

철함량이 높은 기능성 엔디브 생산기술개발

서울시립대학교 환경원예학과 이용범, 이주현, 여경환

철은 체내 모든 세포중에 존재하며 시토크롬, 산화효소, 헤모글로빈, 미오글로빈과 같은 효소중에 존재한다. 성인이 하루에 필요로 하는 철의 양은 남자는 10 mg, 여자는 18 mg이며 성인기, 임신기, 수유기등에는 다량의 철이 요구되는데 그렇지 못하면 철분 결핍성 빈혈이 발생한다고 하였다.

그러므로 체내에 일정량의 철분을 유지하기 위해서는 철정제, 철강화된 음식물이나 철흡수를 촉진시키는 식품을 섭취하여 철의 필요량을 섭취해야만 한다. 철은 동·식물성 식품에 널리 함유되어 있으며 간장, 난황, 콩류, 육류, 녹엽채소 등에 많다. 그러나 식품중의 철의 형태는 유기태 화합물과 무기태 화합물로 크게 나누어진다. 유기태 화합물중에서 중요한 것으로는 헤모글로빈과 미오글로빈을 구성하는 heme철이 있으며, 무기태 화합물은 제일철(Fe^{2+}) 화합물과 제이철(Fe^{3+}) 화합물이 있다. 이들 철이 흡수될 때 heme철은 철 porphyrin 그대로 흡수되며, 무기태 화합물은 위액의 HCl에 의하여 용해되어 제일철 만이 흡수된다. 식품중의 Fe의 흡수율은 그 형태와 위액에 대한 용해성 등에 의하여 식품의 종류에 따라 크게 다르다.

예를 들어 시금치의 경우 Fe 2 mg을 섭취할 경우 1.8% (투여량에 대한 백분율)가 인체에 흡수되고 양상추의 경우 1~1.7 mg 일 때는 5%가 흡수된다고 하였다.

따라서 본 실험은 수경재배의 장점인 근권환경을 조절하여 수확기에 단기간동안 흡수가 용이한 철을 고농도로 처리함으로써 엽내 철함량을 증가시켜 철이 강화된 기능성 채소를 개발하고자 수행하였다. 엔디브를 공시작물로 하고 철의 공급원으로는 ammonium ferric citrate (AFC)로 하였고 공급한 철의 농도는 $50\text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$ 과 $100\text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 처리하였다.

AFC는 낮은 pH에서 흡수가 잘 되므로 pH를 3.0과 4.0으로 하였고, 처리시간을 12시간 단위로 하여 엽내 철의 축적량을 보았다.

표 1. 엔디브 근권내 ammonium ferric citrate 용액의 침적시간에 따른 철과 무기양분 함량변화(배양액은 pH3.0으로 조정)

		Fe 50mg · L ⁻¹					Fe 100mg · L ⁻¹				
		Fe	Cu	Mn	P	Mg	Fe	Cu	Mn	P	Mg
		-----mgL ⁻¹ -----				-----%	-----mgL ⁻¹ -----				-----%
0h	T	67(100%)	16.2	21.2	0.47	0.32	67(100%)	-	-	-	-
12h	T	96(142%)	16.8	19.0	0.48	0.31	145.2(217%)	16.6	21.0	0.44	0.30
	R	983	47.6	26.0	0.62	0.56	2013	41.0	24.8	0.61	0.32
24h	T	101(151%)	16.4	19.0	0.47	0.28	166.2(248%)	17.0	10.2	0.44	0.26
	R	3790	37.2	13.0	0.52	0.23	3269	38.2	17.2	0.58	0.27
36h	T	156(233%)	25.4	26.4	0.48	0.28	139.4(208%)	16.4	14.4	0.47	0.28
	R	3384	50.4	21.0	0.80	0.24	2686	50.2	20.6	0.70	0.22
48h	T	606(904%)	22.0	29.2	0.38	0.23	266.6(398%)	23.4	13.8	0.46	0.33
	R	2457	42.2	14.4	0.52	0.19	3680.0	57.9	10.4	0.34	0.13

실험 결과를 보면, 우선 pH 3.0에서는 Fe 50 me·L-1 처리에 따른 엽내 철 함량은 시간이 경과됨에 따라 계속 증가하여 48시간 후에는 606 me·L-1가 되어 대조구에 비해 900 %의 증가를 보인 반면에 100 me·L-1 하에서는 증가폭이 크지 않아 약 400 % 증가율을 보였다 (표 1).

표 2. 엔디브 근권내 amonium ferric citrate 용액의 침적시간에 따른 철과 무기양분 함량변화(배양액은 pH3.0으로 조정)

		Fe 50mg · L ⁻¹					Fe 100mg · L ⁻¹				
		Fe	Cu	Mn	P	Mg	Fe	Cu	Mn	P	Mg
		-----mgL ⁻¹ -----				-----%	-----mgL ⁻¹ -----				-----%
0h	T	67(100%)	16.2	21.2	0.47	0.32	67(100%)	-	-	-	-
12h	T	107(160%)	15.2	13.0	0.47	0.28	135.6(202%)	19.4	20.0	0.44	0.29
	R	3284.6	50.0	22.4	0.60	0.33	2457.0	49.3	27.0	0.44	0.24
24h	T	104.8(156%)	13.2	21.6	0.44	0.29	156.0(233%)	16.4	13.0	0.41	0.26
	R	3648.0	40.4	19.2	0.64	0.23	4388.0	36.4	28.9	0.68	0.25
36h	T	106.2(159%)	23.0	10.0	0.48	0.26	153.6(229%)	18.2	15.2	0.39	0.25
	R	2825	49.8	28.2	0.80	0.29	2607.0	46.4	31.8	0.71	0.28
48h	T	128.4(192%)	14.4	15.2	0.36	0.27	156.8(234%)	18.8	17.0	0.36	0.28
	R	3918	50.4	35.4	0.42	0.26	3960.0	44.8	33.4	0.68	0.24

pH 4.0에서 50 me·L⁻¹ 를 처리한 구에서는 pH 3.0과는 달리 48시간 후 190 %, 100 me·L⁻¹에서도 230 %만 증가하였다 (표 2). 이와 같은 결과는 Koichi와 Yuki (1996)가 잎과, 썩갓, 시금치를 이용하여 엽내 Fe 함량을 높이는 실험을 한 결과에서 썩갓은 Fe 함량이 증가되어 과잉증이 나타났고, 시금치와 잎과는 엽내 흡수율도 증가하였고 Fe 과잉증도 나타나지 않았다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 나타냈다. 또한 小口裕(1996)은 토양에서 시금치 품종별 Fe 함량을 증가시키는 실험에서 엽신, 엽병의 Fe 함량이 증가되었고 또한 식물체 내의 Fe 함유량은 품종간, 계절에 의해 변화가능성이 많다고 보고하였다. 본 실험에서도 엔디브 외에 다른 엽채류작물로 Fe-EDTA를 사용하여 실험하였지만 명확한 결과를 얻지 못 하였다. 단지 엔디브에서 흡수율이 증가하는 경향이 나타났기 때문에 AFC와 Fe-EDTA를 사용하여 엔디브의 Fe 흡수량 실험을 수행하였다.

처리 별로 식물체를 분석하여 철과 인산의 영향을 보았다 (표 2-53과 2-54).

P/Fe 비를 계산해보면 pH 4.0, 50 me·L⁻¹에서는 70~28로 감소되고 pH 4.0, 100 me·L⁻¹은 70~23, pH 3.0, 50 me·L⁻¹은 70~6.3, pH 3.0, 100 me·L⁻¹은

70~17.3으로 감소하였다. 그 중 철함량이 가장 높았던 pH 3.0, 50 me·L⁻¹에서 P/Fe 비가 가장 낮았다. P/Fe 비는 세포 안에서 Fe³⁺과 Fe²⁺의 평균의 척도이며 P/Fe 비가 높은 것은 Fe³⁺ 쪽으로의 전환을 뜻하며 Fe³⁺이 인단백에 결합될 수 있음을 나타내는 것이다. 즉, 인산농도가 증가하면 식물체가 가용성이나 이동성 형태의 철을 흡수하거나 붙잡는 능력이 줄어들고 식물체내에서도 인산과 결합된 철은 이동성이 없어 결국 백화현상을 일으킨다고 알려져 있다.

pH별로 철의 흡수량을 본 실험의 결과는 대조구 (control)에 비해 약 9배나 높은 수치였고 모든 처리에서 잎에 철과잉증은 나타나지 않았다. 하지만 식물체내 철의 함량을 높이는 방법으로 식물체마다 특성이 있으므로 모두 이런 방법을 사용할 수는 없다.

이상과 같은 결과를 종합하여 보면 엽채류의 수확직전에 담액방식을 이용하여 근권내 고농도 (50, 100 me·L⁻¹)의 철 (ammonium ferric citrate)을 처리하여 엽내 철이 강화된 식물을 생산할 수 있었다.

앞으로 기능성 채소로서 개발하기 위하여 기능성 인자의 체내작용 기작이 생화학적, 생리학적으로 밝혀져 있어야 하며 섭취 후에 기대되는 기능이 실제로 발현되는 지에 대한 연구가 수행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

이용범, 이병일, 김영식, 지성한. 2000. 식물공장의 최적배양액관리 자동화 시스템 개발. 농림부