

코코아빈에서의 카드뮴 예방 및 저감화 실행규범 초안

토의문서

전자작업반 의장: 페루

- Step 3에 의견 개진 요청 -

1. 개요

1. 이 실행규범은 생산, 수확, 가공(발효, 건조, 저장)기간 중 코코아 콩에서의 카드뮴을 예방 혹은 저감화에 대한 지침을 회원국과 코코아 생산 산업에 제공하는 것임.
2. 카드뮴은 광석가공, 연료 연소, 폐기물 등 인공적인 활동과 인산염 및 하수 함유 비료를 통해 주로 환경에 유입됨, 또한 화산활동에 의해 혹은 해양의 세일토양, 해수염 에어로졸에 의해 자연적으로 토양에 유입.
3. 카드뮴은 토양에서 독성이 있고 지속적(토양 내 카드뮴의 추정 반감기는 15년에서 1,100년까지 다양함). 코코아 나무에 의해 카드뮴이 흡수되고 생물에 축적되며, 경우에 따라 코코아빈에서 허용할 수 없을 정도로 높은 수치가 야기되므로, 토양 내 카드뮴 흡수를 감소, 예방하기 위한 조치가 필요함
4. 순수 카드뮴은 자연에서 찾을 수 없음. 가장 일반적인 산화상태는 +2이며, '양이온 교환 용량' 을 통해 일반적으로 철, 아연, 납, 인, 마그네슘, 칼슘 또는 구리와 연관됨. 토양 용액의 카드뮴 농도는 주로 토양 pH에 의존하며, 이는 카드뮴 용해성과 이동성에 영향을 미침. 토양에 있는 대부분의 금속은 산성 pH에서 더 많이 존재하는 경향이 있는데 이것은 식물의 가용성을 증가시킴.
5. 토양에서 오염물질의 이동성이 감소하고 결과적으로 환경적 영향이 감소된다는 점을 고려하면 토양 표면 입자의 카드뮴 흡착을 더 크게 하는 것이 바람직함. 그 결과 토양용액의 카드뮴과 생물학적 가용성, 이동성은 주로 토양 콜로이드 표면의 흡착 및 탈착반응에 의해 제어됨. 중금속 축적 및 가용성에 영향을 미치는 토양요인은 pH, 텍스처, 유기물, 철 또는 망간 산화물, 수산화물, 탄산염, 양이온 교환용량 등이 있음.
6. 토양에 함유된 염화물 함량은 염화복합체 형성을 강화하는 경향이 있는데 이는 침전물에 대한 카드뮴 흡착을 감소시켜 카드뮴 이동성을 증가시키고 용해된 2가 카드뮴 농도와 생물학적 가용성을 감소시킴.
7. 다양한 재배 조건이 코코아빈의 카드뮴 오염에 영향을 미치는 것에 대한 이해는 코코아빈의 카드뮴 관리를 위한 통합 시스템 개발에 사용될 수 있음.
8. 카드뮴 축적이 낮은 품종의 접목은 다양한 토양과 다른 카드뮴 수준에서 적용할 만한 방법임.
9. 한 국가에서 카드뮴 문제를 식별하고, 각 영역에서의 카드뮴 근원을 파악하고, 이 문제를 해결하기 위한 구체적이고 일반적인 전략을 개발하는 것이 중요함.

2. 범위

10. 본 실행 규범의 범위는 수확 및 수확 후 단계를 통해 재배 전 혹은 새로운 재배지 및 생산단계 동안 코코아빈의 카드뮴 오염을 예방하고 저감하기 위한 권장 실천요강에 대한 지침을 제공하는 것임.

3. 정의

- 코코아빈: 코코아 과육의 씨앗부분이며 외종피, 배아, 자엽으로 구성됨
- 코코아각지: 잘 익은 과육의 표피

- 외종피 혹은 외피: 씨앗을 말릴 때, 껍데기라고도 불리며 씨앗을 보호하는 막. 구성하는 두 층 중에서 가장 바깥쪽을 테스타(Testa)라고 함.
- 펄프 혹은 점액질: 씨앗이 박혀있는 산성 점액질 액체
- 과육의 수확 및 손질: 과육은 손으로 수확하고 낫·마चे트 또는 나무봉을 열게 됨
- 해수염 에어로졸: 해양지역에 걸쳐 가장 널리존재하는 에어로졸, 에어로졸은 지구 시스템의 복사력을 결정하는 주요 구성 요소 중 하나임. 광범위한 측정결과 백파(white-cap)의 파열과 쇄파와 관련된 프로세스는 주로 해수염 에어로졸을 발생시킴. 1차 해양 에어로졸 특면에서 10nm크기가 되는 해양비말입자의 상당한 유동을 확인했고, 풍속과 마찬가지로 해수면의 온도도 물리적 해양비말에 영향을 미침. 2차 해양 에어로졸 형성 측면에서 중요한 발전은, 적어도 성장에 기여하는 지배적인 종으로 간주되는 요오드 산화물이 입자 생성과 성장을 이끄는 해안 지역에서 산화이소프렌과 황산이 될 수 있음.
- 생물학적 개선: 미생물을 사용하여 환경오염이 있는 물질을 독성이 감소되도록 분해하는 것.
- 식물을 이용한 개선: 다양한 종의 식물을 사용하여 토양과 지하수의 오염물질을 제거, 이동, 안정화, 파괴하는 생물학적 개선법
- 공기분사: 직접적인 생산·소비·축적의 결과로서 대기 중에 가스 혹은 입자로 방출되는 원치 않는 물질
- 추적성: 기록을 이용하여 생산, 가공, 유통과 같은 특정단계에서 식품의 이동을 추적하는 능력
- 생물학적 이용성: 영양학적인 미네랄의 생물학적 이용성은 정상적인 대사와 생리학적 과정에 대한 접근성으로 정의됨. 지표수와 지하수, 침전물 및 공기에서 금속의 생물학적 가용성은 금속의 총 농도 및 사양(물리적, 화학적 형태), 광물학, pH, 산화환원저위, 온도, 총 유기물함량(미립자 및 용존 분률), 부유입자함량 및 물 관련된 부분(수량, 수속, 수분이용기간, 건조 혹은 반건조 환경)을 포함한 많은 요인의 복합적인 기능임. 게다가 바람에 의한 이동과 강우로 인해 대기로부터 제거 되는 것(양보다 빈도가 중요)은 반드시 고려되어야 함. 요인 중 많은 것들이 계절적으로 혹은 시기적으로 다양하며 연관되어 있음
- 지반 이용성: 지구 물질의 원소 혹은 화학적 물질의 지반이용성이란 기계적, 화학적 혹은 자연적으로 생물학적 과정에 의해 표면 또는 표면 근처(또는 생물권)에 방출될 수 있는 총 함량의 일부분임
- 흡착, 흡수 및 탈착: 물리적, 화학적 또는 교환흡착은 한 부분이 다른 부분에 속하는 이온, 원자 또는 분자의 표면에 만드는 끌어당김과 유지를 가르키는 개념. 흡수란 몸을 통과하는 복사가 있기 전에 몸이 상쇄시키려고 하는 것; 분자가 물질 속으로 침투할 목적으로 액체 위에 발달한 고체의 끌어당김/탈착은 흡수되거나 흡착된 물질을 제거하는 과정
- 양이온 교환 용량(CEC): 양전하를 띤 이온을 지탱하는 토양의 능력을 측정하는 지표. 토양 구조 안정성, 영양소 가용성, 토양 pH, 그리고 비료와 다른 개선제에 대한 토양의 반응에 영향을 미치는 매우 중요한 토양 특성. 토양의 점토광물 및 유기물 구성요소는 표면에 음전하를 띤 곳이 있으며, 이 부위는 정전기적 인력에 의해 양극을 띤 이온을 흡착하고 고정시킴. 많은 영양소가 양이온(Mg, K, Ca)으로 존재하기 때문에 이 전하는 식물의 영양소 공급에 중요함
- 산화반응: 산화와 환원 반응은 동시에 일어나며, 한 원자가 전자를 잃고 다른 원자가 전자를 얻음으로 산화반응이 종결되기 때문에 두 반응은 분리되어 일어나지 못함
- 복합체형성 반응: 복합체를 형성하는 반응. 양이온과 하나이상의 음이온 사이의 반응은 토양에서 매우 중요한 반응임. 금속복합체는 흡수, 강수, 심지어는 산화반응에 참여할 가능성이 적은 안정적인 물질임.
- 전기 전도성: 금속에서 전기전도성은 전기적으로 전하를 띤 입자의 이동으로 인한 결과임. 금속 원소의 원자는 자유롭게 움직일 수 있는 원자의 바깥쪽 껍질에 존재하는 전자의 존재로 결정됨. 또한 기호는 σ 로 표시되며, 미터당 시멘의 SI단위(S/m)이 있음. 물의 전기 전도성은 염분이 없거나, 이온이 없거나, 불순물이 없는 정도를 나타내는 지표로 사용, 순수한 물에

가까울수록 전도성이 낮음(저항도가 높을수록). 물에서 전도성 측정은 종종 25°C 물의 전도성에 비례하여 특정 전도성으로 표기됨

- **건조공정:** 코코아빈을 보관하기 위해 햇빛아래 또는 기계/태양 건조기(또는 둘 모두의 조합)에서 건조시킴
- **발효:** 과육을 분해하고 농장의 환경에 의해 내재된 효소와 미생물에 의해 떡잎의 생화학적 변화를 시작하도록 고안된 과정
- **토양 수정:** 물리적, 화학적 특성을 개선하기 위해 토양에 첨가된 모든 물질을 일컬음. 수정의 적용은 토양의 특성에 따라 다름. 이 COP의 정교화를 위해 연구에서 보고된 수정사항은 다음과 같음 ▶ 퇴비(유기체 및 유익한 미생물에 의해 유기 폐기물이 분해될 때 인공적인 방법으로 얻은 부식토), 탄산마그네슘, 발효찌꺼기(설탕에서 알코올을 생산한 부산물), 제올라이트(가수 혹은 탈수기능, 흡착제); 숯 혹은 바이오숯, 황산칼슘, 라임, 카차자(사탕수수의 부산물), 황산아연, 돌로마이트(탄산칼슘과 마그네슘), 지렁이분 퇴비, 사탕수수, 종려핵박, 인회암, 유기물질 등
- **검증:** 통제수단 혹은 통제수단의 결합이 적절히 구현된 경우, 특정 결과에 대한 위험을 통제할 수 있는 증거가 됨
- **샘플링:** 샘플을 그리거나 구성하는데 사용되는 절차. 경험적 또는 시간적 샘플링 절차이며, 이는 검사된 로트를 결정하는데 사용하는 통계기반 절차는 아님.
- **유기농업:** 생물다양성, 생물주기, 토양생물활동 등의 농업생태계의 건강함을 촉진하고 향상시키는 총체적인 생산관리 시스템. 지역적 조건에는 현지에서 조율한 시스템이 필요하다는 점을 고려하여 농장지 외적 요소보다 관리관행을 선호하며, 이는 합성 물질을 사용하는 것과 달리, 가능한 한 문화적·생물학적·기계적인 방법을 사용하여 이루어짐. 유기생산시스템은 다음을 위해 설계됨:
 - a) 전체 시스템 내에서 생물학적 다양성을 향상시킴
 - b) 토양 생물학적 활동을 증가시킴
 - c) 장기적인 토양 비옥도 유지
 - d) 땅에 영양분을 반환하기 위해 식물 및 동물 유해 폐기물을 재활용하여 비재생자원의 사용을 최소화
 - e) 지역적으로 조직된 농업 시스템의 재생 가능한 자원에 의존
 - f) 토양, 물 및 공기의 건강한 사용을 촉진하고, 농업에서 발생할 수 있는 모든 형태의 오염을 최소화
 - g) 모든 단계에서 제품의 유기적 온전성과 필수적 품질 유지를 위해 세심한 처리방법에 중점을 두고 농산물 취급
 - h) 전환 기간을 통해 기존 농장에 설립되며, 그 적절한 길이는 토지의 역사와 생산할 농작물과 가축의 유형과 같은 현장 요인에 의해 결정
- **가지치기:** 건조하거나 병들거나 균형이 맞지 않는 나뭇가지나 그늘지게 하는 나뭇가지를 잘라냄
- **그늘:** 농작물에 도달하는 복사의 양을 줄이고, 바람으로부터 농작물을 보호하기 위해 코코아 재배. 그들은 보통 식물이 자라서부터 4년 동안 50% 정도이며, 이후 그들의 비율은 25% 혹은 30%로 감소할 수 있음

4. 코코아빈의 카드뮴 오염 방지 및 감소를 위한 권장 사례

4.1 파종 전 오염 - 새로운 재배지

11. 코코아에서 카드뮴의 예방과 감소는 토양의 물리적, 화학적 분석에서 시작되어야 하며 새로운 농장에 파종하거나 만들어지기 전에 필수적인 부분이 되어야 함.
12. 예방 차원에서, 새로운 재배지를 만들 때, 코코아 재배지로 카드뮴이 적은 곳에 위치를 정해야 하며 토양의 카드뮴 함량은 1.4 mg/kg를 초과하지 않아야 함. 또한 관개용수의 카드뮴 함량은 0.005 mg/L를 넘지 않아야 함.
13. 그들이 없는 곳에서는 코코아 단일재배 대신, 여러 가지 종류의 코코아와 각 생태환경에 따라 다른 종류의 그들이 있는 혼합 재배지(혼농임업) 사용 권장
14. 일시적인 그늘 생성을 위해 많이 사용되는 좋은 musaceae (bananas, moles and cambures), 영구적인 그늘 생성을 위해서는 pore or bucare (Erythrina sp.), guabas (Ingas)가 있음. 다른

- 코코아 재배지에서는 목재종(laurel, cedar, cenizaro or rain tree and terminalia), 또는 과일나무(citrus, avocado, sapote, breadfruit, date palm 등)과 같은 경제적 이점을 제공하는 종들이 이용되고 있음.
15. 도로와 멀리 떨어진 곳에 재배지를 두거나, 카드뮴이 포함될 수 있기 때문에 차량 연소 시 발생하는 가스에 대한 농장의 노출을 줄이는 조치를 취함(카카오 농장과 200m 떨어져야 함). 마찬가지로 도시나 광신지역의 쓰레기장과 분리된 곳에 위치해야 함.
 16. 카드뮴 공급원이 될 수 있는 침수된 토양을 피해야 함
 17. 새로운 농장의 경우, 다년생 콩과식물의 간작을 고려해야 함. 간작은 토양 유기물질을 개선하고 토양침식으로부터 토양을 보호하고 영양분의 손실을 줄일 수 있으며, 필수 영양소의 가용성을 높이고 중금속의 생물학적 가용성을 낮춤.

4.2 생산부터 수확 단계까지

18. 토양 내 카드뮴의 출처와 분포에 대한 지식은 중요함.
19. 데이터는 토양에서 높은 수준의 카드뮴과 식물조직 및 코코아빈에서 높은 수준의 카드뮴 사이에는 상관관계가 있음을 시사함.
20. 코코아 농장을 위한 토양 특성 분석 실험실은 세계적으로 인정된 ISO/IEC 17025:2018 표준으로 인가된 실험실에서 인증된기준물질, 표준 및 관련 불확실성을 포함하는 검증된 방법을 사용하여 수행해야 함. 또한 국제적으로 인정된 방법(예: Codex Alimentarius에 의해 승인됨)을 사용하여 토양분석을 수행하는 것이 매우 중요함.
21. 토양 샘플링 프로토콜은 대표 샘플을 얻는 것을 고려해야 함. 왜냐하면 카드뮴 함량은 코코아 농장의 동일한 생산지역(finca o chacra, 농장의 스페인 이름)에서 가변적일수 있기 때문.
22. 염화물과 함께 식물에 의한 카드뮴의 흡수가 증가하기 때문에 토양과 관개수 염도의 측정은 필수적임. 따라서 2mS/cm미만이어야 하는 토양과 물의 전기 전도도를 측정하는 것이 중요함.

4.2.1 토양 속 카드뮴 고정화 전략

23. 아연은 코코아빈의 카드뮴 함량을 줄이는 긍정적인 효과를 가지고 있음. 황산아연의 적용은 매년 코코아 재배지에 수행되는 비옥화 과정에서 동반되며 이는 작물 및 토양의 요건에 따라 이루어짐. 하지만 황산아연이 추가되면서 석회암을 추가해야하는 토양산성화가 발생됨
24. 토양에 아연이 부족할 때, 토양에 아연농도를 증가시켜야 함. 카드뮴과 아연은 경쟁하는 관계이며, 아연이 토양에서 적게 있을 때 코코아빈에서 카드뮴 축적이 증가되는 경향이 있음.
25. 석회화는 고산성의 토양에서 재배된 코코아 나무의 카드뮴 흡수를 감소시키는 작물학적 방법이며 그것은 코코아 나무의 영양과 생산성을 향상시킬 수도 있음.
26. 지금까지 카드뮴의 생물학적 가용성을 줄이기 위해 개발된 가장 효과적인 방법은 토양 pH가 5.5미만 일때 토양을 석회화하는 것임. pH를 1씩 증가시키면 코코아빈의 카드뮴이 1/10정도로 감소함.
27. 소량의 석회(예: 2 to 3 MT dolomite/ha)를 도포해서 pH를 점진적으로 증가시키고, 코코아의 성장에 필수적인 칼슘과 마그네슘을 통합하며, 카드뮴을 석출시킴. 단 과한 석회화는 피해야 함.
28. 토양 유기물의 양이 많을수록 카드뮴흡수가 낮아짐. 안정된 가축, 퇴비등의 처리된 거름과 같은 유기비료의 사용은 토양의 유기물 함량을 증가시키고, 미생물학적 활동을 향상시킴. 코코아농장에서 유기물의 3%~4%를 적용하면 코코아빈의 카드뮴이 감소함.
29. 인산염 비료와 퇴적인산염은 보통 불순물로 카드뮴을 가지고 있기 때문 그것의 사용은 화학적 분석 후에 이루어져야 함. 그럼에도 불구하고 성공적인 코코아빈 생산을 위해서는 열대 토양이 원래부터 가지고 있는 인 함량이 매우 제한적이기 때문에 인산염 비료첨가는 필수적임. 그러나 인산염 비료에 함유된 카드뮴의 절대 농도를 고려함. 생산자와 정부는

인산염 비료의 사용을 관리해야 함.

30. 일반적으로 코코아 작물에 적용될 비료의 질소, 인 칼륨(NPK)의 정량에 대한 것은 식물의 나이와 토양 특성에 따라 다름. 적용 전 중금속 분석을 확인하여 카드뮴 함량이 낮은지 확인해야 함. 영양분이 잘 공급되는 토양에서는 카드뮴 축적이 적음
31. 탄산마그네슘, 비나세, 제올라이트, 부식토, 숯, 황산칼슘, 카차자, 황산아연을 사용하면 토양의 특성에 따라 코코아빈의 카드뮴농도를 낮추는 데 도움이 될 수 있음.
32. 액체비료로서 비나세의 적용은 카카오 나무 뿌리에 균근을 형성하는 곰팡이의 생성을 촉진하는 칼륨의 원천으로서 인의 효율을 높이고 카드뮴을 고정시킴.
33. 석회와 사탕수수찌꺼기는 토양에서 카드뮴 흐름을 줄일 수 있음. 모래함량이 높은 토양에서는 제올라이트를, 진흙질감의 토양에서는 아파타이트를 적용할 수 있음.
34. 바이오숯은 코코아빈에서 카드뮴의 생물학적 가용성을 감소시키며, 감소율은 석회화 방법과 비슷하며, 석회화에 부가적인 영향을 끼침. 하지만 바이오숯 혹은 활성탄은 비싸다는 단점이 있으며, 코코아빈을 재배하는 농부들에게 비용이 효율적이지 않음
35. 바이오숯, 퇴비 및 이들의 조합은 중금속 오염 토양에서 토양의 물리화학적 특성, 카드뮴 가용성 및 효소활동에 상당한 영향을 미침.
36. 카드뮴의 생물학적 누적도가 낮은 것으로 확인된 유전자형은 토양으로부터 카드뮴의 흡수를 줄이기 위해 번식물질의 생산에 뿌리줄기로 사용될 가능성이 있으나 추가적인 연구가 필요.
37. *Streptomyces* sp. 종은 코코아식물에서 카드뮴 흡수를 감소시키는 생화학적 활동을 함.
38. 카드뮴 내성을 촉진하는 식물성 성장과 함께 결합된 콩과식물은 카드뮴 오염토양의 식물을 이용한 개선에 유용

4.3 수확 후 단계

39. 12시간 동안의 점액질의 배수가 클론 하이브리드(cultivar) CCN-51의 코코아빈에 함유된 카드뮴의 함량을 현저히 감소시켰다는 것을 보여줌. 코코아 열매에서 제거된 점액질의 양은 평가 당시 코코아의 물리적 또는 유기적 질에 영향을 미치지 않음.
40. 발효 후 코코아빈은 토양에 의한 오염을 피하기 위해 깨끗한 곳에서 말려야 함.
41. 코코아빈이 연기에 오염되지 않았는지, 혹은 건조기나 차량에서 나오는 가스로 오염되지 않았는지 확인해야함.
42. 코코아빈의 발효과정은 어느 수출 기관에서든지 코코아빈의 카드뮴 수준을 낮추기 위해 수행해야 하는 가장 중요한 과정임.
43. 보관 중에는 연료, 배기가스, 또는 연기로 인한 코코아빈의 오염을 방지해야 함.
44. 발효과정이 길어질수록(80%), 코코아빈의 카드뮴이 줄어듦. 발효 중에 pH가 충분히 산성화 되면 카드뮴 농도를 줄일 수 있음
45. *Saccharomyces cerevisiae* 종은 코코아 발효에 관여하는 미생물 중 하나이므로, 발효과정에서 개체수를 증가시키면 카드뮴의 흡수와 코코아의 안전성을 향상시킬 수 있음.