

[9] 史 央,戴传超,吴耀春,等. 植物内生真菌强化还田秸秆降解的研究[J]. 环境科学学报,2004,24(1):144-149.

[10] 陈 晏,戴传超,王兴祥,等. 施加内生真菌拟茎点霉(*Phomopsis* sp.)对茅苍术凋落物降解及土壤降解酶活性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(3):537-544.

[11] 周 骏,梅艳珍,杨 腾,等. 内生真菌拟茎点霉 B3 产漆酶分批发酵动力学[J]. 食品科学,2014,35(15):183-187.

[12] 张 霞,李 晟,顾洪如,等. 不同猪发酵床垫料内腐殖质变化特性研究[J]. 农业环境科学学报,2015,34(11):2215-2221.

程 凯,郜允兵,汪如民. 基于地类变更事件的耕地变化热点区域探测[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):275-278.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.071

基于地类变更事件的耕地变化热点区域探测

程 凯¹, 郜允兵², 汪如民³

[1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083; 2. 北京农业信息技术研究中心,北京 100097;

3. 武汉市国土资源和规划局,湖北武汉 430014]

摘要:为及时、准确探测耕地变化区域及热点演变趋势,提出了基于地类变更事件的区域变化热点探测方法,以武汉市汉南区 1996—2014 年 1:10 000 土地利用数据为研究对象,提取紧邻 2 年间地类变更碎片。基于变更碎片数据,利用空间自相关技术进行局部变化热点探测,提取热点变化区域空间中心,建立空间中心转移模型,分析热点变化演变态势。结果表明,1996—2001 年、2002—2008 年汉南区耕地变化较平缓,存在个别变化热点区域,总体变化程度较均匀;2009—2014 年耕地变化呈现集聚态,变化热点区域集中分布在汉南区东北部,全区耕地变化热点区域呈现“东多西少,北多南少”的空间格局,且热点变化区域周围变化程度明显高于其他地区;中心转移模型表明,汉南区整体耕地变化热点区域中心呈现由南向北移动的趋势。提出了基于地类变更事件的区域变化热点探测方法,实现了对于区域耕地热点变化区域的识别与挖掘,可为相关研究提供参考与借鉴。

关键词:土地利用;耕地变化;变化热点探测;空间自相关分析;趋势分析

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0275-04

耕地资源是我国农业发展的物质基础,是我国粮食安全的保障,保持一定数量和质量的耕地是人类赖以生存与发展的基本条件。耕地资源的变化是区域土地利用变化的核心,受自然、社会经济、技术和历史等因素的影响,耕地变化和流向反映了社会经济发展的基本态势。因此,正确认识和把握

耕地资源随时间和空间变化的过程及影响因素,将对制定保护耕地的政策法规及优化资源配置、提高资源利用效率和人地协调发展具有重要意义。目前,对于耕地的研究主要包括耕地数量与质量^[1-4]、生态价值、社会保障价值、经济价值的理论探讨与定量化研究^[5-6]以及耕地变化的驱动力及相关政策研究^[7]等。近年来,我国学者在耕地变化方面有较多研究。谭雪兰等以长沙市 1998—2009 年土地利用变更调查数据及相关的社会经济统计资料为基础,分析了长沙市近 12 年来耕地资源变化的时空特点,并运用主成分分析法对长沙市耕地变化的驱动因子进行了研究,得出经济发展、人口增长、

收稿日期:2016-10-11

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAJ05B01)。

作者简介:程 凯(1991—),男,辽宁凌源人,硕士研究生,主要研究方向为地理信息与土地资源管理。E-mail: kaicheng_student@126.com。

[13] 竹江良,刘晓琳,李少明,等. 两种微生物菌剂对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(1): 194-199.

[14] 张 园,耿春女,何承文,等. 堆肥过程中有机质和微生物群落的动态变化[J]. 生态环境学报,2011,20(11):1745-1752.

[15] 施 宠,张小娥,沙依甫加玛丽,等. 牛粪堆肥不同处理全 N、P、K 及有机质含量的动态变化[J]. 中国牛业科学,2010,36(4): 26-29.

[16] 王玉万,徐文玉. 木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素、纤维素和木素的定量分析程序[J]. 微生物学通报,1987,14(2): 81-84.

[17] Li Z T, Lu H W, Ren L X, et al. Experimental and modeling approaches for food waste composting: a review[J]. Chemosphere, 2013,93(7):1247-1257.

[18] Maeda K, Hanajima D, Morioka R, et al. Characterization and spatial distribution of bacterial communities within passively aerated cattle manure composting piles[J]. Bioresource Technology, 2010,101(24):9631-9637.

[19] Jusoh M L C, Manaf L A, Latiff P A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality

[J]. Iranian Journal of Environmental Health Sciences and Engineering, 2013,10(1):17.

[20] Dai C C, Chen Y, Tian L S, et al. Correlation between invasion by endophytic fungus *Phomopsis* sp and enzyme production[J]. African Journal of Agricultural Research, 2010,5(11):1324-1330.

[21] 谢星光,戴传超,苏春沧,等. 内生真菌对花生残茬腐解及土壤酚酸含量的影响[J]. 生态学报,2015,35(11):3836-3845.

[22] Lu L H, Zeng G M, Fan C Z, et al. Characterization of a laccase-like multicopper oxidase from newly isolated *Streptomyces* sp. C1 in agricultural waste compost and enzymatic decolorization of azo dyes[J]. Biochemical Engineering Journal, 2013,72:70-76.

[23] 庞宗文,董志刚,梁静娟,等. 高温放线菌 GPL1 纤维素酶的酶学性质研究[J]. 现代食品科技,2006,22(2):20-23.

[24] 杨梅玉. 蚯蚓堆制处理玉米秸秆机理研究[D]. 长春:吉林大学,2014:18-21.

[25] Dai C C, Yuan Z Z, Yang Q Y, et al. The effects of increasing production of endophytes *Phomopsis* B3 on rice[J]. Agricultural Science and Technology, 2008,9(1):39-42,48.

[26] 郝玉敏,戴传超,戴志东,等. 拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响[J]. 生态学报,2012,32(21):6695-6704.