

蔗渣堆沤过程的变化特征与“有效 C/N 比值”的应用研究*

刘士哲 连兆煌

(华南农业大学植物营养研究室, 广州, 51064)

摘要 本研究测定了不同堆沤时限蔗渣(新鲜和堆沤 3, 6, 9 及 12 个月蔗渣)的理化性质, 详细探讨蔗渣堆沤后的变化特征; 并用分离的各蔗渣组分和多种纯无氮有机物来调节沙培系统的 C/N 比值, 进行微生物夺取速效氮强度的模拟试验, 查明了蔗渣中各组分和多种纯无氮有机物对微生物的有效性, 确定蔗糖、淀粉、半纤维素和纤维素是微生物有效(速效)的碳源, 而木质素是无效(迟效)的碳源。从而提出以“有效 C/N 比值”代替以往人们常用的“总 C/N 比值”来对有机肥料分解状况进行准确的判断。

关键词 蔗渣; 蔗渣组分; 总 C/N; 有效 C/N

中图分类号 S153

有机物料的分解既受外界条件的影响, 也与本身的性质有关。有机物料的分解速度和分解过程养分(主要是氮素)有效性的判断中, C/N 比值常作为重要的特征值而广泛使用。虽然现在有许多工作者应用有效碳(布雷迪, 1982)和有效无氮化合物(Reinertsen, 1984)等概念来说明有机物料的分解和养分有效性问题; 并且注意到了易分解含碳和含氮物质的含量和形态问题(Waksman, 1927; Jawson, 1986), 同时指出用减去木质素的 C/N 比值来指导施肥的必要性, 但没有得到人们的重视, 现仍使用总 C/N 比值来指导施肥, 这是不恰当的。

本研究用化学分析探明蔗渣在堆沤过程的变化特征, 并用分离的各类蔗渣组分和不同形态的无氮有机物做沙培模拟试验, 探索它们对微生物有效性的差异, 从而论证使用“有效 C/N”比值在指导有机肥料施用上的必要性和实际意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 蔗渣 新鲜蔗渣: 糖厂榨出后晒干; 堆沤蔗渣: 分别堆沤 3, 6, 9 和 12 个月。

1.1.2 分离的蔗渣组分 按文启孝等(1984)的方法制出水洗、2% HCl 水解和 80% H₂SO₄ 水解蔗渣(残余物)。

1.1.3 纯无氮有机物 蔗糖、淀粉用化学试剂, 纤维素用无灰定量滤纸粉碎, 木质素按文启孝(1984)方法制得。

1.1.4 沙培用基质: 花岗岩碎屑, 粒径 0.5 ~ 3.0 mm。

1.2 试验方法

1.2.1 不同纯无氮有机物引起微生物夺取基质中速效氮强度对比试验 为纯无氮有机物与不同 C/N 比值的 4×3 复因素组成, 纯无氮有机物因素设蔗糖、淀粉、纤维素和木质素 4 个水平, C/N 比值因素设 10:1, 25:1, 和 40:13 个水平, 同时设一不施有机物的处理(即 C/N 比值为 0)为对照。用花岗岩碎屑为基质。各处理均施入下列同样的肥料: 每升基质加 NH₄NO₃ 2.0 g, CaHPO₄·2H₂O 0.172 g, Ca₃(PO₄)₂ 0.1 g, KCl 0.16 g, MgSO₄ 0.06 g, EDTA-Fe

1993-08-27 收稿

* 本研究为广东省科委“七·五”期间重点科项目“蔬菜无土栽培技术研究”的一部分。

0.025 g, 混合微量元素 0.6 mg。分别按试验方案施入各种纯无氮有机物调其 C/N 比值。试验用 350 mL 塑料杯, 置于玻璃网室中进行, 重复 4 次, 用称重法控制水分含量为最大持水量的 70% ~ 80%, 以番茄为指示作物, 种子摧芽后每杯播入 4 粒, 生长至对照植株吸尽养分, 叶色退淡时收获。试验进行了两批次。

1.2.2 各类蔗渣组分引起微生物夺取基质中速效氮强度对比试验 试验方法与上述“1.2.1”同。只是调 C/N 比值的材料为新鲜蔗渣、水洗蔗渣、2% HCl 水解蔗渣和 80% H₂SO₄ 水解蔗渣 4 类组分。

1.3 测定项目和方法

蔗渣组分分离和测定用文启孝等(1984)的方法, 全 N、全 C、pH 值、容重、饱和持水量和孔隙度测定用李西开(1984)的方法。

2 结果与讨论

2.1 几种纯无氮有机物在基质中引起微生物夺取速效氮强度的对比试验结果

从表 1 和图 1 可以看出, 用木质素来调节沙培系统的各种 C/N 比值均不会引起植株吸氮量的减少而减产。加木质素甚至还可能有增加吸氮量和干物重的作用, 这与普良尼施尼柯夫(1956)的结果一致。这表明木质素在一定条件下, 短期内对微生物是无效或是极迟效的碳源。

表 1 几种纯无氮有机物在介质中引起微生物夺取速效氮强度的对比试验结果⁽¹⁾ (供试作物番茄)mg/ 杯

调 C/N 比值处理	0		10:1				25:1				40:1			
	植	植	植	减	植	夺	植	减	植	夺	植	减	植	夺
	株	株	株	产	株	氮	株	产	株	氮	株	产	株	氮
	干	吸	干	率 ⁽²⁾	吸	率 ⁽³⁾	干	率	吸	率	干	率	吸	率
	物	氮	物	/ %	氮	/ %	物	/ %	氮	/ %	物	/ %	氮	/ %
	重	量	重		量		重		量		重		量	
	/g·杯 ⁻¹		/g·杯 ⁻¹				/g·杯 ⁻¹				/g·杯 ⁻¹			
化肥氮沙培(对照)	1.014 ^a	13.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
对照+蔗糖调 C:N	—	—	0.404 ^c	60.16	5.67	58.64	0.254 ^d	74.95	4.38	68.05	0.133 ^e	86.88	2.50	81.77
对照+淀粉调 C:N	—	—	0.511 ^c	49.61	6.72	50.98	0.248 ^d	75.54	3.21	76.59	0.157 ^e	84.52	1.88	86.29
对照+纤维素调 C:N	—	—	0.671 ^b	33.83	8.30	39.46	0.294 ^d	71.01	3.46	74.76	0.119 ^f	88.26	1.27	90.74
对照+木质素调 C:N	—	—	1.092 ^a	-7.69	14.20	-3.57	1.117 ^a	-10.16	14.81	-8.02	1.186 ^a	-16.96	16.29	-18.82

(1)表中数据为 8 次重复平均。数据右上角字母为邓肯氏检验结果(P=0.05), 具有相同字母的数据间差异不显著。

(2)减产率(%)=[(对照植株干物重-处理植株干物重)/对照植株干物重×100]

(3)夺氮率(%)=[(对照植株吸氮量-处理植株吸氮量)/对照植株干物重×100]

(1)~ (3)表 2 同

但是, 无论在哪一种 C/N 比值情况下, 蔗糖、淀粉和纤维素的加入都引起植株吸氮量减少而使其减产; 同时, 加入蔗糖、淀粉或纤维素所引起的减产率和夺氮率都随所调 C/N 比值的增大而显著增大, 这是由于在低 C/N 比值时供给微生物的碳源物质较少而使固定的矿质态氮较少, 在高 C/N 比值下供给的碳源物质较多而使矿质态氮固定也较多的缘故, 这表明蔗

糖、淀粉和纤维素都是微生物极有效的碳源。这与 Rubins(1942) 以及 Allison 和 Klein(1962) 的结果一致。

2.2 各类蔗渣组分引起微生物夺取基质中速效氮强度的对比试验结果

从表 2 和图 2 可以看到,除了用80% H_2SO_4 水解蔗渣残渣(即含木质素)调节 C/N 比值外。用新鲜蔗渣、水洗蔗渣和 2% HCl 水解蔗渣残渣调节的各种 C/N 比值下都使植株减产,并随 C/N 比值的增大,减产的幅度越大。

从表 2 还可以看到,在调节C/N比值为10:1的条件下,加完整新鲜蔗渣引起夺氮率为40.39%,除去蔗糖以后(水洗),夺氮率降至34.67%,即蔗渣中的水溶性物质(主要是蔗糖)所占夺氮率为

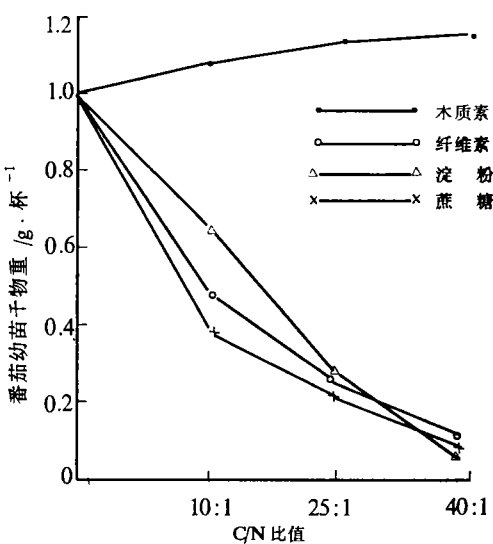


图 1 几种无氮化合物在不同 C/N 比值时对番茄幼苗干物重的影响

表 2 各类蔗渣组分在介质中引起微生物夺取速效氮强度的对比试验结果 (供试植物:番茄) mg/杯

调 C/N 比值处理	0		10:1				25:1				40:1			
	植	植	植	减	植	夺	植	减	植	夺	植	减	植	夺
	株	株	株	产	株	氮	株	产	株	氮	株	产	株	氮
	干	吸	干	率	吸	率	干	率	吸	率	干	率	吸	率
	物	氮	物	/%	氮	/%	物	/%	氮	/%	物	/%	氮	/%
	重	量	重	量	量		重	量	量		重	量	量	
	/g·杯 ⁻¹		/g·杯 ⁻¹				/g·杯 ⁻¹				/g·杯 ⁻¹			
化肥氮沙培(对照)	0.822 ^c	12.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I. 对照+新鲜蔗渣调 C/N(含蔗糖、半纤维素、纤维素和木质素)	—	—	0.537 ^d	34.67	7.41	40.39	0.196	76.16	2.59	79.16	0.060 ^h	92.70	0.60	95.17
蔗糖所占减产率和夺氮率 ⁽¹⁾	—	—	—	5.49	—	5.72	—	2.56	—	2.09	—	1.82	—	1.58
II. 对照+水洗蔗渣调 C/N(含半纤维素、纤维素和木质素)	—	—	0.582 ^d	29.20	8.12	34.67	0.217 ^f	73.60	2.85	77.07	0.075 ^h	90.88	0.79	93.64
半纤维素所占减产率和夺氮率	—	—	—	20.20	—	14.24	—	36.50	—	31.05	—	41.74	—	35.64
III. 对照+2% HCl 水解蔗渣调 C/N(含纤维素和木质素)	—	—	0.748 ^c	9.00	9.89	20.43	0.157 ^d	37.10	6.71	46.02	0.418 ^g	49.15	5.22	58.00
纤维素所占减产率和夺氮率	—	—	—	9.00	—	20.43	—	37.10	—	46.02	—	49.15	—	58.00
IV. 对照+80% H_2SO_4 水解蔗渣调 C:N(含木质素)	—	—	0.989 ^b	0	13.33	0	1.141 ^a	0	15.24	0	1.143 ^a	0	15.26	0
木质素所占减产率和夺氮率	—	—	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0

(1) 蔗糖所占减产率(夺氮率) = I 的减产率(夺氮率) - II 的减产率(夺氮率); 半纤维素所占减产率(夺氮率) = II 的减产率(夺氮率) - III 的减产率(夺氮率); 纤维素所占减产率(夺氮率) = III 的减产率(夺氮率) - IV 的减产率(夺氮率); 木质素所占的减产率(夺氮率) = IV 的减产率(夺氮率)

5.72%;再将半纤维素除去后(2% HCl水解),夺氮率再降至 20.43%,即蔗渣中半纤维素所占夺氮率为14.24%;再将纤维素除去后(80% H₂SO₄水解,此时只剩木质素),夺氮率降为 0(植株吸氮量没有减少反而增多,故算夺氮率为 0),即蔗渣中纤维素所占夺氮率为20.43%,木质素不会引起微生物的夺氮反应。这与表 1 纯无氮碳化物的试验结果是一致的。据此分析,在调 C/N 比值为 25:1 的情况下,加完整新鲜蔗渣夺氮率为 76.16%,其中蔗糖占 2.56%,半纤维素占36.50%,纤维素占 37.10%,在调 C/N 比值为 40:1 的情况下,加入完整新鲜蔗渣夺氮率为95.17%,其中蔗糖占 1.53%,半纤维素占 35.64%,纤维素占 58.00%。

由上面的分析可知,在蔗渣组分中,引起微生物活动固定矿质态氮而造成植株吸氮量减少的主要部分是半纤维素和纤维素,木质素不会引起夺氮反应,而可溶性有机物(主要是蔗糖)引起的夺氮反应是微不足道的。这是由于蔗渣中可溶性有机物的含量少所造成的(见表 3)。尽管它是微生物极有效的碳源,但起不了多大的夺氮作用。

2.3 蔗渣堆沤后的变化特征

表 3 不同堆沤期限蔗渣组分分析结果

不同堆沤 期限蔗渣	全 C	全 N	总 C/N	有 ⁽¹⁾ 效 C/N	灰 分	水 溶 性 物	半纤 维素 + 纤维 素	木 质 素	pH 值 (水提)	容 重 (g·L ⁻¹)	饱 和 持 水 量	田 间 持 水 量	大(通 孔气 隙孔 隙)	小(持 水孔 隙)	% 大小 孔隙 比
新 鲜 蔗 渣	45.26	0.2680	169	137.5	1.53	4.67	76.32	17.46	4.68	127.0	928	393	53.5	39.3	1.36
堆沤3个月蔗渣	44.01	0.3105	142	106.7	3.41	4.08	69.95	22.56	4.86	118.5	914	462	45.2	46.2	0.98
堆沤6个月蔗渣	42.96	0.3613	119	86.1	10.49	3.02	61.86	24.63	5.30	115.5	908	463	44.5	46.3	0.96
堆沤9个月蔗渣	34.30	0.6058	56	35.2	34.85	3.89	34.35	26.91	5.67	205.0	872	603	26.9	60.3	0.45
堆沤12个月蔗渣	31.33	0.6375	49	27.9	38.07	3.15	30.62	28.16	5.42	278.5	825	635	19.0	63.5	0.30

(1) 有效 C/N=[含 C 量(%) - 木质素含 C 量(%)]/含 N 量(%)

从表 3 可看出,蔗渣的组分和一些重要特征值的变化与堆沤时间有着密切的关系。通过统计分析(见表 4)确定,这些组分和特征值除水溶性物含量外,其变化与堆沤时间之间呈较显著以至极显著的线性相关。

首先应该看到,蔗渣全 C 量呈负相关,全 N 量呈正相关,因而导致 C/N 比值呈极显著的负相关。经 12 个月堆沤后,总 C/N 比值从 169 降至 49,下降了 3.44 倍,这表明可通过堆沤来达到使蔗渣作育苗基质的目的。特别值得注意的是蔗渣中三类含碳物质(水溶性物、半纤维素+纤维素和木质素)中,对微生物很有效,但含量很少的水溶性物部分在堆沤过程中

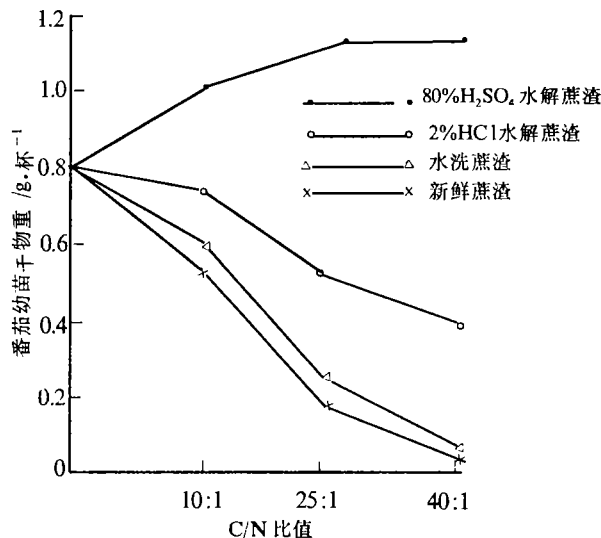


图 2 蔗渣各类组分在不同 C/N 比值时对番茄幼苗生长的影响

表 4 蔗渣组分含量或特征值(y)随堆沤时间(x,月)变化的回归方程 %

组分含量或特征值	回归方程	相关系数 r	组分含量或特征值	回归方程	相关系数 r
全C	$y=47.09-1.25x$	-0.941 5*	pH 值(水提)	$y=4.72+0.076x$	+0.888 5*
全N	$y=0.23+0.034x$	+0.948 2*	容重/g·L ⁻¹	$y=91.0+12.98x$	+0.861 0 ⁽¹⁾
总C/N	$y=172.7-10.9x$	-0.975 1**	饱和持水量/g·L ⁻¹	$y=939.0-8.27x$	-0.944 7*
有效C/N	$y=136.8-9.7x$	-0.981 7**	田间持水量/g·L ⁻¹	$y=386.2+20.83x$	+0.959 1**
灰分	$y=-3.23+3.48x$	+0.943 7*	大孔隙	$y=55.28-2.91x$	-0.965 0**
水溶性物	$y=4.408-0.108x$	-0.747 5	小孔隙	$y=38.62+2.08x$	+0.959 1**
半纤维素+纤维素	$y=80.02-4.23x$	-0.961 4**	大小孔隙比	$y=1.34-0.088x$	-0.971 8**
木质素	$y=18.79+0.86x$	+0.966 4**			

(1) $r_{0.1}=0.805$ * : $r_{0.05}=0.878$ ** : $r_{0.01}=0.959$

没有显著变化;对微生物有效性很差的木质素呈正相关,有积累趋势;而对微生物极有效、含量较多的半纤维素和纤维素呈负相关,而且其回归系数(斜率)较大(-4.32),表明它们随堆沤时间的延长而减少的幅度较大,导致了“有效 C/N 比值”(总 C 量中扣除木质素含 C 量计算出的 C/N 比值)下降的幅度比总 C/N 比值的大。“有效 C/N 比值”从 137.5 降至 27.9,下降了 4.93 倍。

另一个值得注意的是,蔗渣堆沤过程的酸碱度(pH 值)从新鲜蔗渣的 4.68 升高到堆沤 12 个月的 5.67,升高了近 1 个 pH 单位。这可能与堆沤过程灰分含量相对增加有关,它表明在蔗渣的堆沤过程并没有有机酸的不断累积。这与以往普遍认为有机物料堆沤过程有有机酸累积的观点(伊利亚列特季诺夫,1985)是不同的。

在物理性方面,容重、田间持水量和小孔隙(毛管孔隙)都随堆沤时间的延长而增加,虽然对于作物的支撑和保水有利,但同时出现大小孔隙比逐渐变小、通气不良的可能。从用各种堆沤时间处理的蔗渣的育苗效果来看(刘士哲等,1994),最佳的处理并不在于堆沤时间最长的阶段,表明随着堆沤时间的延长而引起各种性状的变化并非都对幼苗生长有利。

2.4 关于使用“有效 C/N 比值”的讨论

从用各种堆沤处理蔗渣的育苗效果(刘士哲等,1994)可知,在堆沤时间少于 12 个月的蔗渣均需进行追施氮肥才能达到与泥炭等效的育苗效果,这是由于这些处理的 C/N 比值很高,微生物易有效的碳源含量很高而引起很强的氮素固定作用。但堆沤 12 个月的蔗渣在施用等氮条件下,其效果与泥炭相当,说明此时的蔗渣基质中微生物夺取速效氮的强度不超过泥炭基质中的强度。但从表 3 可以看到,堆沤 12 个月的总 C/N 比值仍高达 49,按以往用总 C/N 比值的概念来考虑,这样的蔗渣仍会引起微生物强烈地夺取速效氮,要解决此问题,必需施氮调节 C/N 比值至 25 左右,即相当于多施 1 倍的氮肥,但试验结果表明,此时已显著地造成减产。显然用总 C/N 比值来指导施肥是过量了。但如果用“有效 C/N 比值”作指导,那么经 12 个月堆沤的蔗渣其“有效 C/N 比值”为 27.9,接近 25 的临界水平,表明这时微生物夺取矿质态氮的强度已很小,不需进一步施氮来调节 C/N 比值。实际的试验结果证明了这一点。可见用“有效 C/N 比值”来指导施肥比用“总 C/N 比值”来得恰当。

用蔗渣各类组分和纯无氮有机物的沙培试验可知,水溶性有机物、半纤维素和纤维素是微生物的有效(速效)碳源,而木质素则是无效(迟效)碳源,因此,不能将微生物不能利用的碳源如木质素等作为微生物能够利用的碳源来看待。用植物残体的总碳量作为计算 C/N 比值的基础所得到的 C/N 比值并不反映微生物对有机物分解过程的实际情况,因此用它来

指导施肥是不恰当的,应扣除微生物不能或不易利用的碳源物质,以易有效碳为基础计算出来的 C/N 比值(即“有效 C/N 比值”)作为指导施肥的标准才是恰当的。采用“有效 C/N 比值”来指导施肥时,其临界值仍为 25:1。

参考文献

- 文启孝.1984.土壤有机质研究法.北京:农业出版社,250~272
- 布雷迪 N C.1982.土壤的本质和性状.北京:科学出版社,86~95
- 刘士哲,连兆煌.1994.蔗渣作蔬菜工厂化育苗基质的生物处理与施肥措施研究.华南农业大学学报,15(3):1~7
- 伊利亚列特季诺夫 A M.1985.含氮化合物在土壤中的转化.北京:农业出版社,12~24
- 李酉开.1984.土壤农业化学常规分析方法.北京:农业出版社,20~23,272~275
- 普良尼施尼柯夫.1956.农业化学:下册.北京:高等教育出版社,751~758
- Allison F E, Klein C J.1962.Rates of immobilization and release of carbonaceous materials and nitrogen to soil.*Soil Sci*,93:383~386
- Jawson M D, Elliott L F.1986.Carbon and nitrogen transformations during wheat straw and root decomposition.*Soil Biol Biochem*,18:15~22.
- Reinertsen S A, Elliott L F, Cochran V L, et al.1984.The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition.*Soil Biol Biochem*,16:459~464
- Rubins E J, Bear F E.1942.Carbon-nitrogen ratios in organic fertilizer materials in relation to the availability of their nitrogen.*Soil Sci*, 54:411~423
- Waksman A A, Tenney F G.1927.The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil: II Influence of age of plants upon the rapidity and nature of its decomposition-rye plants.*Soil Sci*, 24:317~334

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF COMPOSTED BAGASSE AND THE APPLICATION OF“EFFECTIVE C/N RATIO”

Liu Shizhe Lian Zhaohuang

(Lab. of Plant Nutrition, South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract

This study was conducted to determine the physical and chemical characteristics of bagasse composted for 0, 3, 6, 9 and 12 months, respectively and, by carrying out simulated experiments using several pure N-free carbonaceous compounds and all the separate components of bagasse in sand culture system, to determine the availability of carbonaceous compounds and N immobilization by microorganisms. The results showed that sucrose, starch, hemicellulose and cellulose were rapidly available C sources and lignin was a slowly available C source for microorganisms. The study also proposed that it was more precise and rational to use the“effective C/N ratio”(the total carbon content subtracted by the carbon content of lignin divided by total N content of bagasse) than to use the“total C/N ratio”to predict the decomposition of organic materials and the intensity of nitrogen immobilization by microorganisms.

Key words bagasse; components of bagasse; total C/N; effective C/N