

생물의 개선 : 탄소와 질소의 비에 관한 「키 · 넘버」

- 고품질 · 다수확 · 지속적 농업을 위한 다섯가지의 「키 · 넘버」(IV) -

글 ... 武田 健 / (주)AML농업경영연구소장
역 ... 송 재 득 / 한국고품질사과연구회장

C/N비 15~20의 퇴비로 뿌리와 미생물의 최적 환경을 만든다

퇴비자체가 양분을 갖고있다. 그러므로 그 투입은 물리성을 개선하는 동시에 건전한 뿌리가 자라고 또한 토양 미생물이나 지렁이 등 토양동물의 활동이 왕성하게 되는 양분환경을 만들어 내지 않으면 안된다. 그 환경을 좌우하는 것이 토양중의 탄소함량과 질소함량 및 탄소와 질소의 비율 = C/N비(탄소율)이다. 따라서 흙에 주는 퇴비의 탄소 · 질소함량과 C/N비가 중요하다.

탄소와 질소의 「균형」으로 토양환경이 대변동

퇴비소재에 따라, 탄소 · 질소의 함량과 C/N비는 크게 달라진다(표 1). 볏짚이나 왕겨는 탄소가 많고, 질소가 적기 때문에 C/N비가 높다. 가축분은 우분, 돈분, 계분 등은 질소함량이 많아 C/N비 낮다. 또한 같은 톱밥이라도 목재의 C/N비는 참나무500 정도에서 왕겨 등의 1000이상까지 많은 차이가 있다(표 2). 이러한 재료의 탄소 · 질소의 특성을 생각하지 않고 유기물 투입을 하면 토양은 크게 혼란스러워 진다.

C/N비가 높은 볏짚이나 왕겨를 그대로 넣으면

토양 미생물은 그 유기물을 먹이로 하여 증식할 때, 유기물에서는 모자라는 질소를 토양에서 취하여 사용하기 때문에 작물에 있어서는 질소기아가 일어난다. 반대로 가축분 특히 계분과 같은 C/N비가 낮은 것을 시비하면 탄소부족, 질소과잉으로 되어 뿌리가 타서 썩어버리고, 또한 특정의 병원성 미생물이 증식한다. 옛날에는 탄소가 많고 질소가 적은 볏짚 등에 오줌 또는 석회질소를 섞어서 쌓아 놓아 질소를 보급하였다. 오늘날에는 질소가 많고 탄소가 적은 가축분에는 톱밥이나 「마크」등을 넣어 탄소를 보급하여 발효시키고 있지만, 그 C/N비에는 명확한 목표수치가 있는 것이다.

탄소 15~20대, 질소 1의 퇴비가 최고품

이제까지 많은 실험과 밭 재배시험에서 뿌리에 있어서 또는 토양 미생물에 있어서 가장 바람직한 환경을 만들어 내는데는 C/N비 15~20, 질소함량 1.0%(현물)의 퇴비인 것을 확인하고 있다. 이것이 퇴비로서 흙의 「블랙 박스」의 문을 여는 제3의 「키 · 넘버」이다. 앞서 서술한 바와 같이 제2의 「키 · 넘버」인 가비중이 0.2이고 동시에 이 제3의 키넘버를 가진 신퇴비를 사용하여 흙의 가비중 1.0이 되도록 투입하면 퇴비에 의한 토양 개량은 거의 성공했다고 해도 좋다.



표 1. 퇴비원료의 성분(수분을 제외한 乾物 %)

재료명	수분	석회	고토	칼리	인산	질소	탄소	C/N비	
가축분뇨	우분	약80	1.5-2.0	0.5-1.0	1.5-2.0	2.0-2.5	2.0-2.5	40-45	15-20
	돈분	약70	4.0-5.0	1.0-1.5	1.5-2.0	5.0-6.0	3.0-4.0	40-45	10-15
	계분	약65	10.-15.	1.0-1.5	3.0-4.0	6.0-7.0	5.0-6.0	35-40	6-10
	우노(現物)		0.0	0.0	1.0-2.0	0.1	0.5-0.7		
	돈노(現物)		0.0	0.0	0.5-1.0	0.1	0.3-0.5		
짚류	벼짚	약10	0.5	0.2	2.0-2.5	0.2-0.5	0.5-1.0	35-40	50-60
	보릿짚	약10	0.5	0.2	2.0-2.5	0.1-0.3	0.5-1.0	40-45	60-70
	왕겨	약10	1.0	0.1	0.5	0.1-0.3	0.3-0.5	35-40	70-80
야채폐기물	무잎	약90	5.0-7.0	0.3-0.5	5.0-6.0	0.8-1.0	5.0-6.0	40-45	8-10
	양배추	약90	1.5-2.0	0.2-0.3	5.0-6.0	1.0-1.5	5.0-6.0	40-45	8-10
	배추	약90	5.0-6.0	0.7-1.0	5.0-6.5	1.5-2.0	3.0-4.0	40-50	10-15
	감자줄기	약70	4.5-5.0	0.3-0.5	0.7-0.9	1.0-1.5	2.0-3.0	40-45	10-15
	옥수수줄기	약70	2.5-3.0	0.7-1.0	1.5-2.0	1.0-1.5	3.5-4.0	40-50	10-15
野草類	이달리안	약80	1.0-1.2	0.5-0.7	4.0-5.0	0.5-1.0	2.0-3.0	45-50	20-30
	클라버	약90	2.0-2.5	0.7-1.0	4.0-5.0	0.5-1.0	3.0-4.0	45-50	10-15
	자운영	약90	2.0-2.5	0.7-1.0	2.0-3.0	0.5-1.0	3.0-4.0	45-50	10-15
樹木類	삼나무잎	약60	0.3-0.5	0.2-0.5	0.1-0.2	0.1-0.2	1.0-1.5	45-50	40-50
	솔잎	약60	1.0-1.5	0.2-0.5	0.3-0.5	0.1-0.2	0.5-1.0	45-50	50-60
	樹皮	약30	2.0-2.5	0.1-2.0	3.0-4.0	0.1-0.2	0.0-0.1	45-50	500-
	톱밥	약10	0.3-0.5	0.1-0.2	0.1-0.2	0.0-0.1	0.0-0.1	45-50	500-
식물성식품	미강	약15			1.5-2.0	4.0-5.0	2.0-3.0	45-50	20-25
	유채유찌꺼기	약10			1.5-2.0	2.0-3.0	5.5-6.5	45-50	7-10
	대두유찌꺼기	약10			2.0-2.5	1.5-2.0	7.0-8.0	45-50	6-8
	맥주찌꺼기	약75			0.1	1.5-2.0	4.0-5.0	45-50	8-10
	된장찌꺼기	약40			0.5-1.0	0.5-1.0	5.0-6.0	45-50	6-8
	커피찌꺼기	약75			0.1	0.1	2.5-3.0	45-50	15-20
동물성식품	비지	약75	0.5-0.7	0.2-0.4	1.0-1.5	1.0-1.2	4.0-5.0	50	10-12
	생산찌꺼기	약10				8.0-10.	8.0-9.0	45-50	6-8
	정육찌꺼기	약10				2.0-2.5	8.0-9.0	45-50	6-8
	골분	약5				10.0-12	6.5-7.0	35-40	6-8
가축내장	약20			0.5-1.0	0.5-1.0	8.0-9.0	45-50	6-8	

C/N비로 크게 변하는 뿌리와 근모

그림 10은 C/N비 및 질소함량이 다른 양질퇴비·건조계분, 퇴비화 도중의 톱밥 등으로 발아시험을 한 것이다. 질소함량이 1.0에 가깝고 C/N비가 대략 20인 양질퇴비는 뿌리의 선단부 근처에 근모가 깨끗하게 발생하고 있다. 이것이 건전하고

양성한 뿌리이다. 건조계분은 질소가 많고 C/N비가 낮다, 이 때문에 농도 장애로 뿌리 썩음이 일어나고 있다. 발효도중의 것은 C/N비는 20정도로 되어 있지만 질소함량이 적기 때문에 뿌리가 구부러져 자랐고 근모도 적다. 톱밥의 경우는 C/N비가 매우 높고 명백한 질소 기아로 근모의 발생은 거의 보이지 않는다.

표 2 수중에 의한 C/N비의 차이

수 중	탄소	수소	질소	회분	C/N
왕 겨	50.36	5.92	0.05	0.28	1,007
가 문 비	50.31	6.20	0.04	0.37	1,258
참 나 무	49.01	6.11	0.09	0.54	545
자 작 나 무	48.88	6.06	0.10	0.29	490
줄 참 나 무	50.16	6.02	-	0.37	-
물 푸 레 나 무	49.18	6.27	-	0.57	-
시 데	48.99	6.20	-	0.50	-

표 3 기준분비비의 품질기준

품질표시에 필요한 기준항목	
기준항목	기준치
유기물	乾物당 60%이상
탄소-질소비(C/N비)	30이하
질소(N) 전량	乾物당 1%이상
인산(P2O2) 전량	乾物당 1%이상
칼리(K2O) 전량	乾物당 1%이상
품질표시에 필요치 않은 기준항목	
수분	現物당 70%이하
전기전도율(EC)	現物에 대해 5mS/cm이하
주기 1) 본 비료의 제조에는 3개월이상 수회 반복해서 퇴비화를 수행하는 것이 바람직함.	

※ 중앙축산회 퇴비화시설설계 매뉴얼

퇴비의 발아시험에서는 근모를 잘 관찰

퇴비의 품질기준에서도 발아시험을 실시할 것을 권장하고 있다. 그것은 「폐놀」성 산이나 휘발성 지방산 등의 발아 저해물질의 유무나 고 EC(전기전도도) 등의 농도장해를 조사하는 것이 주된 목적이다. 여기서의 신퇴비 만들기는 퇴비를 10~20배의 물에 넣어 60℃의 온도로 3시간 추출하여 그 추출액을 「샤레」(실험용 접시)에 넣고 종자를 심어 발아율을 조사, 뿌리와 근모의 상태를 현미경으로 관찰한다. 이것을 원재료의 조합이나, 제조중과 완성시에 꼭 실시한다. 그러면 그림 10의 경우보다도 더 미묘한 C/N비와 질소함량에 반응하여, 근모의 수나 길이, 구부러짐 등의 차이가 보인다.

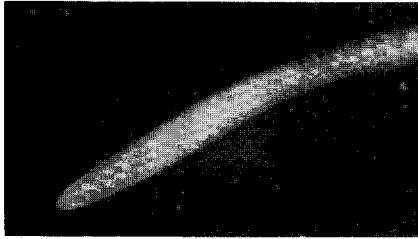
뿌리가 구부러지고, 근모가 길고 잔털이 적고, 또는 뿌리가 딱 부러지는 것은 발아는 하고 있지만, 퇴비로서 토양속에 넣는 것은 적합치 않다. 근모가 꼭 바로 적당한 길이로 깨끗하게 나와있는 것만이 퇴비로서 합격품이다. 이러한 뿌리와 근모를 만드는 퇴비가 C/N비 15~20, 질소함량 1.0%의 퇴비인 것이다.

지렁이 번식의 최적환경은 C/N비 15~20

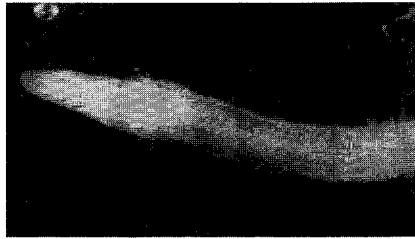
이 C/N비는 흙속의 미생물이나 미소동물, 지렁이가 가장 잘 활동하는 환경이다. 지렁이가 잘 번식하고 있는 흙은 부드럽고 좋은 흙이라고 말하고 있다. 지렁이가 흙을 먹고 배설하는 것으로 흙의 團粒구조가 잘 발달하기 때문이다. 지렁이가 증식하는 환경이란, 먹이가 풍부하여 결국 미생물군이 풍부하게 있다는 것으로 그런 환경이란 탄소와 질소의 균형이 되었을 때이다.

그 경우 중요한 것은 지렁이가 활동하기 전에는 점박이응애 다음으로 자활선충이 활동한다는 것이다(그림 11). 흙의 물리성의 조건은 대소의 공극을 가진 가비중 1.0정도의 흙으로서 C/N비를 이 근처까지 접근시켜주면 먼저 점박이 응애가 번식한다. 점박이 응애는 입끝부분이 하늘가재나 하늘소같은 모양을 하고 있어, 이것으로 열심히 유기물을 먹으면서 잘게 분해해준다. 그래서 이 점박이응애의 증식이 피크를 넘어서면 자활성선충이 활약한다. 이 선충은 토양중의 세균등을 먹고 증식하면서, 흙을 부드럽게하고, 뿌리가 퍼져나가기 쉬운 환경을 만들어주며 미생물이 더욱 불어나기 쉬운 환경을 만들어 준다.

자활성 선충의 배설물이나 사체는 부식물질로 되어 점토입자에 점성을 갖게하여 團粒화를 진행시킴과 동시에 점보부식 복합체라는 양분 보유력이 높은 토양을 만드는데 유효하게 작용하는 것이 중요하다.



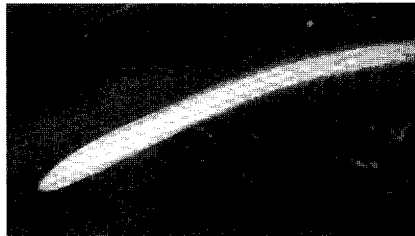
발효도중의 퇴비 - 뿌리가 굵어지고 근모가 적음



양질퇴비 - 근모가 짙고 뾰족함



생톱밥 - 근모가 전혀없음

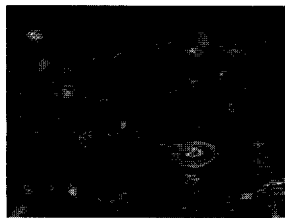


건조계분 - 뿌리가 썩어있음

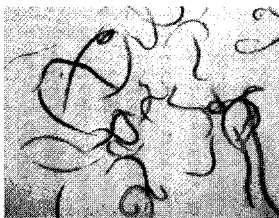
	양질퇴비	건조계분	발효도중의 퇴비	생톱밥
탄소(%)	19.9	14.4	12.5	36.9
질소(%)	1.1	2.37	0.42	0.11
C/N비	18.1	6.1	29.8	333

※주: 양질퇴비와 발효도중의 퇴비의 소재는 다르다

그림 10. 퇴비의 C/N비와 뿌리, 근모의 상태



점박이 응애



자활성 선충

그림 11. C/N비 15~20에서 잘 활동하는 점박이응애, 자활성 선충



배추의 근혹병



뿌리상처에 붙은 뿌리혹선충

그림 12. C/N비 떨어지면 급히 발생하는 근혹병, 근혹선충

자활성 선충의 다음으로 C/N비가 15~20이라는 조건에서 지렁이가 나타나서 왕성하게 활동하여 더욱더 團粒화를 진행시킨다는 이유다.

탄소부족, 저 C/N비로 토양병해가 다발

C/N비 15~20의 퇴비 투입에 의해 이와 같은 토양 환경을 만들어 놓으면, 토양병해는 발생하지 않는다. 뿌리혹병이나, 청고병이 어떠한 때 발생하느냐 하면 토양 탄소소가 감소되어 C/N비가 10 이하, 7.5로 점차 작아질 때

발생한다(그림 12). 퇴비를 넣는 것이 귀찮다, 유기물은 비싸서 넣지 못한다 라는 이유로 화학비료 시비를 계속하면 토양 탄소는 점점 줄어간다. 또는 탄소를 충분히 보급하지 않고 만든 C/N비가 낮은 가축분 퇴비를 투입한다. 이와 같은 곳에 기비다, 추비다 하며 질소는 꼭 넣어준다. 질소를 넣어줌에 따라, 토양속에서는 항상 C/N비가 움직이고 있다. 이렇게 하여 C/N비가 저하하면, 토양 병원성 미생물이 비정상적으로 활동하는 환경이 되어버리고 만다.

사상균의 C/N비는 9~10, 세균의 C/N비는 5~6이다. 그래서 이와 같은 C/N비는(그림 10)에서 본 것과 같이 작물의 뿌리에 뿌리 썩음이 일어나고 끊어지기 쉽게된다. 이런 상처가 난 곳에서 즙액이 흘러나오므로, 여기에 病原이되는 세균이나, 사상균

이 찾아들면 어찌할 방법이 없다. 뿌리혹병, 청고 병이나 선충 피해도 이와 같이 되어 발생하게 된다.

미생물에 의한 유기탄소의 이용과 부식의 형성

요는 토양중의 탄소가 부족하기 때문이다. 퇴비 투입의 목적은 물리성을 개선하는 것과 동시에 토양에 탄소를 보급하고 토양 미생물·토양 동물이 밸런스 좋게 활동하는 환경을 만드는 것이다. 이런 목적의 퇴비가 C/N비는 15~20, 질소함유량 1.0의 신퇴비인 것이다.

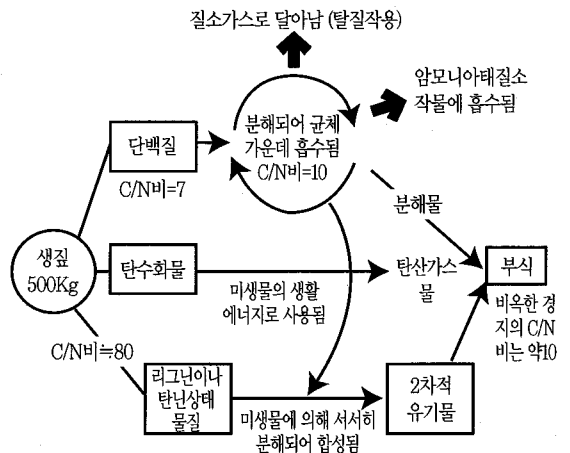
유기물 중의 탄소는 각종의 탄수화물로서 존재하고 있지만 미생물·토양 동물에 의하여 분해, 이용되어 이산화탄소로 되어 대기중에 되돌아 오고, 분해하기 힘든 「리그닌」, 「탄닌」 등의 물질은 토양중에 오래 동안 남아 천천히 미생물에 이용된다. 한편, 유기물 중의 단백질은 미생물에 의해 분해·이용되며 무기질소로 되어 작물에 흡수되며, 일부는 물과 같이 흘러 없어지고 암모니아 가스로 되어 공중으로 날아가게 된다. 그래서 남은 탄수화물, 「리그닌」 등의 분해물도 미생물·토양 동물에 의한 합성물 등이 모여져 토양 부식이 된다.

안정된 부식의 C/N비는 10

이 부식물질이야 말로 점토와 결합하여 「점토부식 복합체」를 형성하여 흙의 양분 보유력을 높이고, 團粒구조를 만들어 뿌리나 미생물·토양 생물의 활동환경을 좋게 한다. 「지력」의 본체인 것이다. 벧짚을 예로 그 탄수화물이나 단백질이 분해·이용되어 부식물질이 되는 과정을 보면 그림 13과

같다. 벧짚의 탄소는 약 40%, 질소는 0.5%로 C/N비는 약 80. 이것이 분해 이용된 결과로 만들어진 부식의 C/N비는 약 10으로 500Kg의 벧짚에서 만들어진 부식은 최대 25Kg 정도로 계산된다.

여기서 중요한 것 하나는 벧짚 500Kg의 탄소는 약 200Kg이지만, 이것이 미생물·토양동물의 영양원으로 되어 그것을 통하여 작물과 미생물·토양생물에 최적한 환경을 만들면서, 멀지 않아서는 1/10이나 그 이하로 감소되고, 유기물의 탄소는 토양 중에서의 손실이 빨라 향시 보충하지 않으면 최적환경의 유지가 어렵게 된다. 또 한가지는 유기물이 분해된 후에 만들어지는 부식의 C/N비가 10이라는 숫자이다. 이것은 자연계에서 유기물이 여러 형태의 미생물·토양동물의 작용을 받아 가장 안전한 상태로 된 것으로 볼 수 있다.



벧짚중의 전탄소 C=40%

벧짚중의 전질소 N=0.5%

C/N비=40/0.5=80

최종적으로 가능한 부식의 C/N비=약10 따라서 생짚 500kg이 분해해서 그중의 전질수가 모두 부식으로 변환한다면

부식생성량=500×0.005×10=25(kg)

그림 13. 짚으로부터 부식이 되는 과정



작물이 가장 힘을 발휘하는 C/N비도 10

그리고 실은 C/N비 10이란 숫자는 저자가 이제 까지 여러가지의 농장실험에서 작물이 가장 힘을 발휘하여 품질이 좋고 다수확되는 상태이다. 앞에서 서술한 바와 같이 작물재배에서 원기나 추비로 질소를 넣기 때문에 토양의 C/N비는 그것에 따라 내려가고 작물에 흡수되며 다시 올라가고 하는 변동을 한다(그림 14). 그 중에서 탄소가 충분히 있는데 시비하여 토양의 질소농도가 높아졌을 때는 C/N비가 10이 되는 상태며, 최고의 성가가 올라간다. 이것에 대하여 토양탄소가 부족한데 질소시비를 하면 C/N비가 7이나 5로되는 밭이 많고 이것이 앞서 본바와 같이 토양병해를 초래하고 있다.

퇴비로 탄소를 충분히 보급하고 화학비료로 C/N비 10정도로

질소는 시비에 의하여 농도를 높일 수가 있다. 그러나 탄소는 위에서 본바와 같이 점점 감소되며 최종적으로 1/10이하로 된다. 탄소가 감소된 상태에서 C/N비 10으로 하는 것으로는 수량이 늘어나지 않는다. 그러므로 정기적으로 톱밥이나, 벚짳을 섞는 완숙퇴비로써 소모되는 탄소를 보급하면서 화학비료의 시비로 C/N비 10 정도의 상태로 하는 것이 가장 바람직하다.

적극적으로 질소를 시비하여 양품, 다수확을 하고자 하면 작기(作期)가 긴 과채류에서는 재배중의 탄소의 소모를 보충하기 위하여 C/N비 15~20, 질소 1.0%의 신퇴비를 1작에 2회시비 함으로써 흙 중의 C/N비가 적정하게 유지된다. 예를들면 정식하기 전에 밭두둑 밑을 파서 도량 시비하고, 도중에 밭두둑의 어깨에 퇴비로 멀칭하는 방법이 유효하다.

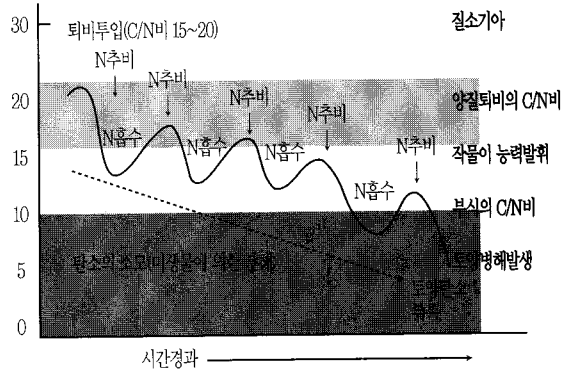


그림 14. 토양중의 C/N비의 변화(모식도)

유기비료의 의미와 한계

현재, 화학비료만으로 재배하면 병충해가 많으며 품질도 좋지 않아 유기질비료를 투입하려는 움직임이 있다. 그것은 화학비료가 탄소를 함유하지 않고 토양의 C/N비를 곧 바로 내려주는데 대하여 유기질비료는 대두유박, 어박 등이 40%가 넘는 탄소를 갖고 있다는 것에 의미가 있다고 하겠다. 이들 유기질 비료의 질소는 7~9%로서 C/N비가 6~8(표 1참조), 대략 유기질비료라고 말하고 있는 것은 C/N비 10 이하의 것이다.

그러나 유기질비료로 토양의 물리성의 개선 즉 가비중 1.0 정도의 흙을 만들기는 극히 곤란하다. 물리성의 개선과 C/N비의 적정화 이것을 동시에 행하는 것이 신퇴비 시용이고, 이것으로 흙만들기를 한 밭에서는 훨씬 재배하기가 쉽고, 또한 경비를 들이지 않고 무농약 감농약 재배, 고품질 생산이 실현된다. 유기질 비료를 사용할 경우에는 퇴비에 의한 흙만들기(물리성의 개선)를 하면서, 퇴비의 C/N비와 유기질비료의 C/N비를 고려한 시비를 행하는 것이 필요하다. ㉞