

施肥与土壤健康质量

论施肥对环境的影响(3)

曹志洪

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 就施肥与土壤健康质量而言,有机肥的问题比无机肥的更严重。无机的 N 肥、K 肥是化学晶体,比较洁净,导致污染的可能性不大。国产 P 矿为原料的 P 肥和钙镁磷肥的 Cd 含量也较低,但进口的磷矿粉以进口 P 矿为原料的 P 肥的 Cd 含量较高,是无机肥料对人畜健康的主要危险。有机肥有病原微生物,有机毒物及重金属污染的问题。从生态安全和充分利用自然资源看,有机堆肥、污泥堆肥是必须开发利用的。因其使用量特别大,所含污染物的危险性也就较大。制定相应的法规和有机肥产品的质量标准进行监督和控制是紧要的任务。建议其产品主要应用在林木、草坪、花草及木本经济作物上,蔬菜和一年生的粮食作物上应慎用。

关键词 施肥; P 肥; 有机肥; 重金属; 土壤健康质量

中图分类号 S143; X53

土壤健康质量是土壤净化容纳污染物质、维护和保障人类及动植物健康能力的量度。土壤中的有机污染物(如石油污染物、农药、激素等)、重金属和其它有毒物与土壤微生物活力和作物生长、农产品和食品的安全性及人畜健康密切相关。土壤中某些功能元素如 Se、I、Ge 等对植物生长的必需性还应待证明,但其丰缺与人畜健康有直接关系。施肥对土壤中重金属和有机有毒物含量有一定影响,因而影响到土壤健康质量和人畜生活质量。

生产无机 N 肥和 K 肥的原料比较单一,主要是氮气,石灰和 K 矿,其杂质较少;N 肥产品是尿素、硫酸铵、碳酸氢铵;K 肥是硫酸钾、氯化钾等,它们都是化合物的结晶体,都比较纯净,一般不含有值得注意的重金属。但是生产 P 肥的原料磷矿石的成分复杂,多含有较高的重金属组分;而且制造过程中的酸化工艺使重金属活性大大提高^[1]。因此,P 肥的原料和产品含有较多的重金属等杂质。尤其是 Cd 含量较高,引起社会的极大关注^[2~5]。

有机肥特别是畜禽粪肥、垃圾堆肥和污泥堆肥的成分也非常复杂,除了有病原微生物外,各种重金属和有机有毒物等杂质都可能进入。有机肥产品含有较高的重金属含量,长期使用有机堆肥有可能导致土壤的重金属污染,并进入食物链威胁人畜的健康^[6]。土壤中的有机有毒物主要是农药及其残留

和有机肥所带入。本文讨论施肥与土壤健康质量的关系,重点是 P 肥中的 Cd 等和有机堆肥的重金属问题。

1 施用无机肥料与土壤的重金属污染

如前所述,无机肥料中的商品 N 肥和 K 肥都是化学结晶体,一般含有很微量的杂质,不会有重金属污染土壤的问题。制备 P 肥的磷矿石含有较高的 Cd 和其它重金属(表 1)以及制造钙镁磷肥的其它原料如蛇纹石中也含量较高的 Ni、Cr 等,使 P 肥(普钙、钙镁磷肥和磷铵)及其含 P 的复合(混)肥中的重金属成分特别是 Cd 的含量较高,引起了社会各界的广泛关注。

1.1 磷矿粉直接施用与土壤的重金属污染

磷灰岩因其产地和起源不同,所含的重金属和 Ca 的量差异亦很大(表 1)。一般是沉积岩型的磷灰岩比火成岩型的磷灰石含有更多的重金属和 Ca。世界上直接以磷矿粉使用的主要是沉积岩型的磷灰石,因为沉积岩型的磷灰岩的 P 含量高而且生物有效性大,其硬度低加工磨细也较容易^[7],制造 P 肥的磷矿石 93%也是沉积岩型的磷灰石^[5],这主要是因为世界上(含我国)的 P 矿主要是沉积岩型的。

在酸性土壤上直接使用磷矿粉的肥效很好,有时可与普通过磷酸钙的肥效相媲美,我国南方有大

面积的推广应用，最高的时候每年可达 60~70 万 hm^2 [7]。世界上也有很多国家和地区使用磷矿粉，最近又有部分酸化磷矿粉推出，其肥效不比普通过

磷酸钙差，而且在“有机农业”中规定磷矿粉是可以使用的[5]。但问题就出在这惟一“合法”的磷矿粉上。

表 1 国内外磷矿石和土壤中的重金属含量 (mg/kg) [4,5]

Table 1 Heavy metal contents in soils and phosphate rocks at home and abroad (mg/kg)

重金属	国内矿	国外矿	国内土壤	国外土壤
As	-	13	8 (2~20)	9 (1~400)
Cd	0.98	16	0.5 (0.5~1)	0.4 (0.06~10)
Cr	23.0	84	85 (13~126)	60 (0.2~800)
Co	7.7	2.1	21 (0.5~104)	9 (1~300)
Cu	43	42	22 (3~300)	22 (1~150)
Hg	-	0.3	0.3 (0.1~1)	0.08 (0.01~4.5)
Pb	-	10	10 (2.1~200)	2.5 (0.8~11)
Ni	25.8	32	25 (5~500)	23 (0.8~440)
Zn	318	308	100 (<3~790)	70 (10~300)

从表 1 可见，国内外磷矿粉的 Cd 含量都比土壤 Cd 的平均含量高。Cd 在土壤中的半衰期长达 30 年，因而 Cd 在土壤中是容易累积的。人体由食物和吸烟摄取 Cd。在欧洲，成人每天从食物进入人体的 Cd 为 0~40 μg ，但只有 5% 左右可被肠胃吸收。每天抽烟 20 支的人有 2~4 μg 的 Cd 从呼吸道进入人体，其中 25%~50% 的 Cd 可被气管和肺泡吸收[5]。

由于 Cd 的毒性很大，即使吸入相当低的 Cd 也会抑制人体生长，引起高血压、影响酶系统和生育能力等。世界卫生组织建议成人（60 kg 体重）每天允许摄入 Cd 的最大量是 60 μg 。

因为国际上的磷矿石平均含有 Cd 为 16 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，磷矿粉的使用量又很大，因此欧洲对磷矿粉的使用作了严格的限制：不允许使用含镉 (Cd) $\geq 210 \text{ mg}/\text{kg}$ (P) 或 90 mg/kg (P_2O_5) 的磷矿粉。这样有许多磷矿粉便被排除在欧洲的“有机农业”之外（表 2）。

表 2 国内外磷矿粉中 Cd 的含量 (mg/kg(P))

Table 2 Cadmium (Cd) content in phosphate rock powder from domestic and imported sources (mg/kg (P))

P 矿产地	含 Cd 量	P 矿产地	含 Cd 量
前苏联*，科拉	<2	美国，北卡	294
南非*，伐拉波瓦	<2	美国，佛州	66
摩洛哥，博可拉	246	摩洛哥，西松非亚	215
摩洛哥，科如卡伽	106	突尼斯	310
塞内加尔	516	多哥	365
以色列	228	约旦	38
叙利亚	22	中国曲靖**	5.0
中国昆明**	1.2	中国开阳**	1.3

*火成岩型 P 矿，其余都是沉积岩型 P 矿；

**中国 P 矿数据按文献[4]的换算，国外 P 矿数据引自文献[5]

在我国所用的磷矿粉也有不少是国外进口的，有的含 Cd 量较高，故仍需谨慎使用，防止可能产生的 Cd 污染。但如使用的是国产的磷矿粉和 P 肥，一般 Cd 的含量较低，不大可能造成土壤和农产品的 Cd 污染。

1.2 P 肥及含 P 肥的复合（混）肥施用与土壤的 Cd 污染

湿法工艺生产 P 肥或磷酸的加工过程，使磷矿石中 60%~90% 的 Cd 和其它重金属进入 P 肥或磷酸产品中，其它的则留在废水或磷石膏中。由于我国 P 矿的 Cd 和其它重金属的含量低，所以我国 P 肥（普钙和磷铵）的含 Cd 量也低，鲁如坤[4]计算的平均值是 0.61 mg/kg ，大约也为磷矿石含 Cd 量的 60% 左右。与其它国家 P 肥的含 Cd 量相比要低得多（表 3）。

表 3 中国和其他国家 P 肥含 Cd 量的比较 (mg/kg (P))

Table 3 Cadmium content in phosphate fertilizer produced at home and abroad (mg/kg (P))

国家	含 Cd 量
中国	0.1~2.9
美国	2.1~9.3
加拿大	7.4~15.6
澳大利亚	19~91
瑞典	2~30

我国的钙镁磷肥是热法工艺制造的，大部分 Cd 在加工中挥发了。因此钙镁磷肥产品的含 Cd 量比湿法 P 肥的更低，前者为 0.11 mg/kg ，后者则为 0.1~2.9 mg/kg 。如我国的 P 肥都是用国产 P 矿制造的，或则以钙镁磷肥为主，Cd 污染问题就不大。据鲁如坤[4]计算，按目前的施肥量，1000 年后才达到

土壤 Cd 的最大允许容量。不幸的是我国 P 肥以普钙和磷铵为主, 钙镁磷肥主要在南方有使用; 同时我国生产 P 肥的磷矿石不少是进口的, 所以长期使用 P 肥的土壤或农产品可能有 Cd 污染的问题, 仍然应引起公众的注意。就是磷石膏所携带的 Cd 也可以污染土壤和农产品, 故也应一并考虑。制定相应的法规, 加强 P 肥、土壤和有关农产品中 Cd 的检测等, 都是急待要做的事情。

1.3 磷矿粉、P 肥及复合(混)肥的施用与土壤其它重金属污染

表 1 的数据还揭示, 磷矿石中含有的 As, Hg, Cr, Cu, Ni 等重金属的含量均比土壤中的高, 中国 P 矿的 Zn, Ni, Cu, Co 等重金属含量比国外 P 矿还高。按湿法工艺生产 P 肥或磷酸的加工过程中磷矿石所含 60%~90% 的重金属进入产品, 以及制造钙镁磷肥的原料蛇纹石中含较高的 Ni, Cr 等重金属的情况来看, 在肥料产品标准中限制重金属的含量是十分必要的。根据鲁如坤估计^[4], 按目前的 P 肥(P)用量 ($32.25\text{kg}/\text{hm}^2$), 每年带入的 Ni 为 $150\text{g}/\text{hm}^2$, Cr 为 $50\text{g}/\text{hm}^2$; 只有土壤环境 Cr 是最大允许容量 $200\text{g}/\text{kg}$

的 $1/9000$, 所以不会造成 Cr 的污染。所含其它重金属的突然污染问题也要做相应研究和规定。

2 使用有机肥料与土壤重金属污染

有机肥料中成分复杂, 或多或少都会有重金属组分。这是因为畜禽饲料的添加剂, 人畜(禽)用的各种药剂, 包装及日用品(如电池等)的金属材料的污染, 垃圾和污泥中都含有较高的重金属。堆肥制造过程不仅使有机物料脱水, 酸度变化还可使重金属活化。因此, 必须对有机堆肥和污泥堆肥产品的重金属含量进行检测, 并制定相应标准。

2.1 有机物堆肥

垃圾或/和畜禽排泄物为原料的有机堆肥的成分复杂且不稳定, 除了有丰富的营养成分外, 有机有毒物和重金属等有害组分也不少, 而且变异很大^[9](表 4)。台湾省每年生产和使用 1000 多万吨有机堆肥, 市场抽样检测结果表明有 3%~41% 产品的 Cr, Cu, Ni 等重金属超过控制标准, 有 5%~9% 产品的 Cd 超过控制标准^[8]。内地市场抽样检测结果没有见报道, 估计情况也差不多。

表 4 城市垃圾堆肥(干重计)的重金属含量(mg/kg)

Table 4 Trace element contents (mg/kg) in municipal garbage compost(dry weight basis)

项目	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
平均值	2.7	2.8	176	1.7	28	222	639
+ -	1.9	1.5	123	1.1	12	239	418
CV %	69.1	53.5	69.9	60.6	41.	107.3	65.4

引自: 参考文献[9]

为了保证农产品的质量和人畜健康, 为了生态环境的安全, 为了土壤的永续利用, 美国的土壤学家与环境署(USEPA)合作, 根据重金属对水环境质量、对土壤微生物活性、对农产品品质和最终对人畜健康的影响, 制定了 10 个重金属元素在土壤表层(0~20cm)的污染控制浓度 CPC (control pollutants concentration---mg/kg), 将 CPC 与土壤重金属背景值 BL (background level---mg/kg) 的差值定义为土壤表层重金属的最大承载量 MLC (Maximum Loading Capacity---kg/hm²), 可由公式(1)计算:

$$\text{MLC} (\text{kg}/\text{hm}^2) = (\text{CPC} - \text{BL}) \div 2.0 \quad (1)$$

式(1)中, 2.0 是 $[1\text{mg}/\text{kg} = 2.0\text{kg}/\text{hm}^2]$, 美国采用每公顷表层土壤 $2 \times 10^6\text{kg}$ 的换算系数。世界有关国家根据美国的建议, 对照各自的 CPC, 制定了土壤表层重金属的最大承载量 MLC(表 5)。

美国环境署和土壤学家还建议, 以每年每公顷

施 10 t 有机堆肥计, 施用 100 年亦不导致土壤重金属污染的要求, 来计算有机堆肥的重金属的最大允许浓度 MPC (maximum permutable concentration---mg/kg)。MPC 可按公式(2)计算:

$$\text{MPC} (\text{mg}/\text{kg}) = \text{MLC} \times 1.0 \quad (2)$$

式(2)中, 1.0 是 MLC (kg/hm²) 与每年每公顷施 10 t 有机堆肥施 100 年换算为 (mg/kg) 的系数。有关国家制定的有机堆肥的重金属最大允许浓度 (mg/kg) 见表 6。

我国参考其它国家标准也提出了农用污泥(中国 1)和垃圾堆肥(中国 2)中有关的 MPC 值, 也一并列表 6。台湾省的同行们根据台湾土壤的背景值制订了适合于该省的 MLC 和 MPC^[8], 现列于表 7, 以供参阅, 其中的 MLC 值和 MPC 值有差异, 可能是换算时取的土壤表层的重量或面积单位上有不同所至。

表 5 有关国家的土壤表层重金属最大承载量（MLC：kg/hm²）

Table 5 Maximum heavy metal loading capacity (kg/hm²) of surface soil layers in different countries

元素	美国	德国	英国	法国	荷兰	加拿大
As	41	40	20	40	60	14
Cd	39	6	7	4	10	1.6
Co	-	-	-	-	100	30
Cr	300	200	1200	300	500	210
Cu	1500	200	280	200	200	150
Hg	17	4	2	2	4	0.8
Mo	18	-	-	-	80	4
Ni	400	100	70	100	200	32
Pb	300	200	1100	200	300	90
(Se)	100	-	-	-	-	2.4
Zn	2800	600	560	600	1000	330

表 6 有关国家有机堆肥的重金属最大允许浓度（MPC：mg/kg）

Table 6 Maximum permissible heavy metal concentration of in organic compost in different countries (MPC：mg/kg)

元素	美国	德国	英国	法国	荷兰	加拿大	日本	中国 1	中国 2
AS	41	40	20	40	60	14	50	25	30
Cd	39	6	7	4	10	1.6	5	20	3
Co	-	-	-	-	100	30	-	-	-
Cr	300	200	1200	300	500	210	-	1000	300
Cu	1500	200	280	200	200	150	-	500	-
Hg	17	4	2	2	4	0.8	2	15	5
Mo	18	-	-	-	80	4	-	-	-
Ni	400	100	70	100	200	32	-	200	-
Pb	300	200	1100	200	300	90	-	1000	100
(Se)	100	-	-	-	-	2.4	-	-	-
Zn	2800	400	560	600	1000	330	240	1000	-

注：中国 1：农用污泥；中国 2：垃圾堆肥。

表 7 台湾土壤的重金属背景值、表层最大承载量及有机堆肥中最大允许浓度

Table 7 Background level & maximum loading capacity of soils, maximum permissible heavy metal concentration in organic compost in Taiwan, China

元 素	BL (mg/kg)	MLC (kg/hm ²)	MPC (mg/kg)
As	9	22	20
Cd	1.8	4.4	4.0
Cr	43	314	200
Cu	22	250	150
Hg	0.2	1.6	1.0
Ni	42	156	120
Pb	40	120	100
Zn	90	420	300

2.2 城镇生活污水堆肥

国际上关于城镇生活污水的处理有严格的法规管理，对处理后污泥的处置也受到监督和控制，大部分是作为二次资源开发利用。我国大多数大中城市的生活污水处理最近才开始真正运行或积极准备运行。因为直到 2002 年才颁布向用水者收取污水处

理费的政策。这当然是合理的，也是环境保护更受政府重视和公众支持的证明。由此，污水处理行业成了“香饽饽”，至少是有微利可图。过去也有不少城市也建立了污水处理厂，因为没有好的运行机制，使污水处理事业成了赔钱的无底洞。这样，污水处理厂仅仅是为了检查或达标而设立，“检查一走，达

标完成,污水处理厂也就关闭”。不但城市的污水处理厂是这样,就是工厂的环境保护设备大多也如此。为了企业“节省成本或降低开支”,多数环保设备干脆就是门面和摆设,并没有发挥应有的作用。

由于大多数污水处理厂没有运行,因而所产生的污泥量有限。少量污泥往往就采取简单的土地填埋或倒入海里“了事”。污泥的开发利用已进行了一些试验研究,也制订了污泥农用的标准^[10],但并没有大量的污泥作为二次资源有规模的开发利用。按目前的情况,如果大中城市的污水处理走上正常的轨道,那么污泥的产量将是非常巨大的。一个中等的大城市日处理污水 100 万 t (80%处理率),按污水的固体悬浮物为 800~900 mg/L(中值)计算,日产污泥达 800~900 t(干基)。这样大量的污泥是必须开发利用的,否则将不可避免地成为二次污染源。

国际上把垃圾和污泥称谓二次原料肥料^[11],即所谓 SRMF (Second Raw Material Fertilizers) 而极力推崇。认为今后世界上不可再生的资源将越来越少,唯有垃圾和污泥资源会越来越多。因为,随着

人们的生活水平提高,对生态环境质量的要求越高,所产生的垃圾和污泥也将越多。

当然,城镇污泥中有病菌等有害微生物,有不愉快的气味,也有重金属等杂质^[12]。再利用前必须进行处理,产品必须有标准。我国已制订农用污泥污染物控制标准中 Cd、Pb 较欧洲的要高许多倍。德国的一个使用污泥产品 30 年的试验表明,土壤和农产品都没有发现 Cd 超标^[11],而我国使用按国标生产的污泥复混肥的当季,就有两种蔬菜中的 Pb 超过卫生标准。金燕等^[13]所用污泥复混肥含有 Cu 121.0 mg/kg, Zn 658 mg/kg, Pb 61.9 mg/kg 和 Cd 0.48 mg/kg。用量为 1.2 t/hm²,4 次重复的小区试验,结果见表 8。有些城市郊区长期使用污泥或垃圾复合(混)肥,已检测到一些重金属超标的情况。因此,即使是合格的污泥和垃圾堆肥,最好也不用在蔬菜和一年生的瓜果作物上,因为它们的可食部分主要是其营养器官:叶、茎、根,而不是种子等繁殖器官。前者易积累重金属,后者则因自我保护机制而累积的重金属较少。

表 8 施肥对蔬菜可食部分重金属含量(鲜重计)的影响*

Table 8 Effect of fertilization on heavy metal contents in vegetable leaves (fresh weight basis)

作物	肥料	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (μg/kg)
菜花	Ck	0.64c	2.48a	0.23b	1.02a
	NPK	0.87b	2.56a	0.26a	1.02a
	污泥复混肥	1.02b	2.58a	0.28a	1.19a
莴苣	CK	1.32a	3.00b	0.22b	4.09a
	NPK	1.44a	2.93b	0.22b	4.05a
	污泥复混肥	1.32a	3.45a	0.25a	4.40a
国际食品卫生标准		≤ 10	≤ 20	≤ 0.2	≤ 50

*引自参考文献[13]。

3 结语与建议

就施肥与土壤和农产品的重金属污染对人畜健康的影响而言,有机肥的问题比无机肥更多也更严重。无机的 N 肥、K 肥比较洁净,导致污染的可能性不大。国产 P 矿为原料的 P 肥和钙镁磷肥的 Cd 含量较低,问题也不大。有问题的主要是进口的磷矿粉和以进口 P 矿为原料的 P 肥的 Cd 污染。认真控制这两种肥料的 Cd 含量,防止可能发生的土壤 Cd 污染和农产品的 Cd 含量超标。特别应加强检测进口的磷矿粉和 P 肥,其含 Cd 量远比国产的磷矿粉和 P 肥高得多。要严格把关,防止不合格的产品流入我国市场。

有机肥的问题比较复杂,有病原微生物和有机毒物,也有重金属污染的问题。从生态安全和充分利用自然资源看,有机堆肥、污泥堆肥是必须开发利用的。但因为其使用量特别大,其所含污染物的危险性也就较大。一定要充分处理,并有严格的法规和有机肥产品质量的标准进行控制。建议其产品主要应用在林木、草坪、花草及木本果树或食用种子的作物上,蔬菜和一年生的瓜果作物上应谨慎使用。

参考文献

- Engelstad OP. Fertilizer Technology and Use. Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, USA. 1985,

- 350~357
- 2 曹志洪. 化肥-环境与农业持续发展. 见: 中国土壤学会编写组编. 土壤科学与农业持续发展. 北京: 中国科学技术出版社, 1994, 183~195
- 3 Cao ZH. Environmental issues in relation to chemical fertilizer use in China. *Pedosphere*, 1996, 6(4): 289~293
- 4 鲁如坤等. 土壤-植物营养学原理与施肥. 北京: 化学工业出版社, 1998, 423~443
- 5 Lagreid M, Bockman OC and Kaarstad O. Agriculture, Fertilizers and Environment. Norsk Hydro ASA Porsgrunn, Norway CABI publishing, 1999, 122~157, 174~180
- 6 Johnston AE. The value of long term field experiments in agricultural, ecological and environmental research. *Advances in Agronomy*, 1997, 59, 291~333
- 7 李庆逵, 蒋柏藩, 鲁如坤. 中国磷矿的农业利用. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992, 76~95
- 8 Chen ZS and Lee DY. Soil quality management in Taiwan rural soils after long term application of organic composts. In: *Soil Quality Management and Agro-ecosystem Health. Proceeding of Fourth International Conference East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies, Cheju Korea*, 1997, 137~151
- 9 何念祖, 孟赐福. 植物营养原理. 上海: 科学技术出版社, 1982, 395~398, 405~408
- 10 环境质量与污染物排放国家标准汇编. 中华人民共和国国家标准—农用污泥中污染物控制标准 GB4284-84{S}, 北京: 中国标准出版社, 1997
- 11 Werner W and Brenk CK. Environmental friendly application of sewage sludge and compost from urban organic refuse based on integrated nutrient management concept. In: *Proceeding of Dahlia Greidinger International Symposium on Fertilization and Environment. Haifa, Israel*, 1997, 242~249
- 12 Cao ZH. Agricultural Use of Sludge in China. In: *Soil Quality Management and Agro-ecosystem Health. Proceeding of Fourth International Conference East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies, Cheju Korea* 1997, 359~366
- 13 金燕, 李艳霞, 陈同斌, 刘树庆. 污泥及其复合肥对蔬菜产量及重金属积累的影响. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(3): 288~291

EFFECT OF FERTILIZATION ON SOIL HEALTH QUALITY

—Effect of Fertilization On Environment Quality (3)

Cao Zhihong

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract As far as effect of fertilization on soil health quality is concerned, organic compost poses more problems than mineral fertilizers. Inorganic N and K fertilizers are crystal compounds with quite high purity and less contamination of heavy metals and other materials. Commercial phosphate fertilizers, and Ca-Mg-phosphate made from domestic phosphate rocks are relatively low in Cd content, while those imported phosphate rock and super-phosphate, and ammonium phosphate fertilizers (whether domestically produced or imported) are generally high in Cd and other heavy metal content. Long term use of P fertilizers will result in contamination of Cd and other trace elements of the soil and crop products. Organic compost fertilizers are complicated in composition, containing pathogen microbes, organic toxic pollutants and heavy metals etc.. From the viewpoint of recycling of organic resources and ecosystem safety, organic compost must be exploited and used. Owing to its huge quantity in use, the impact to soil health quality should be monitored and well managed. It is, therefore, essential to establish corresponding regulations and quality criteria for compost production and application. Organic compost should mainly be used for production of forests, lawns, flowers, and woody economic crops. Cautions should be taken for use in vegetable and annual food crops.

Key words Fertilization, Mineral P fertilizer, Organic compost, Heavy metal, Soil health