

C O D E X A L I M E N T A R I U S

国际食品标准



联合国粮食
及农业组织



世界卫生组织

E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

预防和减少可可豆中镉污染操作规范

CXC 81-2022

2022 年通过

I. 引言

本操作规范旨在就预防和减少可可豆生产和收获后加工（发酵、干燥、贮存和运输）过程中的镉污染，向成员国和可可生产行业提供指导。

镉是一种重金属，主要通过矿石加工、燃料燃烧、工业废物污染、牲畜粪便和磷肥使用等人为活动进入环境。镉也会因火山活动等自然因素，从海相页岩土、风蚀产生的海盐气溶胶和含污水的肥料进入土壤。

镉在土壤中具有毒性和持久性（镉在土壤中的半衰期估计为15-1100年不等）。镉会被可可树（*Theobroma cacao* L.）吸收并形成生物累积，在某些情况下会导致可可豆中的镉含量过高，因此可能需要采取措施减少土壤中的镉含量和可可树对镉的吸收。

纯镉在自然界中并不存在，其最常见的氧化态为+2，并且经常伴生于铁、锌、铅、磷、镁、钙或铜等金属矿中。土壤的酸碱度是影响土壤中镉浓度的主要因素，会影响镉的水溶性和迁移。大多数金属往往在酸性土壤中的有效态含量更高，因而生物利用率也更高，更易被植物吸收。

土壤颗粒表面对镉的吸附率越高越有利，可以减少镉这种污染物在土壤剖面中的迁移，降低可可树对镉的生物利用率，从而降低其环境影响。土壤溶液中的镉浓度以及镉的生物利用率和迁移特性主要取决于土壤胶体表面对其的吸附和解吸作用。土壤影响镉的累积和利用率的因素包括：酸碱度、土壤质地、有机物质、铁、锰的氧化物和氢氧化物、锌、碳酸盐、氯化物和阳离子交换能力。

当土壤处于碱性状态，土壤中的氯化物含量就会增加，这往往会促使氯络合物的形成，减少土壤颗粒表面对镉的吸附，从而增加镉的迁移和生物利用率。

随着时间的推移，我们逐渐加深了对各种种植制度如何导致或减轻可可豆镉污染的理解，可以根据这些知识建立有助于管理可可豆镉含量的综合系统。

采用嫁接这种遗传策略获得镉积累量较低的品种，对于不同的土壤类型和不同的土壤镉含量来说，都不失为降低可可树中镉含量的可行方案，但目前只在实验中进行尝试。

要减少可可豆中的镉含量，就必须查明可可种植区是否含镉量较高，并相应制定策略来解决这一问题，包括可以在近期采取的减缓措施（如土壤测试和使用土壤改良剂），而其他措施可能需要更长的时间才能实施（如在镉吸收率低的砧木上嫁接可可树）。

II. 范围

本操作规范为预防和减少可可豆中的镉污染提供了建议做法方面的指导，涉及新的或现有可可种植园的种植前阶段，以及可可豆的生产、收获和收获后加工过程。

III. 定义

- 吸附和吸收：吸附指土壤颗粒通过物理或化学作用对镉进行吸引和存留。吸收指可可树的根部对土壤中镉的净摄取量。
- 生物利用率：矿物质对植物和土壤而言的生物利用率是指，矿物质可进入正常代谢和生理过程的比例，这一比例受多种因素的影响，包括：金属的总浓度和形态、酸碱度、氧化还原电位、温度、土壤中有机质总量（颗粒态和溶解态）和悬浮颗粒含量。
- 生物炭：残余生物质热裂解的副产物。生物炭是由植物和/或动物生物质产生的一种稳定的碳酸衍生物，可供农业应用。
- 甘蔗副产物（甘蔗渣）：甘蔗压榨后的副产物。
- 阳离子交换能力：指土壤保存阳离子的能力。土壤中黏土矿物和有机质的表面有带负电荷的交换位点，会吸收和保存带正电荷的离子（阳离子）。土壤带有负电荷，对于为植物提供养分来说至关重要，因为许多养分（如锰、钾、钙）是以阳离子的形态存在的。
- 可可豆：可可果实的种子，由外种皮（也称被皮、种皮或壳）、胚和子叶组成。
- 干燥：将可可豆置于阳光下曝晒，或使用机械/太阳能干燥装置（或同时使用两种方法）对其进行干燥处理，以减少其中的水分（至 8%以下），使其保持稳定的状态而利于贮存。
- 发酵：在农场环境中，利用酶和微生物分解果肉或黏液并引发子叶生化变化的过程。
- 腐殖质：土壤中的有机质组分，因树叶及其他植物体被土壤中的微生物分解而形成。
- 修剪：每年从遮荫树和可可树上去除干枯、患病或导致树势失衡的枝条的过程。
- 果肉或黏液：包裹着种子的水状、黏液状和酸性物质。
- 遮荫：在可可树周围种植遮荫树，以降低可可树接受到的太阳辐射量和风量。在可可树生命的头 4 年中，遮荫量通常为 50%左右，之后可减少至 25%或 30%。
- 土壤改良剂：任何在土壤中添加以改善其物理和化学属性的物质。使用何种土壤改良剂取决于土壤的特性，可以包括：堆肥、牲畜粪便、硫酸镁、酒糟、沸石（能进行可逆水合和脱水反应的矿物或吸附剂）、木炭或生物炭、硫酸钙、石灰、甘蔗副产物（甘蔗渣）、硫酸锌、白云石（碳酸钙镁）、蚯蚓堆肥、甘蔗、棕榈仁饼、磷矿和其他有机物。
- 酒糟：甘蔗酿酒过程的副产物。酒糟由糖蜜发酵和蒸馏而得；是酿酒过程产生的主要有机质残余。

IV. 预防和减少可可豆中镉污染的建议做法

4.1 种植前 — 新种植园

4.1.1 建议采取的中短期做法

预防和减少可可豆中镉污染的措施应从土壤物理化学分析开始，并应成为新种植园种植前做法的不可或缺的一部分。土壤分析不应仅限于测量土壤中的镉含量，还应考虑有机质百分比、阳离子交换能力、可溶性锌和氯含量。土壤物理分析的参数为：砂、粘土和粉砂的百分比，以及土壤质地等级。化学分析应酌情考虑：酸碱度、有机物和全氮含量百分比；磷、钾、铅、铁的氧化物和氢氧化物、碳酸锰、镉和锌的有效态痕量；钙、锰、钾、钠、铝和氢的交换性阳离子容量（ cmol (+) /kg ）；阳离子交换能力、基础呼吸（ Camb \% ）、蚀变碳酸盐（ Camb \% ）和铝饱和度。要了解植物镉吸收方面的参数信息，并获得这些土壤分析结果的解释说明，建议咨询有资质的专家。

国家或相关食品监管部门应考虑实施《减少食品化学物污染源头措施行为守则》（CXC 49-2001）中的源头措施¹。

在新种植园中，应考虑种植多年生豆科植物作为地被植物。地被植物能改善土壤有机质，保护土壤免受侵蚀，减少养分流失，并能增加植物所必需的土壤养分和减少金属生物利用率，从而提升土壤生产力。

目前尚未确定有关可可种植区镉含量的具体建议。土壤的酸度会影响土壤镉含量的可接受水平。

可监测灌溉水以确定其是否为镉的潜在来源，比如是否其中的镉含量由于点源污染而高于背景值。世界卫生组织建议饮用水的镉含量不得超过0.005毫克/升，可作为确定土壤中镉含量上限的指导值。

尽管众所周知，农林复合经营有诸多好处，但有关农林复合经营与单一栽培对镉含量影响的对比数据尚处于初级阶段。系统比较农林复合经营与单一栽培的研究并未发现这两种方式对可可豆的镉吸收有统计学意义上的显著差异。

在农林复合经营系统，与可可树混种的常用遮荫植物有：用于早期可可树临时遮荫的芭蕉科植物（如香蕉，在拉丁美洲也称为*moles*和*cambures*），以及用于永久性遮荫的豆科植物，如红豆树或刺桐（*Erythrina spp.*）和印加树。其他提供较大经济效益的遮荫植物包括：木材品种（如月桂、雪松、哥伦比亚红木（*Cariniana pyriformis*）、香树或雨树及榄仁木）及/或果树（如柑橘、鳄梨、树莓、面包果、枣椰树）。建议种植较矮的遮荫树，并在可可种植园的边缘种植柑橘或果树。

尽可能在远离道路的区域开辟种植园，或采取措施减少可可种植园接触内燃机（如车辆中的内燃机）排放物的机会，因为这些排放物中可能含有镉。同样地，可可种植园还应远离城市垃圾场、矿区、冶炼区、工业废渣、污水和生活污水，因为这些都可能成为镉的来源。

如果水源被镉污染，则应避免淹水土壤。

4.1.2 建议采取的长期做法

在开辟新种植园时，建议种植不易吸收镉的可可树种。

4.2 从生产到收获

4.2.1 建议采取的中短期做法

应了解镉的来源和土壤中的镉分布，此类知识十分重要。一般而言，在针对作物施用任何有机或无机土壤改良剂前，都应先分析其中的镉含量，因为其来源可能包含镉，从而可能成为作物中镉的来源。污水污泥、飞灰和磷肥可能含有高浓度的镉。应对土壤施用的磷肥中的镉含量控制在较低水平。为减少镉吸收，可可种植园中使用的磷肥应符合镉磷比（镉与磷之比或镉与五氧化二磷之比）国家标准。

数据显示，土壤中的镉含量较高（在土壤测试中检测），会导致植物组织和可可豆中的镉含量增高。

在可能的情况下，应由经认证的实验室对可可种植园进行土壤性质分析，分析过程应使用经验证的方法，包括经认证的参考资料和标准，并指出相关不确定性。此外，至关重要的一点是，应使用国际认可的方法开展土壤分析。致力于可可出口的当地农民应采取合适的此类方法。土壤性质分析不应仅针对镉含量，还应包括其他养分（见第4.1.1）。土壤酸碱度是最为重要的参数，应持续测量。

土壤抽样方案应考虑获取能代表每个种植园的样本，因为同一可可种植区的镉含量可能出现变化。由于土壤中镉和锌的含量在自然条件下会发生变化，至少每公顷要收集一份土壤混合样品（包含至少20份子样品）。抽样方案应考虑有关在明确受到金属污染的土壤中抽样的国际标准。调查和实地评估中的土壤抽样深度为0-15厘米。由于可可树枝叶凋落物中的镉含量可能高于其所生长土壤中的镉含量，因此凋落物在土壤上进行代谢会增加土壤表层0-5厘米处的镉含量。抽取0-15厘米的土壤样品进行测量，能得到土壤镉含量的更具代表性的结果。

在可可豆含镉量较高的地区，应检测土壤和灌溉水中的含盐量（氯盐），因为植物的镉吸收量会随氯浓度的增加而增加。然而，这种效应在碱性土壤（酸碱度大于7.0）中最为显著。因此，当可可豆含镉量令人担忧且土壤呈碱性时，必须测定土壤和水的电导率，结果应小于2毫西门子/厘米。

4.2.2 土壤中镉的固定化策略（中长期做法）

如果土壤缺锌，就应提高土壤中的含锌量。镉与锌在植物吸收中呈竞争关系，当土壤的锌浓度较低时，土壤中的镉更易进入可可树中，并在可可豆中蓄积。此外，国家和地方主管部门可确定适合种植可可树的土壤锌浓度关键值。

根据可可树的种植要求和土壤含锌量要求，可可种植园每年都要在施肥时施用硫酸锌。然而，如果为抑制可可树从含镉量高的土壤中吸收镉而施用了过量的硫酸锌（如每公顷25千克锌），就会导致土壤酸化，需要添加石灰来中和土壤酸度。

迄今，在降低镉的生物利用率方面，最有效的方法就是在土壤酸碱度低于6时，在土壤里掺加石灰。这是一种农业管理措施，用以降低种植于强酸土壤中的可可树的镉吸收率，同时也能改善可可树的营养和产量。不过，在采取这种措施时，有必要证实所添加的石灰中不含镉。

土壤的酸碱度应控制在6以上，但如果土壤的含镉量较高，则可能需要将土壤的酸碱度调至更高的水平，以降低可可树对镉的蓄积。然而，土壤的酸碱度也不能过高，否则会阻碍有益矿物质和微量营养素的吸收。在施肥的过程中可能也需要添加硫酸锌，以确保土壤的含锌量维持在一定水平。

施用低剂量的石灰（每年每公顷3吨），且最好使用白云石，以循序渐进地提高土壤的酸碱度，并加入可可树生长所必需的钙和锰。这有助于使镉沉淀，从而降低其生物利用率。应避免石灰施用过量，因为这会降低微量营养素的生物利用率。

根据实地研究，土壤有机质含量越高，土壤对镉的吸附率就越高，从而可能有助于减少可可豆中的镉含量。使用经处理的牲畜粪肥或堆肥等有机肥料能增加土壤有机质含量，并提高土壤中微生物的活性。

为获得可可种植的成功，重要的是要为土壤补充磷，因为热带地区的土壤含磷量较低。提高土壤含磷量的最好办法是施用有效态磷含量高而镉含量低的有机肥料。磷肥或含磷沉积岩可能含有较高的镉浓度，因此除非能证实这些物质的含镉量较低，否则不应施用，并且若要施用，就必须遵循国家或地区主管当局规定的镉限量标准。

一般而言，对可可树施用的氮磷钾肥料中氮、磷、钾的比例公式会因树龄和土壤特性的变化而变化。应在施肥前通过分析鉴定核实肥料中的重金属含量，以确保含镉量较低。

施用土壤改良剂（镁、硫酸盐、白云质灰岩、酒糟、沸石、腐殖质、木炭、硫酸钙、甘蔗副产物（甘蔗渣）和硫酸锌）有助于降低可可豆中的镉浓度。选用何种改良剂取决于土壤的特性。

酒糟含钾，能促进真菌在可可树根部形成菌根，从而提高土壤中磷素营养和镉固定化的效率。

石灰和甘蔗饼可降低土壤剖面中镉的生物利用率。沸石也可用于含砂量高的土壤和粘土质地的土壤。磷灰石（磷矿石）可能含镉，应尽可能避免。

生物炭已被证实可减少可可豆对镉的吸收。使用生物炭降低镉吸收率的效果与掺入石灰的做法相当，并且若将生物炭与石灰混施，又能提升土壤改良效果。

生物炭和堆肥对重金属污染土壤的物理化学特征、金属生物利用率（包括镉）和酶活性有显著影响，因此有助于减轻可可树中的镉浓度。

对镉生物积累明确较低的可可树基因型可用于减轻镉浓度，方法是将可可树嫁接到镉吸收率低的砧木上，从而获得不易吸收镉的新品种。

4.2.3 避免土壤遭受进一步的镉污染（建议中短期采取的做法）

为减少土壤中镉含量的增加，应将修剪下来的可可树和遮荫树的枝叶从地面上移除，因为它们可能含有镉，从而可能在分解过程中导致镉进入土壤的表土层。这一做法还应包括移除果园中修剪下来的含镉量较高的枝叶。

应避免使用污水污泥。

避免掩埋或焚烧生活垃圾，因为其中可能含有金属，包括镉。掩埋生活垃圾会污染地下水，而焚烧则会造成污染，使挥发性金属进入空气并因而污染土壤。

国家或地方当局应考虑限制在可可种植园附近开展会造成污染的主要工业活动，如有色金属采矿和冶炼、使用金属的工业、皮革鞣制加工、煤炭燃烧和磷肥制造。

4.3 收获后加工阶段（建议中短期采取的做法）

可可豆发酵是产生巧克力风味的一道重要工序。

发酵过程会导致黏液排出，从而提升可可豆的香气和风味，并降低酸度。有研究表明，黏液排出的过程耗时达12、24或36小时不等，这一过程会降低镉浓度而不会影响可可的感官品质。

建议确保可可豆在发酵过程中不被干燥设备、车辆或工业排放所产生的烟气污染。

酿酒酵母是一种酵母菌株，会在可可豆的发酵过程中吸收镉。因此，实验研究显示，增加发酵过程中酿酒酵母的浓度有助于减少可可豆的镉含量。

发酵结束后，应将可可豆铺在干净的固体表面干燥，避免其受土壤污染。

贮存期间，应防止可可豆因燃料、废气或烟雾泄漏而受到污染。

4.4 运输阶段（建议）

建议在可可豆的运输过程中采用下列良好做法：

- 覆盖装卸区以避免雨淋；
- 确保车辆保养良好，并彻底清洁；
- 确保防水布/覆盖物清洁无损；
- 确保集装箱未用于盛放化学品或有毒物质，并保养良好和清洁卫生；
- 尽可能使用通风集装箱和硬纸板/牛皮纸衬里，确保湿度处于最低水平；
- 如果是袋装可可豆，应小心装袋，并盖上能吸收冷凝水的材料；
- 如果是散装可可豆，应尽可能使用可密封的塑料衬垫，并确保与集装箱顶部保持距离；
- 确保集装箱的通气孔没被堵塞；
- 尽可能确保可可豆处于恒定的温度下，并远离有毒物质存放。

注释

¹ 粮农组织和世卫组织。2001。《减少食品化学物污染源头的措施行为守则》。第 CXC 49-2001 号法典操作规范。食品法典委员会。罗马。