

油菜秸秆与蓝藻混合堆肥及其产物对玉米生长的影响

时 君, 吕得林, 乔子涵, 刘伸伸, 巫厚长*

(安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036)

摘 要: 为了研究油菜秸秆与蓝藻无害化处理及资源化利用技术, 开展了油菜秸秆与蓝藻混合及堆肥盆栽玉米的实验。设置了 4 组不同比例的油菜秸秆与蓝藻混合高温好氧堆肥处理, 根据堆肥腐熟水平和肥效, 筛选出油菜秸秆: 蓝藻为 3:2 的处理, 将其堆肥盆栽玉米, 与施复合肥和不施肥处理比较分析玉米生长及品质指标。结果表明, 油菜秸秆和蓝藻按不同比例混合堆肥过程中 pH 均维持在 7~9, 符合好氧堆肥对 pH 的要求, 35 d 后堆肥 GI (germination index) 在 80% 以上, 达到完全腐熟标准。油菜秸秆与蓝藻按照 3:2 混合堆肥腐熟后, C/N 从 22.9 降低为 18.4, 肥效 ($N+P_2O_5+K_2O$) 为 6.73%, 优于其他各组。盆栽实验结果表明施堆肥和复合肥处理在玉米大喇叭口期株高与叶面积显著高于不施肥处理 ($P<0.05$), 在玉米收获后株高、穗粗、穗粒数和百粒重、粗脂肪和粗蛋白含量均显著高于不施肥处理 ($P<0.05$), 但堆肥处理与复合肥处理玉米生长、品质指标没有显著差异。油菜秸秆与蓝藻按照 3:2 比例混合好氧堆肥, 35 d 后完全腐熟, 在肥效与安全性方面可以替代普通复合肥。

关键词: 油菜秸秆; 蓝藻; 好氧堆肥; 玉米

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)05-0912-06

Fermentation of rapeseed straw mixed with blue algae and the effect of the product on corn growth

SHI Jun, LV Delin, QIAO Zihan, LIU Shenshen, WU Houzhang

(School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: In order to develop a technology to harmlessly treat and utilize the rapeseed straw and blue algae, a mixed fermentation of rape straw and blue algae was carried out and the fermented product was used in a potted corn experiment. Mixed aerobic fermentation of rapeseed straw and blue algae in four different ratios at a high temperature was set up. According to the fermented maturity level and fertilizer efficiency, a ratio of rapeseed straw to blue algae in 3:2 was selected. The fermented product was applied to the potted corn and compared with the compound fertilizer and no fertilizer control. The growth and quality of corns of the three treatments were analyzed. The results showed that the pH was maintained in the range of 7-9 during the fermentation period in the different ratios, which met the pH requirement of aerobic fermentation. The GI of the fermented product was 80% and above after fermentation for 35 days and reached the standard of complete maturity. The C/N ratio of the fermented product of rapeseed straw and blue algae in the ratio of 3:2 was decreased from 22.9 to 18.4, and the fertilizer efficiency ($N+P_2O_5+K_2O$) was 6.73%, which was better than the other three groups. The pot experiment results showed that the plant height and leaf area in the fertilization group were significantly higher than the no fertilizer group ($P<0.05$) at the big trumpet stage. The physiological indexes of maize in the fertilization group were better than those in no fertilizer control. Significant differences in plant height, ear diameter, grains per spike, 100-seed weight, crude fat and crude protein ($P<0.05$) after harvest were observed. There was no significant difference in growth and quality indicators between the fermented product and compound fertilizer. In conclusion, rapeseed straw and blue algae mixed with the ratio of 3:2 in aerobic composting process were fully decomposed after 35 days. The fermented products can

收稿日期: 2017-03-31

基金项目: 安徽省农业生态环保和质量安全产业技术体系专项基金 (皖农科[2016]18 号), 金寨县人民政府-安徽农业大学现代农业产学研联盟专项基金 (金政秘[2014]47 号), 国家科技支撑计划 (2012BAK17B00, 2012BAD15B03) 和研究生创新基金 (2015-36) 共同资助。

作者简介: 时 君, 硕士研究生。E-mail: 1154296881@qq.com

* 通信作者: 巫厚长, 博士, 教授。E-mail: houzhangw@ahau.edu.cn

replace ordinary compound fertilizer in terms of fertilizer efficiency and safety.

Key words: rapeseed straw; blue algae; aerobic fermentation; corn

中国是一个农业大国, 有着丰富的秸秆资源, 年产约 7×10^8 t^[1]。农作物秸秆是农田土壤有机质的重要来源, 禁烧前, 这些秸秆中仅有少量一部分被用作动物饲料和食用菌栽培等原料, 其余大部分就地焚烧, 极大地浪费了生物资源, 严重破坏了生态环境; 禁烧后, 大部分秸秆被用于还田, 但秸秆直接还田仍存在一系列的问题, 如腐解速度过慢, 消耗土壤中的氮, 影响后茬作物出苗和生长^[2]。好氧堆肥技术是在人工控制条件下, 在一定的温度、水分含量、C/N 比和适当的通风条件下, 利用堆体中真菌、细菌和放线菌等微生物的生长繁殖作用, 人为地促进可降解的有机物向稳定的腐殖质转化的过程^[3]。经过好氧堆肥过的秸秆更适合用于农业生产中。油菜属于十字花科植物, 是重要的油料作物, 广泛分布于中国的西北、华北及长江流域各省区, 产量约为 $4\,500 \times 10^4$ t, 占全国主要农作物秸秆产量 8% 左右^[4]。油菜秸秆生物质能资源相当丰富^[5], 油菜秆干中含有农作物生长需要的氮、磷、钾、镁、钙和硫等营养元素, 其堆肥可作为农业生产中重要的肥料资源, 对作物的生长发育有积极的作用^[6]。

巢湖是中国第 5 大淡水湖泊, 其水体从 20 世纪 80 年代初开始呈现富营养化状态, 是全国富营养化最严重的淡水湖泊之一。浅水湖泊暴发蓝藻时, 打捞是解决蓝藻危机最为快捷的方法^[7]。蓝藻的暴发期为每年夏天, 这段期间每天打捞的蓝藻会超过 1 000 t, 有时甚至达到 2 000 t^[8]。蓝藻中含有非常多的营养物质, 包括有机氮和磷, 打捞上来后如不及时处理则极易腐败发臭, 如何处理和资源化利用这些被打捞出来的蓝藻是一个亟待解决的重要问题。利用高温好氧堆肥的方法可将蓝藻开发成优质

有机肥料, 有效的解决蓝藻易腐败后发臭等问题, 同时将蓝藻转化为农业生产中所需的肥料, 实现变“废”为“宝”^[9]。但是, 目前关于好氧堆肥的研究主要关注点是在城市污泥、生活垃圾和禽畜粪便等原料的堆肥化利用, 有关秸秆、蓝藻单独或混合堆肥的研究较少。同时, 秸秆中有机质含量高, 含水率低, 而蓝藻又具有 N 含量高、水分较多的特点, 适合作为调理剂与秸秆混合进行堆肥。因此, 将蓝藻与秸秆混合进行好氧堆肥是同时利用这 2 种资源的最有效的办法。经过好氧堆肥后的产品, 可以作为土壤调节、培肥剂和植物生长的营养源, 对改善土壤结构、提高土壤肥力都有一定的作用。本实验研究油菜秸秆与巢湖蓝藻混合好氧堆肥过程相关参数, 检测堆肥结束后产物肥效, 同时进行盆栽实验, 分析油菜秸秆和蓝藻混合好氧堆肥对玉米生长及品质的影响, 为油菜秸秆和蓝藻资源化利用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

蓝藻取自安徽巢湖, 静置 2 d 取上层藻泥; 油菜秸秆取自安徽农业大学农萃园, 风干后粉碎为 2~5 cm 长度; 沼液取自安徽农业大学农萃园沼气池; 玉米种子为新粘二号 (沈阳益久祥种苗有限公司); 堆肥 (有机质 498.52%, N 28.72 g·kg⁻¹, P₂O₅ 19.27 g·kg⁻¹, K₂O 21.83 g·kg⁻¹, pH 值 7.54); 复合肥总养分为 N+P₂O₅+K₂O ≥ 48% (27-12-10 (中盐红四方肥业股份有限公司)。实验所用的物理化性质见表 1。

表 1 供试物理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of materials

物料 Material	含水率/% Water content	有机质/g·kg ⁻¹ OM	全氮 /g·kg ⁻¹ Total N	全磷 /% Total P	全钾 /% Total K
油菜秸秆 Rape straw	4.75	902	24.35	0.14	1.98
蓝藻 Blue algae	89.68	650	107	1.10	1.20

堆肥的制作: 按照风干油菜秸秆:新鲜蓝藻=3:2 (质量比) 同时加入 10% (质量比) 的沼液, 放入好氧堆肥罐中进行 35 d 的好氧发酵后取出作为堆肥使用。

1.2 好氧发酵实验

1.2.1 实验处理 根据堆肥最适 C/N、pH 和含水率等因素, 本实验将油菜秸秆与蓝藻混合好氧堆肥分为 3 个比例, 同时将油菜秸秆单独堆肥作为对照。

实验共分为4个处理,按照风干油菜秸秆与新鲜蓝藻质量进行配比分别为,处理1(A₁)秸秆:蓝藻=5:0;处理2(A₂)秸秆:蓝藻=4:1;处理3(A₃)秸秆:蓝藻=3:2;处理4(A₄)秸秆:蓝藻=1:1,同时添加10%(质量比)的沼液促进堆肥过程的进行。实验过程中利用蒸馏水调节堆体中含水率保持在60%左右。在测定每一组处理的各种原始物化指标后,分别装到4个500 mL烧杯中,重复3次,放置到生化培养箱中。堆肥过程从2016年5月26日至2016年6月30日,共进行了35 d。

1.2.2 实验条件 采用人为搅拌的方式实现通风及供氧条件。发酵前10 d每天早上定时人工搅拌1次,10 d过后每2 d搅拌1次。根据好氧堆肥温度变化规律^[10],人为地设定了生化培养箱的温度,其设定温度的情况如图1。

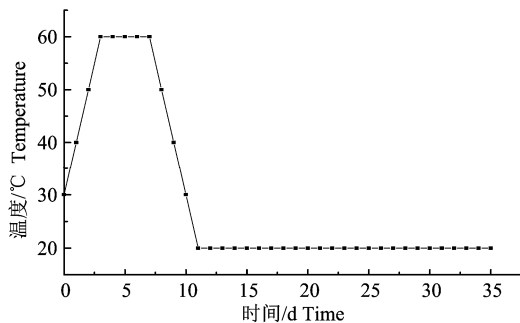


图1 生化培养箱的设定温度

Figure 1 Setting temperature in biochemical incubator

1.2.3 取样方法及样品保存 分别在物料刚混合好后和堆肥的第7、14、21、28和第35天取样。取样时每个处理3个烧杯各取等量物料,平分成2份,1份为鲜样,放置于4°C冰箱中,用于测定pH、种子发芽指数等。另1份放置于阴凉处晾干贮存,用来测定总碳、总氮、全磷、全钾。

1.2.4 测定项目及方法 pH:按固液比1:10(W/V)的比例用蒸馏水浸提样品,在150 r·min⁻¹下摇动15 min,静置30 min取上层清液测定pH^[11];种子发芽指数:按固液比1:10(W/V)的比例浸提样品,在150 r·min⁻¹下摇动1 h,在8 000 r·min⁻¹下离心5 min,然后抽滤。取抽滤液5 mL于培养皿中的滤纸上,并放置10颗黄瓜种子(春津四号),重复3次,同时以蒸馏水作空白实验,在25°C黑暗恒温培养箱下培养48 h,计算发芽率并测定根长,以公式 $GI=(堆肥处理的种子发芽率 \times 种子根长) / (对照的种子发芽率 \times 种子根长) \times 100\%$ 计算种子发芽指数^[12]。总碳:重铬酸钾容量法-外加热法;总氮:H₂SO₄-H₂O₂消煮凯氏定氮法;全磷和全钾:钒钼黄

比色法和火焰光度法^[11]。

1.3 玉米盆栽实验

1.3.1 实验设置 用盆为深35 cm,直径为27 cm的圆柱形塑料桶,桶底部各打4个小孔以保持下层土壤的通气。每桶装土15 kg,土壤取自田间耕作层,于2016年6月6日,每盆播入经过挑选大小基本一致的饱满籽粒4粒,幼苗期时视苗情长势每桶定苗2株。实验分为3个处理:(1)CK即不施任何肥料;(2)施普通复合肥17 g;(3)施堆肥149 g。复合肥、堆肥均作基肥1次性施用,于盆栽前与土壤混合均匀。各处理采用等氮量计算施肥量,每桶施氮量为:4.6 g(180 kg·hm⁻²),实验周期82 d。

1.3.2 取样方法 分别在玉米的幼苗期、拔节期、大喇叭口期、乳熟期和完熟期即2016年6月6日、6月27日、7月13日、7月25日、8月8日和8月27日时进行玉米株高以及叶面积的测量。在玉米完熟期后全部收获,装入尼龙网袋晒干,脱粒测定品质指标。

1.3.3 测定项目及方法 粗脂肪含量:索氏提取法;粗蛋白含量:H₂SO₄-K₂SO₄-CuSO₄-Se消煮法;粗淀粉含量:旋光法^[11]。

1.4 数据处理

运用Microsoft Excel 2003软件进行数据分析,Origin 8进行作图。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中pH和种子发芽率的变化

pH值不仅是影响微生物生长繁殖的重要因素之一,同时是反映堆肥进程的主要参数之一,pH值过高或者过低都会对高温好氧堆肥反应产生不良影响^[13]。由图2A可知,4个处理的pH值均维持在6.5~9之间,在好氧微生物适宜的范围内,符合堆肥对pH的要求^[14]。发酵起始阶段时,A₁组的pH从7.88降低到7.63,下降程度较小,这可能与缺少蓝藻作为调理剂有关。处理组中蓝藻比例越高,初始阶段pH下降程度越大,说明在好氧条件下,含有蓝藻的处理组中微生物分解旺盛,产生较多有机酸使pH下降,且在一定范围内,蓝藻含量越高微生物分解越旺盛,产生有机酸越多。

腐熟堆肥用于实际生产,种子发芽实验是评价堆肥是否达到完全腐熟的方法之一。当GI>50%可认为堆肥基本无毒性,而GI>80%就已完全腐熟^[15]。因此GI的高低可以在一定程度上衡量堆肥效果的好坏。4组处理中,A₁组发酵起始时的GI明显高于其他3组,可能是由于其他3组中含有蓝

藻, 而蓝藻中含有对种子发芽不利的成分, 如微囊藻毒素^[16]。由图 2B 可得, A₁ 组在堆肥开始时 GI 已经达到 64%, 高于其他 3 组, 之后一直保持逐渐增加的趋势。在堆肥 25 d 后, 3 组的 GI 均高于 A₁, 堆肥 30 d 左右时, 3 组 GI 均已超过 80%, 35 d 时堆肥结束, 3 组 GI 接近 90%, 均显著高于 A₁ 组,

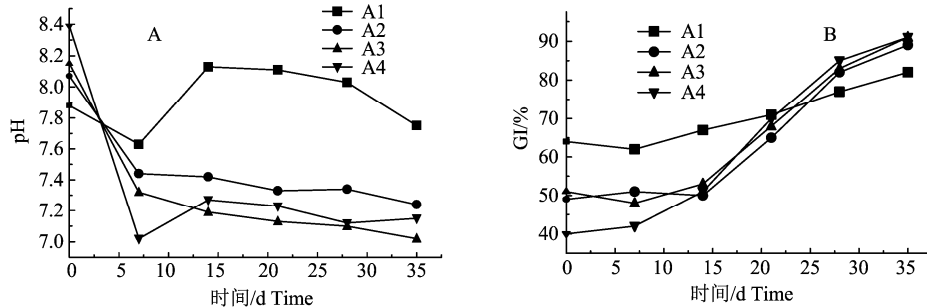


图 2 不同处理组堆肥过程中 pH 和种子发芽率的变化

Figure 2 The variations of pH and seed germination rate during fermentation in different treatment groups

2.2 堆肥过程中 C/N 的变化

好氧堆肥处理是微生物在适宜条件下, 利用其中可降解碳源作为能源的反应过程^[17], 因此, C/N 是被普遍认可的最基本的好氧堆肥腐熟指标。一般认为堆肥原料的 C/N 下降到 20 以下时堆肥成熟, 但是由于一些堆肥原料本身的 C/N 就小于 20, C/N 下降到 15 就可认为已达到腐熟^[18]。由图 3 可以看出, 在本研究中, 各组的 C/N 随时间的增加总体呈现逐渐下降趋势, A₃ 组的 C/N 从初始时的 22.9 下降到 18.4, A₄ 组的 C/N 从 17.3 下降到 14.1, 说明 A₃ 与 A₄ 处理中堆肥已达到完全腐熟, 发酵效果较好。

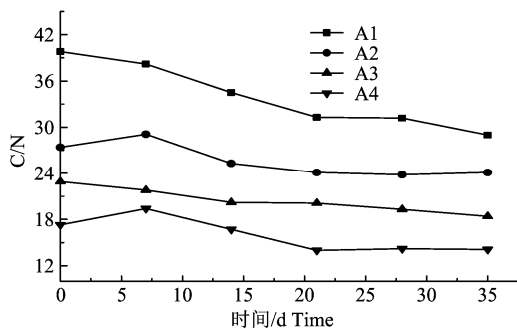


图 3 不同堆肥处理组堆肥过程中 C/N 的变化

Figure 3 The variations of C/N during fermentation in different treatment groups

2.3 堆肥肥效评价

由国家有机肥料标准中规定的技术指标, 有机肥中总养分含量 (N+P₂O₅+K₂O) (以干基计) ≥ 5.0%^[19], 即达到规定标准。随着发酵过程的进行, 4 组的总养分含量都呈逐渐上升的趋势, 发酵结束

且 3 组之间无显著差异, 表明在发酵刚开始时蓝藻可能会增加堆肥的毒性, 但随着堆肥过程的进行, 蓝藻的毒性明显降低, 物料中添加的蓝藻有助于小分子有机酸被合成大分子的腐殖质等化合物^[8], 促进堆肥的腐熟。CK 在发酵结束后 GI 也达到 82%, 说明各组在堆肥 35 d 后已经达到完全腐熟。

后 4 个处理的总养分含量分别为 4.81%、5.82%、6.73% 和 6.48% (图 4)。根据照此标准, A₂、A₃ 和 A₄ 处理组均已达到有机肥行业标准, 且秸秆:蓝藻=3:2 的处理组总养分含量优于其他 3 组。通过对 4 组不同比例堆好氧发酵肥处理的 pH、种子发芽率、C/N 和肥效方面进行综合比较得出, 4 组好氧堆肥处理中秸秆与蓝藻堆肥的最佳比例为风干油菜桔梗:新鲜蓝藻=3:2 (A₃), 且适合作为有机肥使用。

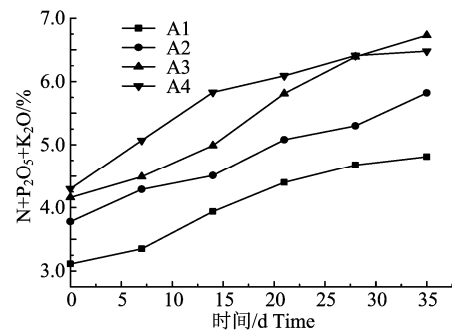


图 4 不同处理组堆肥过程中总养分含量的变化

Figure 4 The variations of total nutrient contents during fermentation in different treatment groups

2.4 不同施肥方式对玉米生长时期株高和叶面积的影响

在玉米的各个生长时期, 施加复合肥和堆肥处理 (统称施肥组) 的玉米株高、叶面积与 CK 相比稍微有提高 (图 5A 和 B), 在玉米完熟期时, 施肥组中玉米株高均显著高于 CK, 叶面积差异不显著, 但均高于 CK。在玉米生长初始阶段时施肥组与 CK 相比株高、叶面积差异不大, 但在 7 月 25 日左右即

大喇叭口期时, 出现显著差异, 说明此时 CK 处理玉米长势开始出现不如施肥组玉米的情况, 这可能是由于玉米大喇叭口期为营养生长和生殖生长的并进阶段, 根、茎和叶的生长非常旺盛, 体积迅速扩大、干重急剧增加。在这一时期, 雄穗已发育成熟,

各器官间开始对养分的需求增加, 大喇叭口期到籽粒建成熟是玉米吸收养分强度最大的时期^[20-21], 是决定玉米产量的关键时期, 不施肥情况下无法达到玉米在此时生长所需的养分条件。

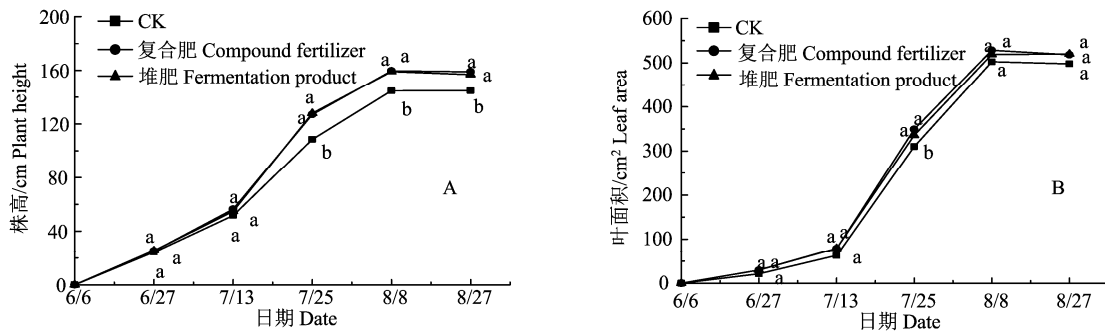


图 5 不同施肥方式下玉米株高与叶面积的变化

Figure 5 The variations of plant height and leaf area in different fertilization modes

表 2 不同施肥方式对玉米生长指标的影响

Table 2 The impact of maize growth indicators in different fertilization modes

处理 Treatment	株高 /cm Plant height	叶面积/cm ² Leaf area	穗长/cm Spike length	穗粗/cm Spike thickness	穗粒数/粒 Grains per spike	百粒重/g 100 - grain weight
CK	142.3±10.2 ^b	498.0±50.0 ^a	13.5±1.2 ^a	5.3±0.6 ^b	291.8±30.8 ^b	21.1±2.0 ^b
施复合肥 Compound fertilizer	156.8±10.2 ^a	518.5±49.2 ^a	13.9±15.2 ^a	6.2±0.4 ^a	346.2±24.3 ^a	21.8±3.1 ^a
施堆肥 Fermentation product	155.0±14.8 ^a	520.2±49.9 ^a	14.0±1.5 ^a	6.2±0.7 ^a	350.2±19.9 ^a	22.1±1.9 ^a

表 3 不同施肥方式对玉米籽粒品质的影响

Table 3 The impact of maize grain quality in different fertilization modes

处理 Treatment	粗脂肪含量/% Crude fat content	粗蛋白含量/% Crude protein content	粗淀粉含量/% Crude starch content
CK	4.28±0.23 ^b	5.65±0.62 ^b	71.35±8.73 ^a
施复合肥 Compound fertilizer	4.63±0.33 ^a	7.57±0.55 ^a	71.93±5.49 ^a
施发酵产物 Fermentation product	4.55±0.49 ^a	7.93±0.83 ^a	72.10±8.02 ^a

2.5 不同施肥方式对玉米生长指标的影响

收获后测定不同施肥方式下玉米生长的结果见表 2。施肥组与 CK 相比叶面积、穗长无显著差异, 但株高、穗粗、穗粒数、和百粒重差异均显著。施复合肥处理玉米的穗粗、穗粒数、百粒重分别比 CK 高出 16.98%、18.64% 和 3.32%, 差异显著; 施堆肥处理穗粗、穗粒数、百粒重分别比 CK 高出 16.98%、19.95% 和 4.74%, 差异亦显著; 施肥组中 2 种处理玉米各生长指标差异不显著。

2.6 不同施肥方式对玉米品质的影响

由表 3 可知, 玉米中的粗脂肪含量以施复合肥处理最高, 达到 4.63%, 其次是施堆肥处理, 其含量为 4.55%, 不施肥处理中玉米粗脂肪含量最低为

4.28%。施肥组中 2 种处理的玉米在粗脂肪含量上没有显著差异, 但均显著高于 CK, 这可能由于不施肥情况下玉米籽粒百粒重小, 较干瘪, 缺少油脂, 影响了粗脂肪含量。粗蛋白含量, 施肥组 2 处理间差异不显著; 与 CK 相比, 施堆肥处理增加 40.4%, 施复合肥处理增加 33.9%, 均表现为显著性差异。施肥组中粗蛋白含量较高是由于此指标根据样品中氮素含量乘以固定系数所得, 在缺少肥料的情况下, 玉米籽粒中氮含量不足。3 种处理玉米的粗淀粉含量不存在显著差异。由此可得, 施肥对玉米粗脂肪和粗蛋白含量影响较大, 对粗淀粉含量影响较小, 但 2 种施肥处理对玉米粗脂肪和粗蛋白含量的影响均无显著差异。

3 结论

本实验中油菜秸秆和蓝藻按不同比例混合堆肥过程中 pH 均维持在 7~9, 符合好氧发酵对 pH 的要求, 堆肥在 35 d 后 GI 在 80% 以上, 达到完全腐熟标准。

蓝藻作为调理剂与油菜秸秆共同进行好氧堆肥有助于物料的腐熟, 且堆肥的最佳比例为风干油菜秸秆:新鲜蓝藻=3:2。

通过玉米盆栽实验可以得出, 施普通复合肥和堆肥组的玉米无论在生长指标或是籽粒中粗脂肪和粗蛋白质指标上均优于不施肥, 且施堆肥与普通化肥对玉米的各个生长和品质指标上没有明显差异。本盆栽实验结果表明堆肥在一定程度上可以代替普通化肥。

由于蓝藻中含有大量的有毒物质, 如藻毒素, 不恰当的堆肥操作会导致成品中其残留量较大, 还田后会对作物生长和人类健康产生安全风险。在本研究的条件下, 通过堆肥, 蓝藻藻毒素在很大程度上能够被降解, 对作物的负面效应较小。但如果将蓝藻进行大量的工业化生产有机肥, 生产过程中应注意控制各种条件和手段, 并做好堆肥成品中有毒物质的检测, 已消除堆肥中的藻毒素, 真正实现蓝藻资源化利用的目的。

参考文献:

- [1] 谢佳贵, 侯云鹏, 尹彩侠, 等. 施钾和秸秆还田对春玉米产量, 养分吸收及土壤钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1110-1118.
- [2] 袁玲, 张宣, 杨静, 等. 不同栽培方式和秸秆还田对水稻产量和营养品质的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(2): 350-359.
- [3] YI L. Nitrogen retention in the high rate stage of composting[D]. Alberta:Dissertation of the University of Alberta, 2000, 1-11.
- [4] 崔宗均. 生物质能源与废弃物资源利用[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [5] 兰时乐, 曹杏芝, 戴小阳, 等. 鸡粪与油菜秸秆高温堆肥中营养元素变化的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 564-569.
- [6] 姜继辉, 严少华, 陈巍, 等. 太湖蓝藻发酵后沼渣和沼液的肥效研究[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(5): 1025-1028.
- [7] 胡萍, 严群, 宋任涛, 等. 蓝藻与污泥混合厌氧发酵产沼气的初步研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(3): 559-563.
- [8] 任云, 崔春红, 刘奋武, 等. 蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究[J]. 环境科学, 2012, 33(5):1760-1766.
- [9] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2766-2774.
- [10] 王利娟. 蓝藻快速好氧堆肥的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [12] TIQUIA S M, TAM N F Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. Bioresource Technol, 1998, 65(1/2): 43-49.
- [13] 张鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 566-569.
- [14] 黄国锋, 钟流举, 张振钿, 等. 有机固体废物堆肥的物质变化及腐熟度评价[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 813-818.
- [15] LHADI E K, TAZI H, AYLALJ M, et al. Cocomposting separated MSW and poultry manure in Morocco[J]. Compost Sci Util, 2004, 12(2): 137-144.
- [16] 江君, 靳红梅, 常志州, 等. C/N 对蓝藻好氧堆肥腐熟及无害化进程的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(10): 2031-2038.
- [17] 全少伟, 时连辉, 刘登民, 等. 不同有机堆肥对土壤性状及微生物生物量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1):110-117.
- [18] BERNAL M P, ALBURQUERQUE J A, MORAL R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review[J]. Bioresource Technol, 2009, 100(22): 5444-5453.
- [19] 中华人民共和国农业部种植业管理司. 中华人民共和国农业行业标准-有机肥料:NY525-2012[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [20] 谭金芳, 作物施肥原理与技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [21] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明, 等. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 438-441.