

Burley 종 연초의 칼슘결핍엽 발생원인

김용옥 · 박수준 · 이철환 · 최 정 *

한국인삼연초연구소 대구시험장, 경북대학교 농화학과 *

The Cause of Calcium Deficient leaf of Burley Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)

Kim, Yong Ok, Park, Soo June, Lee, Chul Hwan and Choi, Jung *

Taegu Exp. Station, Korea Ginseng & Tobacco Research Institute
Department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University *

(Received Mar. 13, 1989)

ABSTRACT

Field experiment was conducted to find out the cause of calcium deficiency of burley tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Liming materials and application rate were CaSO_4 : Ca 35 kg/10a, CaCO_3 : 35 kg/10a and agricultural lime : Ca 142 kg/10a. The breakdown in tissues at tips and margins of upper leaves was developed at maximum growth stage. If complete breakdown and death dose not occur and growth takes place later, giving the leaf a scalloped appearance. Upper leaves contained lower calcium content than other leaves. The stem and midvein of calcium deficient plants contained lower calcium and calcium minus oxalic acid, but higher oxalic acid contents than those of normal plant.

Fresh leaves of limed plot contained higher calcium and oxalic acid, but not significant increment of calcium minus oxalic acid than those of unlimed plot. Since calcium oxalate is insoluble, it could precipitate within the cells if the calcium and oxalic acid are accessible to each other. It suggest that high level of oxalic acid in stem and midvein could be interfering with translocation of calcium to upper leaves.

서 론

칼슘은 지각의 3.64%를 차지하는 원소로 다른 식물 영양소에 비해 풍부한 편이나, 식물체의 흡수능은 낮은 것으로 알려져 있다^{6,21)}. 우리나라 burley종 산지는 토양 pH가 5.5 이하인 재배지가 35% 내외로 알려져 있고¹³⁾, burley종은 황색종이나 기타 재배종에 비해 엽중 칼슘 함량이 높다^{1,28)}. 그러나 타종에 비해 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 시비량이 많아 경작기질중 pH 저하가 심하여져 유해이온 함량증가로 칼슘 흡수가 억제되어^{6,15)} 결핍증상이 일어날 것으로 예측된다. 일반작물에서 발생하는 칼슘 결핍증상의 원인으로는 칼슘 흡수 저해이온의 영향^{15,19)}, 과다한 $\text{NH}_4\text{-N}$ 대 질소비료 사용¹⁰⁾, 식물체에 흡수 축적된 칼슘이 생장점이나 분열조직으로 비전류^{16,17,18)} 및 신근(新根)의 발육 불량으로 인한 칼슘 흡수량 부족²⁾ 등이 알려져 있다. 또한 연초에 발생하는 칼슘 결핍증상의 원인에 대해서는 Brumagen⁵⁾, Chang⁷⁾, Rao²⁶⁾, Peedin^{23,24)} 이 보고한 바가 있다.

현재 우리나라에서는 Burley 21을 재배하고 있으며 최대생장기인 발육기에 고온 건조하면 최상위 1~3위 엽의 선단부가 아래로 굽어지고 흑색반점이 생겨 고사(枯死), 괴저(壞疽)되는 증상이 나타나고, 발육이 일시 지연되는 등의 칼슘 결핍증상이^{20,28)} 발생하고 있다.

본 시험에서는 칼슘에 민감한 반응을 보이는 Burley 21을⁶⁾ 공시하여 칼슘 결핍증상의 원인을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

Burley 21 (*Nicotiana tabacum* L.)을 공시 품종으로 2월 26일 파종 하였으며, 한국인삼연초 연구소 대구시험장 포장중에서 토성이 양토, pH 5.5, 유기물 1.79%, 치환성 칼슘이 4.60me/100g인 토양을 선정, 4월 17일 휴간거리 110 cm,

주간거리 36 cm로 개랑말칭으로 이식하였다. 연초용 복비 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$:10-10-20) 175kg/10a를 사용하였으며, 처리내용은 석회 무시용구, 황산칼슘 시용구, 탄산칼슘 시용구, 농용석회 시용구를 두었다.

황산칼슘과 탄산칼슘 시용구는 Ca 35kg/10a를 시용기준으로 하여 연초용 복비와 함께 줄뿌림으로 사용하였으며, 농용석회 시용구는 Double buffer method로²⁹⁾ pH 6.5 조절량(Ca:142kg/10a)을 산출, 이식 1개월전 포장에 전면살포하고 2회 경운하여 경토와 충분히 혼합하였다.

재배방법은 burley종 표준재배방법에¹²⁾ 준하였다. 칼슘 결핍주와 건전주 시료는 개화기때 상위엽에서 칼슘 결핍증상이 나타난 주와 건전주를 각각 30 주씩 선정하여, 하위엽에서 상위엽으로 순차적으로 6-10, 11-15, 16-19, 20-22, 23-25 위엽으로 구분 채취하여 엽육과 주맥을 분리후 시료로 사용하였으며, 줄기는 엽시료를 취한 부위별로 5등분하여 시료로 하였다.

이식후 75일 생엽시료는 하위엽에서 상위엽으로 1-10, 11-15, 16-20, 21-25 위 엽으로 구분 채취하였으며, 줄기시료는 생엽시료 4부위별로 절단 사용하였다. 건조엽 시료는 건조 완료후 상엽, 본엽, 중엽, 하엽 4엽분별로 시료를 채취하였다.

칼슘 결핍주, 이식후 75일 생엽시료 및 건조엽 시료는 열풍순환건조기에서 80℃로 급건후 담배 성분분석법¹⁴⁾에 준하여 시료를 조제하였다.

토양 이화학성 분석은 농업기술연구소 토양화학 분석방법²²⁾에 의했으며, 칼슘은 담배성분분석법¹⁴⁾, oxalic acid는 Court와 Hendel 방법⁸⁾으로 분석하였다.

결과 및 고찰

칼슘 결핍증상을 나타낸 주와 건전주의 줄기, 주맥 및 엽육의 칼슘과 oxalic acid 함량을 조사한 것이 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of normal and calcium deficient burley tobacco with respect to calcium and oxalic acid concentrations in tissues from different portions of the plant.

Symptom	Calcium					Oxalic acid					Calcium-Oxalic acid				
	23-25*	20-22	16-19	11-15	6-10	23-25	20-22	16-19	11-15	6-10	23-25	20-22	16-19	11-15	6-10
..... (me/g dry weight)															
Stem															
Normal	0.59	0.51	0.45	0.47	0.42	0.40	0.23	0.22	0.17	0.16	0.19	0.28	0.23	0.30	0.26
Ca-deficient	0.56	0.48	0.42	0.42	0.46	0.52	0.32	0.24	0.18	0.18	0.04	0.16	0.18	0.24	0.28
Midvein															
Normal	0.65	-	0.72	0.78	0.77	0.46	-	0.34	0.43	0.50	0.19	-	0.38	0.35	0.27
Ca-deficient	0.58	-	0.60	0.56	0.58	0.48	-	0.40	0.48	0.49	0.10	-	0.20	0.08	0.09
Laminae															
Normal	0.82	0.81	0.74	0.81	0.89	0.54	0.46	0.28	0.25	0.32	0.28	0.35	0.46	0.56	0.57
Ca-deficient	0.69	0.67	0.72	0.77	0.89	0.53	0.47	0.28	0.26	0.37	0.16	0.20	0.44	0.51	0.52

* Leaf position from the lowest leaf.

줄기의 칼슘 함량은 건전주에 비해 칼슘 결핍주가 6-10 위 줄기를 제외하고는 낮거나 비슷하였다.

그러나 oxalic acid 함량은 칼슘 함량과는 달리 건전주에 비해 칼슘 결핍주가 높았으며, 이러한 경향은 상위줄기로 갈수록 현저하였다. oxalic acid는 칼슘과 결합하여 식물 세포내에서 ca-oxalate로 침전 불용화 하며^{5,9,27,28} oxalic acid 함량이 높아지면 식물 즙액에 유리칼슘 함량이 낮아지는 것으로 밝혀져 있다²⁵.

따라서 칼슘에서 oxalic acid 함량을 당량으로 제하면 대략적인 유리칼슘 함량을 계산할 수 있다⁵. 유리칼슘(calcium-oxalic acid) 함량은 상위 줄기로 갈수록 낮아지는 경향이 뚜렷하였으며, 6-10 위 줄기를 제외하고는 건전주에 비해 칼슘 결핍주가 낮았다. 칼슘 결핍증이 발생하는 23-25 위 줄기는 건전주 0.19me/g에 비해 결핍주는 0.04me/g으로 현저히 낮았다.

줄기의 칼슘 함량은 건전주에 비해 결핍주가 낮았으나 oxalic acid 함량은 건전주에 비해 결핍주가 오히려 높은 것으로 나타났다. 유리칼슘(calcium-oxalic acid) 함량은 건전주에 비해 결핍

주가 낮았다. 특히 23-25위 주맥은 건전주 0.19 me/g에 비해 결핍주가 0.10me/g으로 낮았다.

엽육중 칼슘 함량은 건전주에 비해 결핍주가 낮았으나, oxalic acid는 차이를 보이지 않았다.

유리칼슘(calcium-oxalic acid) 함량은 결핍주가 건전주에 비해 낮았으며, 엽분별로는 상위엽으로 갈수록 함량이 낮아져 칼슘 결핍증이 발생하는 23-25 위 엽육은 건전주가 0.28me/g 인데 비해 결핍주는 0.16me/g으로 낮았다.

이상에서 burley 종 상위엽에서 칼슘 결핍증상이 일어나는 원인은 2가지로 설명할 수 있다. 첫째는 담배 최대생장기에 칼슘 요구량은 일시에 급증하나³, 충분한 칼슘을 토양에서 흡수하지 못하기 때문이다.

둘째는 이미 증엽, 하엽 등에 흡수 축적된 칼슘이 전류되지 않을 뿐만 아니라^{16,17,18}, 흡수된 칼슘도 ca-oxalate 형태로 침전 불용화되어 생장점으로 칼슘이 전류되지 않아 칼슘 결핍증상이 일어난 것으로 고찰된다. 따라서 증·하위엽은 건전한 생육이 이루어지나 상위엽에서 칼슘 결핍증상이 나타난다.

Table 2. Effect of liming materials application on calcium and oxalic acid concentrations of stem from different leaf position at 75 days after transplanting.

Treatment	Calcium				Oxalic acid	Calcium-Oxalic acid
	21-25*	16-20	11-15	1-10	21-25	21-25
 (me/g dry weight)					
Control	0.37	0.43	0.51	0.47	0.16	0.21
CaSO ₄ ¹⁾	0.41	0.47	0.50	0.53	0.17	0.24
CaCO ₃ ²⁾	0.45	0.42	0.50	0.46	0.16	0.29
Liming ³⁾	0.46	0.45	0.54	0.56	0.17	0.29

* Leaf position from the lowest leaf.
1,2) Ca 35kg/10a 3) pH 6.5

Table 3. Effect of liming materials application on calcium and oxalic acid concentrations of leaves from different position on stalk at 75 days after transplanting.

Treatment	Calcium				Oxalic acid				Calcium-Oxalic acid			
	21-25*	16-20	11-15	1-10	21-25	16-20	11-15	1-10	21-25	16-20	11-15	1-10
 (me/g dry weight)											
Control	0.58	0.67	0.75	1.16	0.39	0.35	0.28	0.46	0.19	0.32	0.47	0.70
CaSO ₄ ¹⁾	0.67	0.79	0.87	1.29	0.42	0.32	0.23	0.42	0.25	0.47	0.64	0.87
CaCO ₃ ²⁾	0.64	0.77	0.90	1.24	0.44	0.37	0.26	0.60	0.20	0.40	0.64	0.64
Liming ³⁾	0.71	0.84	0.82	1.42	0.45	0.34	0.29	0.63	0.26	0.50	0.53	0.79

* Leaf position from the lowest leaf.
1,2) Ca 35kg/10a 3) pH 6.5

석회를 사용하여도 칼슘 결핍증상이 발생하였는데 이의 원인을 구명하기 위해 이식 75일후 줄기와 생엽의 칼슘과 oxalic acid 함량을 조사한 것이 Table 2,3 과 같다.

줄기의 칼슘 함량은 Table 2와 같이 부위별로 다소 차이를 보였으나 전체적으로 석회 무시용구에 비해 시용구가 높았고, 황산칼슘과 탄산칼슘 시용구에 비해 농용석회 시용구(pH 6.5 조절)가 높았다. 칼슘 결핍증이 발생하는 21-25 위 줄기의 칼슘 함량은 석회 무시용구 0.37me/g에 비해 황산칼슘 0.41me/g, 탄산칼슘 0.45me/g, 농용

석회 0.46me/g으로 다소 높았다. 21-25 위 줄기의 oxalic acid 함량은 처리간 비슷하여 유리칼슘 함량은 석회 무시용구 0.21 me/g에 비해 황산칼슘 0.24me/g, 탄산칼슘 0.29me/g, 농용석회 0.29me/g으로 다소 높았다.

생엽의 칼슘 함량은 Table 3과 같이 상위엽으로 갈수록 낮아졌으며, 처리간에는 석회 무시용구에 비해 시용구가 높았고, 시용구 간에는 농용석회 시용구가 높았다. 칼슘 결핍증이 발생하는 21-25 위 엽은 석회 무시용구 0.58me/g에 비해 황산칼슘 0.67me/g, 탄산칼슘 0.64me/g, 농용

석회 0.71me/g으로 높았다. 21-25 위 엽의 oxalic acid 함량은 석회 무시용구 0.39me/g에 비해 황산칼슘 0.42me/g, 탄산칼슘 0.44me/g, 농용석회 0.45me/g 시용구가 높았다.

유리칼슘 함량은 상위엽으로 갈수록 감소하는 경향이 현저하여 칼슘 결핍증이 발생하는 21-25 위 엽은 석회 무시용구 0.19me/g에 비해 탄산칼슘 시용구는 비슷하나, 황산칼슘과 농용석회 시용구는 각각 0.25me/g과 0.26me/g으로 높았다. 석회 시용으로 식물체의 칼슘 함량이 현저히 증가하지 않는 것은 석회 시용으로 건물 생산량이 많아 회석효과와²⁴⁾ 아울러 시비된 칼슘으로 부터 식물이 흡수 이용하는 양이 2-6%에 불과하기 때문이며⁴⁾, 석회 시용으로 oxalic acid 함량이 증가한 것은 식물체내의 음·양이온의 균형을 유지하기 위한 것으로¹¹⁾ 고찰된다.

Burley종은 석회 시용으로 충분한 량의 칼슘이 토양중에 있어도 이식후 61-73 일 사이에 전체 칼슘 흡수량의 40% 내외를 흡수하기 때문에³⁾ 일시적으로 요구량 만큼을 흡수하지 못한다. 또한 석회 시용으로 식물체내 칼슘 함량은 증가하나 이와 함께 oxalic acid도 증가하여 calcium-oxalate 형태로 식물체에 침전된다^{5,27,28)}. 특히 칼슘 결핍증이 발생하는 상위엽은 칼슘 함량이 낮고, 유리칼슘 함량이 낮아 일시적으로 칼슘 결

핍증이 발생하는 것으로 고찰된다.

최대생장기에 칼슘 결핍증도 후기에 생육하여 부채꼴 형태의 엽이 생산된다. 이의 원인을 구명하기 위해 수확 완료후 건조엽의 칼슘 및 oxalic acid 함량을 조사한 것이 Table 4이다.

건조엽의 칼슘 함량은 농용석회 시용구가 다소 높았으며, 특히 칼슘 결핍증이 발생하는 상위엽은 이식 75일후 생엽(Table 3 참조)에 비해 함량이 현저히 증가하였다. oxalic acid 함량은 석회 무시용구에 비해 탄산칼슘과 농용석회 시용구는 높았다. 유리칼슘 함량은 석회 무시용구에 비해 탄산칼슘 시용구는 낮았으나 황산칼슘과 농용석회 시용구는 착엽위치간 다른 경향을 나타내었다. 최대생장기 칼슘 결핍증상을 보인 상위엽이 성장하여 부채꼴 형태의 엽이 생산된 것은 순지르기 부정근 발생이 왕성하여 칼슘 흡수가 촉진되고²⁾, 하위엽이 수확되어 상위엽으로 칼슘이 전류되므로 결핍증도 생육이 이루어져 부채꼴 형태의 엽이 생산된 것으로 고찰된다.

결 론

Burley종 연초의 칼슘 결핍증 발생 원인을 구명하고자 석회 무시용구, 황산칼슘 (Ca:35kg/10a)

Table 4. Effect of liming materials application on calcium and oxalic acid concentrations of cured laminae from different position on stalk.

Treatment	Calcium				Oxalic acid				Calcium-Oxalic acid			
	Upper*	Lower top	Middle	Lower	Upper	Lower top	Middle	Lower	Upper	Lower top	Middle	Lower
(me/g dry weight)												
Control	1.14	1.17	1.34	1.51	0.86	0.59	0.73	0.87	0.28	0.58	0.61	0.64
CaSO ₄ ¹⁾	1.17	1.11	1.35	1.47	0.94	0.60	0.65	0.85	0.23	0.51	0.70	0.62
CaCO ₃ ²⁾	1.21	1.18	1.35	1.58	0.94	0.81	0.88	1.05	0.27	0.37	0.47	0.53
Liming ³⁾	1.37	1.42	1.39	1.74	1.13	0.74	0.87	1.07	0.24	0.68	0.52	0.67

* Leaf position

1, 2) Ca 35kg/10a 3) pH 6.5

탄산칼슘(Ca:35kg/10a), 농용석회(Ca:142kg/10a) 시용구를 두고 포장시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 칼슘 결핍증은 최대생장기에 주로 발생하여 상위엽의 선단부가 고사(枯死)하고 괴저(壞疽)되었으며, 생육후기 칼슘 공급이 원활하여지면 생장점이 고사한 상태로 생육하여 부채꼴 형태의 엽이 생산되었다.

2. 석회 무시용시 발생하는 칼슘 결핍증은 줄기와 주맥에서 과량 생산된 oxalic acid와 흡수된 칼슘이 칼슘-oxalate로 불용화되어 상위엽으로 칼슘 전류가 방해되어 발생하였다.

3. 석회 시용시 발생하는 칼슘 결핍증은 석회 시용으로 엽중 칼슘 함량의 증가가 현저하지 않고, 칼슘의 함량 증가와 동시에 oxalic acid 함량이 증가하여 상위엽으로 칼슘 전류가 방해되어 일시적으로 발생하였다.

참 고 문 헌

1. Akehurst, B.C. (1981) Tobacco. Longman Inc., New York, pp.198-596.
2. Al-ani, T.A. and H.V. Koontz (1969) Plant Physiol., 44:711-716.
3. Atkinson, W.O., L.P. Bush and J.L. Sims (1976) Tob. Sci., 20:81-82.
4. Blume, J.M. and N.S. Hall (1953) Soil Sci., 75:299-306.
5. Brumagen, D.M. and A. J. Hiatt (1968) Plant and Soil, 24:239-249.
6. Carson, E.W. (1974) The plant root and its environment. Univ. Press of Virginia, Charlottesville, pp.565-600.
7. Chang, S.Y., R.H. Lowe and A. J. Hiatt (1968). Agron. J., 60:435-436.
8. Court, W.A. and J.G. Hendel (1978) J. of Chromatographic Sci., 16:314-317.
9. Evans, H. J. and R.V. Troxler (1953) Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 61:346-352.
10. Geraldson, C.M. (1970) Soil Sci. Plant. Anal., 1:187-196.
11. Gilbert, S.G., C.B. Shear and C.M. Gropp (1951) Plant Physiol., 26:750-756.
12. 한국인삼연초연구소 (1978), 시험연구계획서 (경작분야), pp.15-34.
13. 한국인삼연초연구소 (1981), 담배연구보고서 (환경편), pp.121-141.
14. 한국연초연구소 (1979), 담배성분분석법 pp.1-124.
15. Lance, J.C. and R.W. Pearson (1969) Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33:95-98.
16. Loneragan, J.F. (1968) Nature, 220:1307-1308.
17. Loneragan, J.F. and K. Snowball (1969) Aust. J. Agri. Res., 20:479-490.
18. Loneragan, J.F. and K. Snowball (1969) Aust. J. Agri. Res., 20:465-478.
19. Long, F.L. and C.D. Foy (1970) Agron. J., 62:679-681.
20. McMurtrey, J.E. (1938) U.S.D.A. Technical Bull. 612:16-20.
21. Mengel, K. and E.A. Kirkby (1978) Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Switzerland, pp.390-410.
22. 농업기술연구소 (1978), 토양화학분석법, pp.103-170.
23. Peedin, G.F. and C.B. McCants (1977) Agron. J., 69:71-76.
24. Peedin, G.F. and C.B. McCants (1977) Tob. Sci., 21:17-21.

25. Pierce, E.C. and C.D. Appliman (1943) Plant Physiol., 18:224-238.
26. Rao, P.N. and G.W. Stokes (1963) Crop Sci., 3:265-266.
27. Tisdale, S.L. and W.L. Nelson (1975) Soil fertility and fertilizer. Macmillan Inc., New York, pp.261-263.
28. Tso, T.C. (1972) Physiology and biochemistry of tobacco plants. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pa. pp.205-348.
29. Yuan, T.L. (1974) Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38:437-441.