

# 粉煤灰有机肥配施对苹果生长和果实品质的影响

张 林, 韩 振 海, 李 天 忠, 许 雪 峰

(中国农业大学 果树逆境与分子生物学实验室 北京 100094)

**摘 要:** 为了加快粉煤灰的开发利用, 减少粉煤灰对大气的污染, 为果树生产提供优质肥料, 该试验以 15 a 生‘富士’苹果为试材, 研究了粉煤灰与鸡粪不同配比、不同堆制方法对树体生长、果实品质的影响。结果表明, 粉煤灰与鸡粪混合堆制腐熟的效果要好于鸡粪单独腐熟再与粉煤灰混合的效果; 田间试验表明土壤中增施 250~1 000 kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰均能提高苹果叶片中叶绿素的含量, 增加单叶重, 增加果皮中花青苷含量, 降低果实中可滴定酸的含量, 对提高果实品质有明显的作用。考虑到重金属在土壤中的富集及长期使用, 推荐施 500 kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰。

**关键词:** 粉煤灰; 富士苹果; 有机肥

**中图分类号:** S 661.106<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)04-0020-04

粉煤灰是我国当前排放量较大的工业废渣之一, 年排放量近 120 亿 t<sup>[1]</sup>。随着电力工业的发展, 燃煤电厂的粉煤灰排放量仍在逐年增加。大量粉煤灰堆积占用大量土地资源, 严重污染环境, 解决粉煤灰的污染和占地问题已引起人们广泛关注。与工业综合利用相比, 粉煤灰在农业上的利用具有投资少、容量大、需求平稳、对粉煤灰无需提纯等优点, 是适合我国国情的综合利用的

途径之一<sup>[2]</sup>。

粉煤灰主要由硅、铝及其他元素的氧化物组成, 含有作物生长所需要的大量及微量元素。其颗粒组成以微细的玻璃体状颗粒为主, 细砂—粉砂占 65% 以上, 可有效改良土壤的物理性状。因此, 粉煤灰的物理化学性质是其在农业上的资源化利用的基础。许多研究表明农田中施用粉煤灰能改善土壤性状从而能对作物生长产生积极的影响, 如施灰后小麦出苗早, 分蘖早, 小穗数增加, 可孕率提高<sup>[3]</sup>。用粉煤灰改良盐碱土, 施用粉煤灰 20 t/hm<sup>2</sup> 对水稻、小麦均有极显著增产效果<sup>[4]</sup>; 生长在粉煤灰改良的土壤上, 花生、大豆的产量和品质均有明显提高<sup>[5]</sup>。粉煤灰中虽然含丰富的微量元素, 但氮素

**第一作者简介:** 张林(1981-), 女, 在读硕士, 主要从事果树生理方面的研究工作。

**通讯作者:** 许雪峰。E-mail: xuefengxu@cau.edu.cn.

**收稿日期:** 2007-12-30

[8] Canter F J, Carter S J. Influence of K and Ca on Quality and Yield of Watemelon[J]. HORT.SCIENCE, 1983, 108: 734-736.

[9] 张明方. 甜瓜不同变种果实发育过程中的糖分转化与酶活性变化[J]. 浙江农业学报, 1998, 10(6): 310-312.

[10] 谭学文, 刘增鑫. 水培甜瓜对营养液及主要矿质元素的吸收特性[J]. 华北农学报, 1996, 11(3): 101-105.

[11] 张建农. 甜瓜叶片生长动态与叶面积变化观测[J]. 甘肃农业大学学报, 2001(2): 176-178.

## The Yield and Quality of Melon as Influenced by Different Levels of Potassium, Calcium, and Magnesium

TANG Xiao-fu, LONG Ming-hua, YU Wen-jin, YANG Shang-dong, QIN Rong-yao  
(Faculty of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005, China)

**Abstract:** The nutrient solution culture experiment was carried out to study the effect of different potassium, calcium, and magnesium levels on yield and quality of melon. The results showed that the treatment of potassium(490 mg/L), calcium(206 mg/L), magnesium(65 mg/L) promoted the growth and development of melon significantly. And also raised its yield and quality. But each treatment of lower potassium(30 mg/L) or lower calcium(10 mg/L) or lower magnesium(5 mg/L) delayed the growth and development of melon obviously. At the same time decreased its yield and quality.

**Key words:** Melon; Potassium; Calcium; Magnesium; Yield; Quality

营养、有机质和微生物的含量相当低, P、K 等常量元素缺乏, 从而导致粉煤灰介质中植物营养元素的不足或缺乏<sup>[3-4]</sup>。而有机肥中 N、P、K 含量丰富, 有机肥与粉煤灰混合不仅可以改善粉煤灰的营养水平, 并且期待利用有机质的某些特性或禽畜废弃物中较高的含水量改善粉煤灰的一些不利因素。

以往的研究应用主要集中在单一施用粉煤灰对作物生长发育的影响, 粉煤灰与有机质混合及其腐熟物的特性研究很少, 并且停留在理论上<sup>[3,4,11]</sup>。到目前为止, 粉煤灰与有机肥混合在大田上的应用鲜有报道。该试验对有机肥与粉煤灰混合堆制状况以及施用后对富士苹果生长和果实品质的影响进行探讨, 以期对粉煤灰在

农业上更好的应用提供依据。

1 材料和方法

试验于 2005 年 6 月到 2006 年冬在北京市昌平区大辛峰果园进行, 果园管理水平一般。供试材料为 15 a 生的‘富士’苹果。株行距为 3 m×5 m, 植株生长正常, 结果状况良好。园内 0~40 cm 土层的土壤容重为 1.4 g/cm<sup>2</sup>, 孔隙度为 0.5, pH 值为 6.51, 有机质含量 1.4 g/kg, 全 N 含量 0.85 g/kg, 速效 P 含量 64.1 mg/kg, 速效 K 含量 76.3 mg/kg。

肥料原料选用粉煤灰、新鲜鸡粪。供试粉煤灰的化学性质见表 1。

表 1 供试粉煤灰的化学性质

pH 值	大量元素/ g · kg <sup>-1</sup>				微量元素/ mg · kg <sup>-1</sup>							
	全 N	全 P	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
11.4	0.13	0.14	6.8	5.7	24 180	210.5	21.2	22.5	0.48	92	46	4.5

试验设 6 个处理(表 2), 在施用相同量鸡粪基础上, 施用不同量粉煤灰。两种混合方式, 其中: 处理 T2、T3、T4 是先把鸡粪和粉煤灰混合均匀然后一起堆沤至腐熟, 处理 T5、T6 是先鸡粪单独腐熟后再与粉煤灰混合。具体操作程序为: 于 2006 年 8 月中旬将新鲜鸡粪、粉煤灰按设计比例均匀混合, 然后将其堆成长条状腐熟, 采用翻堆方式通风供氧, 每周翻堆一次。肥料堆制腐熟后, 于 11 月上旬果实采收后挖条沟施入土壤。试验采用随机区组设计, 单株小区, 5 次重复。

表 2 试验处理 kg/ 棵

处理	鸡粪	粉煤灰
T1(CK)	100	0
T2	100	250/ 46
T3	100	500/ 46
T4	100	1 000/ 46
T5	100	250/ 46
T6	100	500/ 46

注: 粉煤灰的用量表示单株用量。分子部分表示每亩施用粉煤灰的量, 分母表示每亩的株数。

2006 年 7 月下旬采集树冠外围正常生长发育枝条第 6 片叶, 每个处理采集 80 片叶, 其中 40 片用于测定单叶重, 另 40 片测定叶绿素含量。叶绿素含量用丙酮提取紫外分光光度计测定<sup>[15]</sup>。同时采集树冠外围中部带柄叶片测定矿质元素, 每个处理 50 片叶, 采后立即洗涤、烘干、粉碎<sup>[8]</sup>。用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 凯氏定氮法测定全 N 含量。P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、B 含量采用 HNO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub> 消煮, 电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP)测定<sup>[8]</sup>。肥料采样于施肥前肥料表层下 20 cm 随机选取 5 点取样, 每个处理采 3 个混合样, 养分分析参照土壤农化分析<sup>[15]</sup>。

采收时每处理在树冠外围随机取果实 10 个, 用于

品质测定。分别检测: 单果重; 果实硬度用 GY-1 型硬度计测定; 可溶性固形物用 Digit—032 手持折射仪测定; 可滴定酸用 NaOH 滴定法测定; 花青苷含量用乙醇提取紫外分光光度计测定; 可溶性糖用蒽酮比色法测定<sup>[8]</sup>。

2 结果与分析

2.1 不同处理肥料的主要化学性质

从表 3 可以看出, 随着加入粉煤灰的量增多, 肥料的 pH 值呈升高趋势。对比粉煤灰与鸡粪堆沤共同腐熟的处理(T2、T3)与鸡粪单独腐熟后再混合粉煤灰的处理(T5、T6)发现, 后者的 pH 值要明显高于前者。分别提高了 1.14 和 1.39 个单位。粉煤灰中有机质和氮、磷、钾的含量较低, 加入粉煤灰后肥料中有机质含量以及氮、磷、钾的相对含量减少, 但施入每株树的有机质及氮量总量基本不变。

表 3 腐熟和混合后肥料的养分含量

处理	pH 值	有机质 %	N/ %	P/ %	K/ %
T1	7.69	25.7	1.91	2.80	2.22
T2	7.72	23.6	1.75	2.58	2.12
T3	7.78	22.5	1.74	2.39	2.09
T4	8.18	19.3	1.42	2.12	1.97
T5	8.86	24.8	1.75	2.61	2.14
T6	9.17	23.2	1.73	2.39	2.08

2.2 不同处理对叶片质量及矿质元素含量的影响

所有施粉煤灰处理的单叶重均比对照有显著提高, 随着粉煤灰用量的增加单叶重也随之增加, 施 1 000 kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰的单叶重最高, 但在该试验范围内不同的粉煤灰施用量之间无显著差异。叶绿素含量与单叶重变化趋势相同, 随着施灰量的增加, 叶绿素含量增加。施粉煤灰 1 000 kg/ 667m<sup>2</sup> (T4) 的处理叶绿素含量显著高于其他处理(表 4)。表明在一定范围内随着粉

煤灰用量的增加, 可以提高叶片的质量。

表 4 不同施粉煤灰量对‘富士’苹果叶片质量的影响

处理	平均单叶重/g		叶绿素含量/mg · kg <sup>-1</sup>
	鲜重 FW	干重 DW	
T1(CK)	0.934b	0.368b	22.9b
T2	0.954a	0.386a	23.5ab
T3	0.963a	0.389a	23.6ab
T4	0.989a	0.389a	24.1a
T5	0.948ab	0.383a	23.4ab
T6	0.961a	0.389a	23.6ab

注 同一栏中不同字母表示用 Duncan's 新复极差法检验在  $P<0.05$  水平上差异显著不同。

表 5 不同处理对叶片矿质元素含量的影响

处理	干重 DW/ %					干重 DW/ mg · kg <sup>-1</sup>			
	N	P	K	Ca	Mg	B	Zn	Fe	Mn
T1	2.44a	0.16a	1.09a	1.23b	0.21b	29.23b	33.3a	150.79a	142.5b
T2	2.65a	0.16a	1.11a	1.23b	0.27a	41.72a	33.8a	161.45a	156.9b
T3	2.52a	0.16a	1.12a	1.35ab	0.27a	45.67a	33.7a	158.53a	170.6ab
T4	2.41a	0.17a	1.08a	1.48a	0.28a	49.64a	34.0a	163.32a	193.0a
T5	2.49a	0.17a	1.11a	1.21b	0.26a	42.01a	32.9a	150.21a	157.8b
T6	2.32a	0.16a	1.11a	1.31b	0.27a	43.95a	33.5a	156.00a	172.3ab

由表 6 可以看出, 与对照相比施用粉煤灰对果实硬度、可溶性固形物、可溶性糖含量均无明显影响, 但随着粉煤灰用量的增加果实硬度、可溶性固形物、可溶性糖含量有增加的趋势。施用粉煤灰明显降低了可滴定酸的含量, 施用 1 000kg/667m<sup>2</sup> (T4) 和 T5 处理, 果实中含酸量最低为 2.9 g/kg, 比对照降低了 17%; 所有施灰处

表 6 不同处理对果实品质的影响

处理	果实硬度 kg · cm <sup>-3</sup>	可溶性固形物 TSS/ %	单果重/g	花青苷 μmol · cm <sup>-2</sup>	可滴定酸 TA/ g · kg <sup>-1</sup>	可溶性糖 SU/ %
T1(CK)	8.6a	15.0a	249a	30.19c	3.5a	10.25a
T2	8.7a	15.0a	232a	32.58b	3.2ab	10.53a
T3	8.7a	15.6a	228a	33.86b	3.3ab	10.52a
T4	8.8a	15.8a	253a	35.46a	2.9b	10.64a
T5	8.7a	15.0a	229a	33.49b	2.9b	10.38a
T6	8.8a	15.4a	228a	32.33b	3.2ab	10.49a

2.4 粉煤灰施用后土壤重金属含量的评价

粉煤灰施入土壤后其重金属在土壤中的富集状况是影响粉煤灰利用的重要因素之一。试验所用粉煤灰符合国家农田粉煤灰有害物质控制标准(GB8173-87), 按每 667m<sup>2</sup> 施 1 000 kg 粉煤灰(处理 4)计, 连续施用 30 a 可达到控制标准。施 500 kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰可连续施用 60 a, 以粉煤灰为肥料, 短期内其安全性是可靠的。

3 讨论

粉煤灰所含的铁、锌、铜、钼、硼等微量元素是植物生长发育所必需的, 这些微量元素的含量差异很大, 但均比土壤的含量高<sup>[2]</sup>。而 pH 值是影响粉煤灰中微量元素释放的主要环境因素之一, 它极大地控制着微量元素的溶解性。高的 pH 值常常导致一些微量元素水溶性的降低, 引起植物常量营养元素 P 以及主要微量营养元素诸如 Cu、Fe、Mn 和 Zn 等的缺乏<sup>[11]</sup>, 从而影响植物的

由表 5 可见, 随着粉煤灰施用量的增加, 钙、镁、硼、锰含量明显升高; 氮、磷、钾、铁、锌等元素含量虽变化不明显, 但磷、锌、铁还是有增加的趋势。随着粉煤灰施用量的增加, 明显改善了矿质营养状况, 特别是镁的增加可能是叶绿素含量的提高和叶片重量增加的主要原因。铅、铬、镉、镍等重金属元素均没检测到。未发现粉煤灰中有害金属元素对树体造成影响。

2.3 不同肥料对果实品质的影响

理花青苷含量均比对照显著提高, 随着粉煤灰用量的增加, 果实花青苷含量呈增加趋势。施粉煤灰 1 000 kg/667m<sup>2</sup> 的处理花青苷含量显著高于其他施灰处理; 花青苷的发育与糖含量有密切的关系, 试验中看出花青苷的变化趋势和可溶性糖的变化趋势相同。不同堆制方法之间各品质指标无显著差异。

正常生长。同时, 它也会引起非植物营养元素 As、Se 和 V 等溶解性的增大<sup>[9]</sup>。试验中表明粉煤灰中有机质的加入不仅增加了粉煤灰中有机质的含量, 使作物获得平衡的营养, 并且与新鲜鸡粪等有机质混合堆制发酵过程中大量微生物的作用下, 显著降低了粉煤灰的 pH 值, 施入适量粉煤灰不会明显提高土壤的 pH 值。

适量施用粉煤灰可以提高作物产量, 改善作物品质在很多地方已有报道<sup>[1-3]</sup>, 该试验也证明了在一定范围内, 随着粉煤灰施用量的增加, 叶片叶绿素含量增加, 果实着色效果也越好。施 1 000kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰能显著提高叶绿素和果皮花青苷的含量。关于粉煤灰对叶绿素含量、单叶重及果皮花青苷含量的明显促进效果, 可能与粉煤灰能为树体提供一定的大量和微量元素, 特别是镁元素的改善, 促进了树体养分平衡有关, 通过对比苹果叶矿质元素标准值(李港丽, 1982)发现: 对照叶片中镁含量低于标准值, 粉煤灰中的镁通常是以氧化物形态存

在, 具有较高的有效性, 施用粉煤灰促进了树体对镁的吸收, 明显提高了叶片中镁的含量, 因此促进了叶绿素的合成, 提高光合效率, 提高叶片质量, 促进了花青苷的合成。试验验证了顾曼如<sup>[6]</sup>土壤施镁可促进果实着色的结果。施用粉煤灰也不同程度的提高了叶片中钙、硼、锰的含量。钙对果实可溶性固形物含量和果实硬度有较大的影响, 该试验中发现钙对果实硬度和可溶性糖含量呈正相关。而硼的增加有助于树体内更多的钙保持在可溶状态, 增加运输到果实内钙的量, 使果实硬度增加。缺硼使叶绿体结构遭到破坏, 叶绿素含量降低, 光合效率下降, 碳水化合物合成减少<sup>[17]</sup>。硼含量的增加有利于糖分的转化和果实的着色。因此果园中粉煤灰的应用能为果树提供一定的营养元素。

粉煤灰施入土壤后其重金属在土壤中的富集状况是影响粉煤灰利用的重要因素之一。尽管从目前的研究来看, 短期内施用粉煤灰未造成重金属在树体和土壤中的明显富集, 其含量远远低于农控标准, 不会明显造成环境污染<sup>[12-14]</sup>, 但是长期的反复施用重金属在作物体内及土壤中的富集情况仍需要进一步的跟踪和试验研究。试验中虽然显示施 1 000 kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰效果最好, 但考虑到粉煤灰中有害物质的安全控制及长年施用, 推荐施 500 kg/667m<sup>2</sup> 粉煤灰。

参考文献

[1] 高占国, 华璐, 郑海金, 等. 粉煤灰的理化性质及其资源化的现状和展望[J]. 首都师范大学学报, 2003, 24(1): 71-77.  
[2] 王兆锋, 冯永军, 张蕾娜. 粉煤灰农业利用对作物影响的研究进展

[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2003, 34(1): 152-156.  
[3] 李法虎, Keren R. 厩肥对粉煤灰宏观微量元素释放规律影响的研究[J]. 农业环境学报, 2004, 23(2): 336-340.  
[4] 李法虎, Keren R. 厩肥对粉煤灰微量元素释放规律影响的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 260-265.  
[5] 马新明, 郑瑾, 董莲心, 等. 粉煤灰改良砂姜黑土对小麦生长发育的影响[J]. 河南农业大学学报, 2001(6): 103-106.  
[6] Tiwari K N. evaluation of fly ash and phrite for sodic soil rehabilitation in uttar pradesh, India[J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1992(6): 117-126.  
[7] 李贵宝, 单宝庆, 孙克刚. 粉煤灰农业利用研究进展[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(6): 59-60.  
[8] 全月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 农业出版社.  
[9] 杨剑虹, 车福才, 王定勇, 等. 粉煤灰的理化性质与农业化学行为的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 341-348.  
[10] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.  
[11] Gangloff M, Ghodrati W J, Sins J T, et al. Field study: Influence of fly ash on leadhate composition in an excessively drained soil[J]. J Environ Qual, 1997, 26: 714-723.  
[12] 吴家华, 刘宝山, 董云中. 粉煤灰改土效应研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(3): 334-340.  
[13] 汪海珍, 徐建民, 谢正苗, 等. 粉煤灰对土壤和作物生长的影响[J]. 土壤与环境, 1999, 32(3): 305-308.  
[14] 刘芳, 韩作振, 郭良. 施灰田及所产蔬菜的镉汞砷铬铅和铝含量变化及影响评价[J]. 农业环境保护, 2001, 20(2): 85-87.  
[15] 鲍士旦. 土壤化学分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2002.  
[16] 顾曼如, 束怀瑞, 曲桂敏, 等. 红星苹果果实矿质元素含量与品质的关系[J]. 园艺学报, 1992, 19(4): 301-306.  
[17] 刘鹏, 杨玉爱. 钼、硼对大豆光合效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 456-461.

Effect of Combined Application of Fly Ash and Organic Manures on Vegetative Growth and Fruit Quality of Apple Trees

ZHANG Lin, HAN Zhen-hai, LI Tian-zhong, XU Xue-feng

(Stress Physiology and Biothch Lab of Fruit Trees Beijing Agricultural University, Beijing 10094 China)

**Abstract:** Field experiments were conducted in Beijing's suburb to study the effect of fly ash and organic manures combined application in a different ratio and different technics on the vegetative growth and fruit quality of Fuji apple. The results showed that the composting of chicken manures and fly ash could significantly reduce the pH value of fly ash compared with the no chicken manures added in fly ash. Fly ash application could improve the Chlorophyll content and the cyaniding content and these effects were in close relation to the application rates of fly ash. According to the criteria of the quality standards for environment, the optional usage of fly ash was 500kg/667m<sup>2</sup>.

**Key words:** Fly ash; Fuji apple; Organic manures