

■ (언론 동향) 2022.3.29. “한국농업신문” 보도

○ [기고] 무기질비료 사용감축은 온실기체 저감방안이 될 수 없는 과학적 근거



이상은 환경대학교 명예교수

온실기체에 의한 지구온난화는 전지구인의 상식이 된지 오래고, 온실기체 감축을 위한 자발적노력과 규제가 전 산업분야에 걸쳐 전방위적으로 이루어지고 있다. 우리나라에서 농업분야가 차지하는 온실기체 배출량은 약 3%로 매우 적음에도 불구하고, 정책입안자들에 의해 여러 가지 저감 방안이 제시되고 있는데, 그 중에 무기질비료 사용 감축도 포함되어 있다.

모든 인간활동의 감소는 온실기체의 감축으로 이어지지만, 전 세계가 공감하는 무기질비료가 갖는 식량안보 기능을 훼손시킬 만한 가치가 있는지, 온실기체를 절감하는 동시에 무기질비료를 대체할 수 있는 대체재는 있는지 등을 알아보려면, 과연 무기질비료가 농경지에서 얼마나 온실기체 배출량에 기여하는가를 정량화하는 것이 필요하다.

농경지에서 발생하는 온실기체 중에서는 이산화탄소 (CO₂)와 메탄 (CH₄) 및 아산화질소 (N₂O)가 주요 관심 대상이다. 무기질비료 중에서 이들 온실기체들을 배출할 수 있는 비중은 화학조성으로 볼 때 질소질비료가 유일하다. 질소질비료 중에서는 우리나라에서 가장 많이 사용하는 비중인 요소를 산정대상으로 하였다. 지구온난화지수가 높아서 중요 관심대상인 메탄 (25배)과 아산화질소 (298배)는 담수된 논이나 습지 토양과 같은 환원조건에서 발생하기 때문에, 이 가스들의 배출량 산정은 벼를 재배하는 담수된 논에 요소를 벼 표준시비량 (90kg N/ha)으로 시비하는 조건에서 수행되었다.

정책입안자들은 농경지의 온실기체 저감방법으로 무기질비료 시비량의 일부를 부산물비료로 대체하려는 생각을 가지고 있는 것으로 보인다. 식량안보를 위한 작물생산을 포기하지 않는다면, 작물생육에 가장 중요한 질소 양분을 적절히 식물에 공급하는 것은 필수 사항이다. 무기질비료를 대체하여 작물에게 질소양분을 적절하게 공급할 수 있는 부산물비료의 비중을 숙고해본 결과, 부숙유기질비료 보다는 유기질비료가 더 적당하다고 판단하였다. 왜냐하면 가축분퇴비와 같이 발효과정을 거쳐 안정화된

부숙유기질비료는 질소함량이 낮아서 시용량이 많아지고, 무기화과정이 느려서 작물에 대한 질소공급이 신속하게 이루어지지 않기 때문이다.

반면에 유기질비료는 질소함량이 대개 4% 이상으로 높고, 시용 후 신속하게 무기화되어 질소 양분을 공급하기에 적절하기 때문이다. 유기질비료 중에서는 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 혼합유박을 대상으로 하였다. 농촌진흥청 웹사이트인 '흙토람'의 시비처방 기준에 따르면, 유기질비료는 비료의 특성상 밀거름에 적합하므로 밀거름은 혼합유박으로 대체하고 웃거름은 무기질 질소비료를 시비하는 것으로 되어있으나, 본 기고문에서는 비교의 편의를 위하여 질소 표준시비량 (90kg N/ha)에 맞춰 전량 유기질비료로 사용하는 것을 가정하고 온실기체 배출량을 산정하였다. 최종적으로 요소와 혼합유박 사용에 의한 온실기체 배출량을 비교하였다.

온실기체 배출량 산정방법은 2018년 유엔기후변화협약 제 24차 당사국총회 (UNFCCC COP 24)에서 격년 투명성 보고서(BTR) 산정방법으로 합의한 "2006 IPCC (기후변화 국가 간 협의체) 지침서"를 따랐다. 아산화질소 배출은 직접배출과 휘산(揮散)과 용탈로부터의 두 가지 간접배출로 구분한다. 우선 아산화질소 직접배출량 산정식은 2006 IPCC 지침서 제4권 11장의 식 11.2를 따랐다.

$$N2ODirect-N = FSN * EF1FR \text{ (Eq. 11.2)}$$

여기서 N2ODirect-N은 아산화질소 직접배출량 (kg N2O-N)이고, FSN은 비료로 투입한 질소 성분량 (kg N)이며, EF1FR은 담수된 논토양의 배출계수 (kg N2O-N/kg N)로서 비료로 투입되는 질소 성분량 중에서 아산화질소로 배출되는 질소의 비율이다.

우선 비료로 투입되는 질소 성분량 (FSN)은 벼의 표준시비량인 90kg N/ha으로 요소나 혼합유박이나 동일한 값을 가진다. 다음으로 담수된 논토양의 아산화질소 배출계수 (EF1FR)는 무기질비료와 유기질비료의 배출계수가 따로 나누어져 있지 않으며, 표 11.1에 담수된 논토양의 기본 배출계수가 0.003kg N2O-N/kg N으로 주어진다.

최종적으로 식 11.2에 따라 아산화질소 직접배출량 (N2ODirect-N)은 (90kg N/ha) * (0.003kg N2O-N/kg N) = 0.27kg N2O-N/ha이고, N2O-N을 N2O 분자로 나타내기 위하여 (44/28)을 곱하면 0.42kg N2O/ha가 된다. 이 값은 요소와 혼합유박에서 동일한 값을 가지므로, 두 비종 간에 아산화질소 직접배출량은 차이가 없는 것으로 산정된다.

농정 동향/주요 이슈

2022. 3. 30.(수)

한편 아산화질소 간접배출량은, 첫 번째 대기 휘산(揮散)의 경우, 식 11.11을 이용하는데, 투여량은 두 비종 간에 동일 (질소성분량 90kg N/ha)하고 표 11.3에서 배출계수도 동일 (0.010)한 반면, 같은 표에서 투여량 중 가스형태로 휘산되는 비율은 요소비료 (0.10)와 혼합유박 (0.20)이 다르다. 식에 대입하여 계산하면 요소는 0.14kg N₂O/ha이고 혼합유박은 0.28kg N₂O/ha으로 산정되어, 휘산에 의한 대기로의 아산화질소 배출량이 혼합유박에서 2배 높았다. 두 번째 간접배출 경로로서 수계로 유출된 질소로부터 배출되는 아산화질소의 산정은 식 11.10을 사용하였다. 식에서 질소투입량은 두 비종 간에 동일 (질소성분량 90kg N/ha) 하고, 질소투입량 중 수계로 유출되는 비율도 동일 (0.30)하며, 배출계수도 동일 (0.0075)로 동일하므로 두 비종에서 동일하게 0.32kg N₂O/ha의 값으로 산정되었다.

다음은 요소와 혼합유박 시용 시 배출되는 메탄가스와 요소에서 배출되는 이산화탄소를 산정해야한다. 혼합유박과 달리 요소에서 추가로 이산화탄소 배출을 산정하는 이유는, 요소 ((NH₂)₂CO)는 요소 가수분해효소 (Urease)에 의해 요소 속의 탄소 (C)가 탄산이온 (CO₃²⁻)으로 변하고, 탄산이온은 산성 조건에서 CO₃²⁻ + 2H⁺ → H₂O + CO₂ 가스↑의 평형식에 의하여 이산화탄소를 배출시키기 때문이다.

혼합유박 시용 시 메탄가스 배출량 계산은 5장의 식 5.1과 식 5.2를 사용하였는데, 식 5.2를 계산하기 위하여 표 5.11의 메탄 기본 일(日) 배출계수 (1.30kg CH₄/ha·d)와 표 5.12의 경작 중 간단관개 2회 이상을 위한 보정계수 (0.52) 및 표 5.13의 경작 전 180일 이상 비(非)담수 기간 보정계수 (0.68)를 사용하였다.

이어서 식 5.2에 포함되어 있는 유기물질 시용 보정계수를 구하기 위한 식 5.3을 사용함에 있어, 혼합유박 시용량은 질소함량 4%와 함수율 10%를 고려하여 표준시비량 (N90kg/ha)을 총당할 수 있는 현물량인 2.5톤/ha으로 하였고, 표 5.14의 유기물 종류별 보정계수는 특정 유기물질 종류별로 자세하게 분류되어 있지 않기 때문에, 그나마 유사할 것으로 판단되는 녹비 (green manure)의 값인 0.50을 사용하였다. 벼 재배일수는 「2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서」를 참고하여 137일을 적용하였다. 식 5.1에서 최종적으로 계산된 연간 배출량은 101kg CH₄/ha이었다. 요소의 경우에는 혼합유박의 계산 방법과 동일한 표 5.11의 메탄 기본 일(日) 배출계수 (1.30kg CH₄/ha·d)와 표 5.12의 경작 중 간단관개 2회 이상을 위한 보정계수 (0.52) 및 표 5.13의 경작 전 180일 이상 비(非)담수 기간 보정계수 (0.68)를 사용하지만, 혼합유박과 달리 유기물질 시용 보정계수는 고려하지 않았다. 요소시비에 따른 연간 메탄배출량은 63kg CH₄/ha으로 혼합유박에 비해 훨씬 적었다. 이는 요소 분자

농정 동향/주요 이슈

2022. 3. 30.(수)

가 메탄을 발생시키는 유기물질을 포함하지 않기 때문으로, 당연한 결과이다.

요소 시비에 의한 연간 이산화탄소 배출량 산정은 11장의 식 11.13을 이용하였다. 요소의 연간 투입량이 0.2톤/ha·년이고, 배출계수가 요소 중 탄소함유 비율인 0.2이므로, 식 11.13에 따라 CO₂-C 배출량은 0.2톤/ha·년 * 0.2 = 0.04톤 C/ha·년으로 0.04톤 C/ha·년이다. 탄소 (C)를 이산화탄소 (CO₂)로 전환하기 위하여 CO₂분자량/C원자량인 44/12를 곱하면, 이산화탄소 연간 배출량은 0.147톤 CO₂/ha·년으로 147kg CO₂/ha·년으로 산정되었다.

이상의 결과들을 종합하여 논에서 요소비료와 혼합유박비료 사용 시 온실기체 배출량의 차이를 ha당 이산화탄소 당량 (CO₂ eq)으로 계산한 결과, 요소비료는 1,985kg CO₂ eq/ha인 반면 혼합유박에서는 2,838kg CO₂ eq/ha로, 요소대신 혼합유박을 질소 양분 대체재로 사용할 경우 온실기체 배출량이 1.43배 증가하는 것으로 산정되었다. 단, 이는 온실가스 배출 측면에서 접근한 방법이며, 유기질비료 사용에 따른 토양 탄소 축적량은 배제한 결과이다. 가장 큰 차이는 메탄 배출량에서 비롯되었다. 혼합유박에 들어있는 70%의 유기물질 중의 일부는 환원조건의 토양에서 미생물에 의해 유기산으로 발효되고, 이 유기산은 극도의 환원조건에서 메탄균에 의하여 메탄으로 변하게 된다. 반면에 요소 ((NH₂)₂CO)에는 그런 유기물질이 들어있지 않으므로 메탄이 발생될 수 없다. 모든 부산물비료는 유기물질을 함유하고 있기 때문에 양의 차이만 있을 뿐 메탄 배출을 피할 수는 없다.

결론적으로 현재까지 식량안보를 담보하면서 온실기체 배출량의 증가없이 무기질 질소비료를 대체할 수 있는 퇴비나 유기질비료 등 부산물비료 비중은 존재하지 않는 것으로 보인다. 그러므로 온실기체를 줄이는 방안으로 대체재도 없이 무기질비료를 감축하겠다는 정책은 과학적인 논리에 맞지 않으므로, 재고되어야 한다.