韓草誌(J. Korean Grassl. Sci.) 13(1) : 7~15, 1993

알팔파(*Medicago sativa* L.)의 예취후 잔여기관내 질소화합물과 비구조성 탄수화물의 변화

김태환 · 김병호* · A. Ourry**

Evolution of Nitrogenous and Non-Structural Carbohydrate Compounds in Remaining Tissues Following Shoot Removal of Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Tae Hwan Kim, Byeong Ho Kim* and Alain Ourry**

Summary

Nitrogenous and non structural carbohydrate compounds in the remaining tissues of 10 weeks old alfalfa (*Medicago sativa* L.) grown in hydroponic culture, were analysed during 24 days of regrowth following shoot removal.

The dry weights of the remaining organs were not significantly changed for 10 days following shoot removal. Compared with uncut plants, defoliation drastically depressed root growth, in particular that of taproot. During 6 days of regrowth, nitrogen contents in all remaning organs significantly decreased. Nitrogen loss in this period was pronounced in root system. Nitrogen contents in each organ after 24 days of regrowth in defoliated plant were recovered completely or exceeded initial level. Amino acid-N was the most readily available form of nitrogen while protein-N was the largest storage pool. The tap root contained about 51.0% and 33.4%, respectively, of the total starch and total ethanol-soluble sugar contents. The starch content of tap roots initially exceeded 40.7 mg. plant^{-1} (day 0), and then declined to the minimum level on day 14.

This result clearly showed that the tap root is the major storage site for metabolizable nitrogen (protein-N and amino acid-N) and carbohydrate(starch), and that the degradation of these researves occur much actively in the early period of regrowth.

Ⅰ. 緖 論

알팔파와 같은 다년생 사료작물의 생산성, 영양소 축적 및 지속적 이용에 대한 저항성 등은 예취나 방목에 의한 작물이용 체계에 따라 많은 영향을 받는데, 생육기간중 이들 작물들은 예취와 재생의 순환적 과정을 거치게 된다. 따라서 예취후 재생기의 생리와 물리대사에 대한 이해는 작물관리와 이용을 효율화 시킬 것이다.

Graber 등(1927)이 "알팔파의 지상부위의 초기단계에서의 재생은 예취전 축적되어 있던, 저장 유기물에 의해서 개시된다."는 가설을 설정한 이래 사료작물의 재생에 관한 대부분의 생리학적 연구는 Carbon 대사에 대해 중점적으로 이루어졌다. Sullivan과 Sprague (1953)는 *Dactylis glomerata* L.에서 예취후 재생 초기 4일 동안 뿌리와 그루터기 내에 저장되어 있던 가용

경상대학교 농과대학 축산진흥연구소(Inst. Develop. of Livestock Prod., College of Agri., Gyeongsang National Univ., Chinju 660-701, Korea)

* 경상대학교 농과대학 낙농학과(Dept. of Dairy Sci., College of Agri., Gyeongsang National Univ., Chinju 660-701, Korea)

** 프랑스 CAEN 대학 식물생리 및 생화학연구소(Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, I.R.B.A. Univ., of CAEN 14032 Caen Cedex, France)

성 당의 이용이 지상부위의 재생에 중요하다고 하였고, Hoshino와 Oizumi(1968)는 같은 종의 식물에서 이 시기를 6일로 평가하였다. 한편 ^{14}C labelling에 의한 저장 carbon의 재생기간중 이동 및 이용에 대한 연구에서 Hodgkinson(1969)과 Smith와 Martin (1970)은 예취후 20일 동안 알팔파의 뿌리로부터 재생기관으로의 carbon 이동을 보고하였고, 이러한 carbon 이동에 대해 Pearce 등(1969)은 뿌리내 저장 탄수화물의 45%가 호흡에 이용되고, 19%가 지상부위의 재생에 이용되었다고 하였으며, Hodgkinson (1969)는 이들 비율은 81%(호흡)와 19%(재생)라고 보고한 바 있다. 그러나 Smith와 Silva(1969)는 이와 반대로 미량의 저장탄수화물이 호흡에 이용되고 68%가 지상부위로 재이동 된다고 하였다. 최근 Ta 등(1990)에 의한 ^{15}N과 ^{14}N 이중 labelling의 결과는 뿌리내 약 25%의 저장질소와 12%의 저장탄수화물이 재생초기 2주동안 이동 되었다고 하였다. 이상의 결과들이 보여주는 바와 같이 저장 탄수화물의 3가지 이용경로(뿌리 자체의 성장, 뿌리와 잎의 호흡 및 재생부위로의 재이동)에 대한 결론적인 평가가 부족하고, 특히 재생을 개시하는데 있어 저장탄수화물의 역할에 대한 구체적인 자료를 제시하지 못하였다.

한편 재생중 식물체내의 질소순환 과정에 대한 이해는 작물재배 체계화에서 질소이용의 효율을 높이는데 매우 중요하지만(Pate 1980; Simpson, 1986 등 인용문헌 참조) 재생기간중 저장질소의 재이동에 대한 정보는 매우 미비한 실정이다. *Oryza sativa* L.에서 노화중인 잎에서 신생잎으로의 질소 이동이 보고된 바 있으며(Yoneyama, 1977, 1978; Sano 등, 1978), ^{15}N labelling에 의해 *Bromus mollis* L.과 *Trifolium subterraneum* L.의 4주기의 예취 – 재생기간중 뿌리와 그루터기로 부터 재생중인 잎으로의 질소 재이동에 대한 직접적인 증가가 제시되었다(Phillips 등, 1983). *Lolium perenne* L.의 예취전 ^{15}N labelling에 의한 결과에서 Ourry 등(1989; 1990)은 예취는 뿌리와 그루터기 내 저장 질소의 재이동을 촉진시키며, 특히 단백질태와 아미노산태 질소의 이용이 뚜렷하다고 하였다. Kim 등(1991)은 예취가 저장 질소에 대한 source-sink relationship을 변화시키며 저장질소의 이동은 재생전기 10일 동안이 현저하다고 하였다. 이상의 연구에서 살펴본 바와 같이 저장탄수화물과 저장질소가 지상부위의 재생에 기여한다는 것은 일반적으로 밝혀져 있으나, 재생기간 중 잔여기관 내의 질소 및 탄수화물의 저장형태 및 분해-재합성의 순환에 대한 시간적 추이가 잘 정립되어 있지 않고 지상부위의 재생정도에 따른 N/C 균형과 재생활력에 대한 정보가 미흡하다.

따라서 본 연구에서는 저장질소와 저장탄수화물의 재생시 이용에 대한 상대적 중요성을 평가하기 위하여 예취후 잔여기관내의 질소와 탄수화물 함량의 변화를 조사함으로서 재생기간중 이들 저장물질의 이용정도를 구명하고, 질소와 비구조성 탄수화물의 저장형태를 밝히고자 하였다.

Ⅱ. 材料 및 方法

1. 재배 및 성장조건

Glass house는 주/야간, 온도(20/15℃) 그리고 광주기(16 h/8 h)를 전 시험기간중 균일한 조건으로 조절해 주었고 형광 phytor 튜브에 의해 100 μmol. $m^{-2} \cdot s^{-1}$로 자연광을 보충해주었다. Alfalfa(*Medicago sativa* L. Cv. Europe) 종자외피를 살균하기 위해 알콜 80%+Tween 20의 혼합용액에 20분간, 20% sodium hypochlorite에 10분간 차례로 침지한 후 충분히 헹구어낸 종자를 sand banch에서 발아시켜서 3엽기에 이른 어린 모종을 9 l 들이 플라스틱 Pot 당 15주씩 이식하여 수경재배에 의해 재배하였다. 사용된 영양용액의 조성 및 농도는 〈Table 1〉과 같다. 영양용액의 교환은 5일마다 실시되었고, 영양욕액의 pH를 안정화 시키기 위해 매 교환시 마다 200 mg. l^{-1}의 $CaCO_3$를 첨가해 주고, 펌프에 의해 지속적으로 공기를 주입하였다. 개화초기에 뿌리로 부터 지상부위 6cm에서 1차 예취를 실시하고, 예취구의 경우 24일간의 1차 재생후 같은 높이에서 2차 예취를 실시하고, 2차 예취 일을 재생 0일로 하고 재생 6, 10, 14 그리고 24일 후에 각각 수확하였다. 비예취구의 경우 24일간의 1차 재생후, 예취를 하지 않고 재배하여 수확일은 예취구에 기준하였다. 따라서 본 시험의 결과는 2차 재생 24일간에 대해 각 조사항목에 따라 얻어진 결과들이다. 수확된 식물들은 주근, 지근, 그루터기에 잔재된 잎과 줄기 그리고

Table 1. Composition of the nutrient solution used for hydroponic culture of alfalfa.

Macroelements	mM	Oligo-elements	μM
$CaCl_2$	3.0	Fe-Na-EDTA	200.0
NH_4NO_3	1.0	H_3BO_3	14.0
K_2SO_4	1.0	$MnSO_4$	5.0
$MgSO_4$	0.5	$ZnSO_4$	3.0
KH_2PO_4	0.4	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.7
K_2HPO_4	0.15	$CuSO_4$	0.7
		$CoCl^2$	0.1

재생된 잎과 줄기의 6개 부위로 분리하여 시료를 준비하였다. 얻어진 시료는 60℃에서 48시간 건조시킨 후 건물량을 측정하였고, Wiley mill로서 분쇄한 후 분석을 위해 $CaCl_2$ 존재하의 진공상태에서 보관하였다.

2. 화학성분 분석

1) 질소화합물의 추출 및 분석

200mg의 시료를 Pace 등(1982)의 방법에 따라 증류수-ethanol-chloroform을 사용하여 연속적으로 2차례 추출시켜 가용성 및 비가용성 질소화화물을 분리하였다. 추출물을 2가지 액상으로 분리한 후 (chloroform/ethanol+증류수), ethanol 액상내에 함유되어 있는 비가용성 N으로 부터 가용성 N의 분리를 위해 여과시키고, 가용성 N 추출액을 Dowex 50 H^+ column을 통과시켜 Yoneyama 등(1987)의 방법에 따라 질산태 질소와 아미노산태 질소로 분리하였다.

Nitrate 함량은 CdCu Column을 통해 nitrite으로 환원시킨 다음 Ferrari와 Varner(1971)의 Colorimetric 방법에 의해 측정하였고, 비가용성 N(단백질태) 함량과 amino-amide N의 함량을 측정하기 위해 추출된 각 질소화합물을 Kjeldahl procedure에 의해 mimeraliz ation 시킨 후, Conway dish에서 18h 동안 microdiffusion 후에 수거된 NH_4Cl을 Nessler 용액 (SIGMA, Ammonia color Reagent)과 반응시킨 후, UV spectrophotometer를 사용, 410nm에서 ammonium 함량을 측정하였다. Total N의 측정은 200mg의 시료를 salicylic acid에 의해 nitrate를 환원시킨 후(Eastin 1978), Kjeldahl mineralzation시키고 단백질태 질소와 amino-amide태 질소와 같은 분석과정에 의해 측정하였다.

2) 전분 및 Ethanol 가용성 당의 분석

전분 함량은 Boehringer combination kit(Boehinger Mannheim GmbH, 1987)를 이용해 효소적 방법에 의해 측정되었다. Ethanol 추출된 시료에 DMSO를 처리하여 전분을 가용성 상태로 변환시킨 다음, 일련의 효소적 방법을 거친 후 340 nm에서 NADPH의 양을 측정함으로서 전분에서 가수분해된 glucose 함량으로 환산하였다. Ethanol 가용성 당은 Gonzelez 등(1989)의 방법에 따라 HPLC를 사용하여 측정하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 건물수량

재생초기 10일동안의 예취 후 잔여기관(주근, 지근, 그루터기에 남아있는 잎과 줄기)의 건물량은 유의적인 변화가 없었으나 〈Fig. 1A〉. 재생 11일 이후 부터 지근과 그루터기의 줄기에서 점차적인 건물축적율을 보였다. 재생 24일 동안 일당 개체당 건물축적량은 지근, 주근 및 그루터기에서 각각 5.1, 0.1 및 2.9 mg이었고, 재생 24일째 각 기관의 건물량은 지근(374±46 mg), 그루터기 줄기(371±32 mg) 및 그루터기 잎(28±1 mg)의 순으로 높았다. 반면 대조구(비예취구)에서의 건물축적량은 일수가 진행함에 따라 지속적인 증가를 보였는데 일당 개체당 건물축적량은 지근, 주근 및 그루터기에서 각각 15.6, 23.0 및 9.7 mg으로서 주근에서 건물축적 정도가 가장 높았다. 잔여기관의 총 건물수량은 비예취구에서 1,892 mg으로 예취구보다 약 2배의 증가를

보였다.

Ourry 등(1989)은 *Lolium perenne*에서 예취 후 재생 14일째 건물수량은 그루터기와 뿌리에서 비예취구보다 각각 21.0% 및 23.3% 감소되었으며, 질소 공급수준이 현저히 낮을 때는 뿌리의 성장이 정지된다고 하였다. 〈Fig. 1〉의 삽입그래프는 예취일을 기준으로 24일 동안 예취구(삽입그래프 1A)와 비예취구(삽입그래프 1B)에서 지근:주근의 건물량의 비율을 나타낸 것이다. 예취구에서 지근:주근의 건물량의 비율은 1.6에서 2.0의 범위에서 증가를 보이나 비예취구에서는 1.6에서 0.8의 범위에서 지속적인 감소를 보인다. 즉 비예취구에서 주근의 성장이 지근의 성장보다 월등하다는 것을 보여주었다.

이러한 결과는 지상부위의 예취는 알팔파 재생시 뿌리(특히 주근)의 성장을 심각하게 억제시킨다는 것을 보여준다.

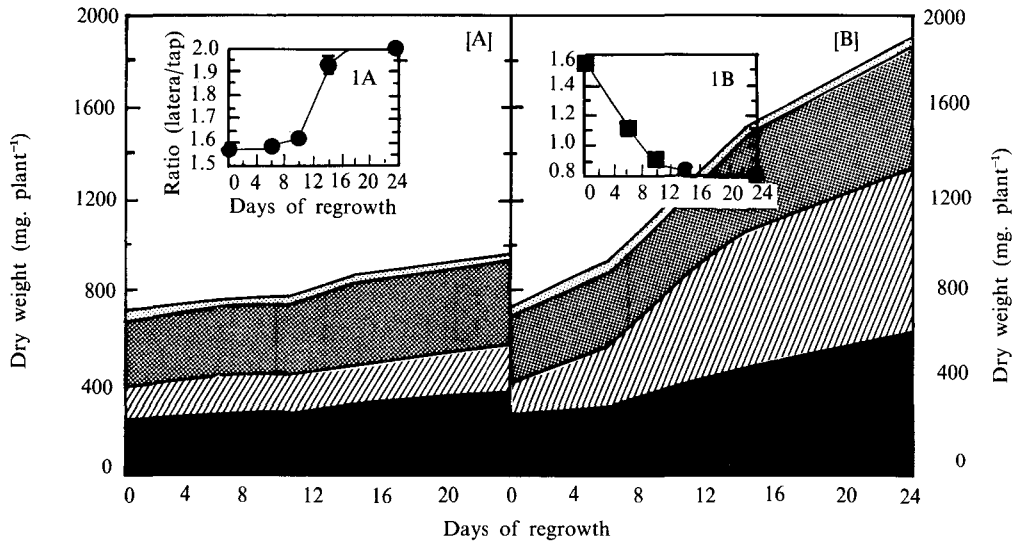

Fig. 1. Accumulation of dry matter (mg. plant^{-1}) in lateral roots (■), tap roots (▨) crown stems (▩) and crown leaves (▩) of *Medicago sativa* L. during 24 days of regrowth following shoot removal (A), and in uncut plants (B). Each value is the mean±S.E. for n=3.

2. 질소화합물

예취 후 재생 6일 동안 예취구의 모든 잔여기관에서 질소함량은 유의적인 감소를 했는데, 지근과 주근에서 각각 예취일(0일)에 비해 8.5%와 22%의 뚜렷한 감소를 보였다. 잔여기관내의 총 질소함량은 18.4 mg N. plant^{-1}에서 재생 6일째는 15.8 mg N. plant^{-1}로 감소하여 2.6 mg N. plant^{-1}의 질소 손실을 보였다 〈Table 2〉. 이러한 잔여기관에서 질소 손실은 재생 초기 6일 동안 뿌리와 그루터기에 저장되어 있던 질소가 재생기관(잎과 줄기)으로 이동한다는 것을 간접적으로 예시해 준다. 예취구에서 재생 24일 동안 각 기관의 질소함량은 예취일의 질소함량보다 유의적으로 증가하였거나 같은 수준으로 회복되었다.

한편 비예취구에서는 지속적인 질소 축적에 의해 24일째 각 기관의 질소함량은 예취일을 기준해 각각 177%(주근), 56%(지근) 및 41%(그루터기 줄기)의 증가를 나타내었고, 그루터기에 잔여된 잎에서의 질소함량은 35% 감소하였다. 이는 하부잎의 노화에 의한 것으로 생각된다. 비예취구에서 주근의 질소축적량과 건물축적량이 다른 잔여기관에 비해 월등히 높다는 사실은 주근의 질소 저장기관으로서의 중요성을 보여준다 하겠다.

예취 후 건물 및 질소축적의 감소는 알팔파 (Hodgkinson, 1969)와 화이트 클로버(Ryle 등, 1985)에서 보고된 바 있는데, 이러한 질소함량의 감소는

주로 근계에서 뚜렷하며 예취 후 재생시 저장 유기 질소 화합물이 지상부위로 재이동한다는 것(Marriot와 Haystead, 1990; Kim 등, 1991)을 뒷받침 해준다.

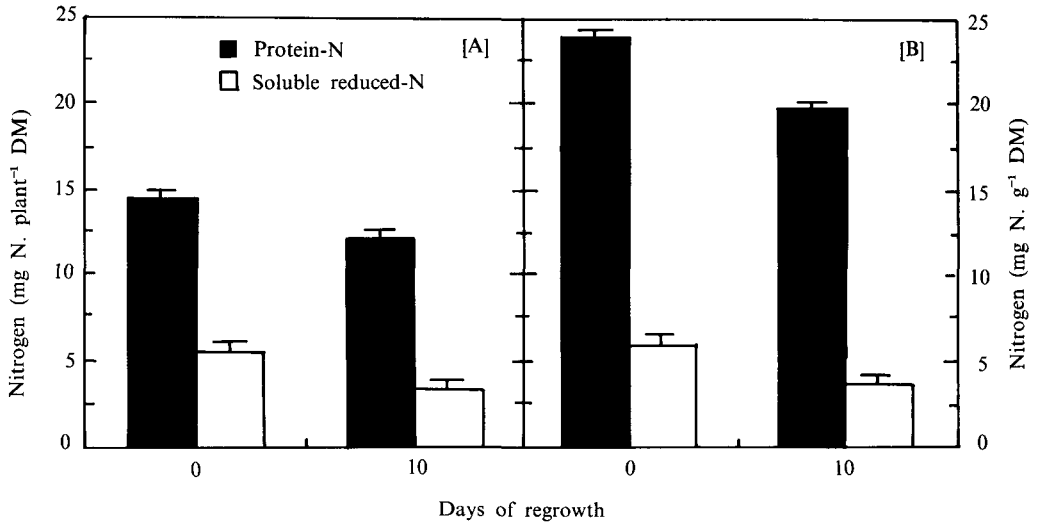

Fig. 2. Changes of the apparent mobilized size of N-fractions (protein-N, soluble reduced-N) in tap roots (A) and lateral roots (B) during 10 days of regrowth following shoot removal. Each value is the mean±S.E. for n=3.

Table 2. Nitrogen contents (mg N. plant^{-1}) of lateral roots, tap roots, crown stems and crown leaves defoliated or uncut (control) *Medicago sativa* L. during 24 days of growth. Each value is the mean±S.E. for n=3.

Days of regrowth	Nitrogen (mg N. plant^{-1})			
	Roots		Crown	
	Lateral	Tap	Stems	Leaves
Defoliated plant				
0	9.4±0.4	3.5±0.2	3.5±0.5	2.0±0.1
6	8.6±0.4	2.7±0.3	3.2±0.3	1.3±0.1
10	9.5±0.9	3.2±0.3	3.3±0.5	1.3±0.1
14	10.9±0.3	3.4±0.1	3.9±0.3	1.0±0.2
24	10.1±0.3	2.7±0.7	3.4±0.1	0.9±0.1
Control(uncut plant)				
0	9.7±0.4	3.3±0.2	3.6±0.3	2.0±0.3
6	10.2±0.3	5.3±0.5	4.0±0.7	1.7±0.1
10	12.1±0.8	7.2±0.4	5.3±0.5	1.8±0.3
14	12.9±0.7	8.4±1.2	5.9±0.4	1.8±0.5
24	14.7±2.0	9.7±2.6	6.2±1.2	1.3±0.5

한편 Lemaire 등(1992)도 포장조건에서 예취 2주일 후 알팔파의 주근내 질소함량이 감소한다고 보고하였고, 이는 ha당 40 kg N의 감소에 해당한다고 하였다. 〈Fig. 2〉에서 나타낸 바와 같이 재생 10일 동안 질소함량의 감소가 뚜렷한 주근과 지근내의 단백질태 및 아미노산태 질소함량 역시 유의적으로 감소하였는데, 주근에서 단백질태 질소가 14.3에서 12.1 mg · g^{-1} DM(dry matter)으로 감소하였고 아미노산태 질소는 5.3에서 3.3 mg · g^{-1} DM으로 감소하여 각각 15.8 %와 38 %의 감소를 보였다 〈Fig. 2A〉. 지근에서도 각 유기질소 화합물은 주근에 따라 비슷한 비율의 감소를 보였으나, 건물 1g 당 단백질 함량이 주근보다 유의적으로 높았다 〈Fig. 2B〉. 주근과 지근 모두 단백질태 질소함량이 아미노산태 질소함량보다 높았으나 재생 10일 동안 감소율은 아미노산태 질소가 훨씬 높았다. 이러한 결과는 단백질태 질소가 주요 저장형태이지만 아미노산태 질소 형태로 우선적으로 이동되어진다는 것을 보여준다.

Table 3. Non-structural carbohydrate contents (mg. g^{-1} DM) of 10 weeks old *Medicago sativa* L. on the second cutting date (day 0). Each value represents the mean±S.E. for n=3.

Compounds	Leaves	Stems	Crown		Roots	
			Leaves	Stems	Tap	Lateral
Amidon	35.6±3.6	13.7±4.0	34.2±2.6	22.8±3.2	140.5±8.3	33.3±5.4
Saccharose	9.8±0.8	6.7±0.6	9.1±0.7	8.4±0.5	40.1±2.0	21.6±2.6
Glucose	8.2±0.5	6.8±0.9	7.8±1.0	5.5±1.7	15.4±0.6	8.1±0.5
Fructose	9.1±1.0	7.0±0.7	6.7±0.5	3.4±0.9	10.5±1.1	7.4±1.7

3. 비구조성 탄수화물

〈Table 3〉은 10주령 알팔파의 2차 예취일(0일)의 각 기관내의 비구조성 탄소화물의 함량이다. 기관별 비구조성 탄수화물은 주근에서 전분, saccharose, glucose 및 fructose의 함량이 다른 기관에 비해 월등히 높았는데, 전분 및 ethanol 가용성 당의 함량은 각각 전기관 총량의 51.0 %와 33.4 %의 함량을 보였다. 특히 주근내의 전분함량은 건물 1g당 140.5mg으로 뚜렷한 양적 특성을 보였다. 분석된 알팔파의 전기관에서 전분함량은 다른 ethanol 가용성 당의 함량보다 월등한 우위를 보였는데, ethanol 가용성 당의 구성은 saccharose 함량이 glucose와 fructose보다 높았다. 이러한 결과는 전분이 알팔파 비구조성 탄수화물의 주요 저장형태이고 주근에서 저장함량이 높다는 것을 보여주며, Rapport와 Travis(1984), Habben 과 Volenec(1991)의 보고와도 일치한다.

재생 24일 동안 주근과 지근에 저장되어 있던 개체당 전분 함량의 변화를 조사한 결과는 〈Fig. 3〉과 같다. 주근내의 전분 함량은 예취일에 40.7mg 에서 재생 14일까지 지속적으로 감소(예취일의 40.8 %)하다가, 재생 15일째 부터 회복되어 재생 24 일째는 41.4mg으로 예취일의 수준으로 회복되었다.

지근내의 전분함량 역시 예취 후 감소되는 현상을 보였는데, 초기 재생 6일동안 예취일 수준의 18 %까지 감소하여 14일째 까지 지속적으로 낮은 수준을 유지하다가 재생 15일 부터 회복되는 경향을 보였다. 그러나 재생 24일후의 지근내의 전분함량은 7.2mg으로 예취일의 64 %까지만 회복되었다. 이러한 결과는 예취가 뿌리내의 저장되어 있던 전분의 분해를 초래하게 되며 이러한 전분의 분해 및 재합성은 알팔파의 지근보다 주근에서 더 활발하게 진행된다는 것을 알 수 있다. 최근 Habben과 Volenec(1991)은 알팔파 재생시 전분의 가수분해는 주근내의 endo-amylase의 활력과 밀접한 관계가 있다고 하였고, Boyce 등(1992)은 예취 후 *Medicago sativa* L. 와 *Lotus corniculatus* L.의 주근에서 endoamylase의 활력은 증가하였으나 exoamylase 활력은 유의적인 상관관계가 없었다고 하였다.

한편 재생이 진행됨에 따라 예취 후 잔여기관내에 저장되어 있던 질소와 탄수화물 함량은 지상부위의 재생정도와 밀접한 관계가 있는 것 같다. 즉 재생초기에 화본과 작물의 무기질 질소(Jarvis와 Macduff, 1989; Ourry 등, 1990)와 두과작물의 공중질소

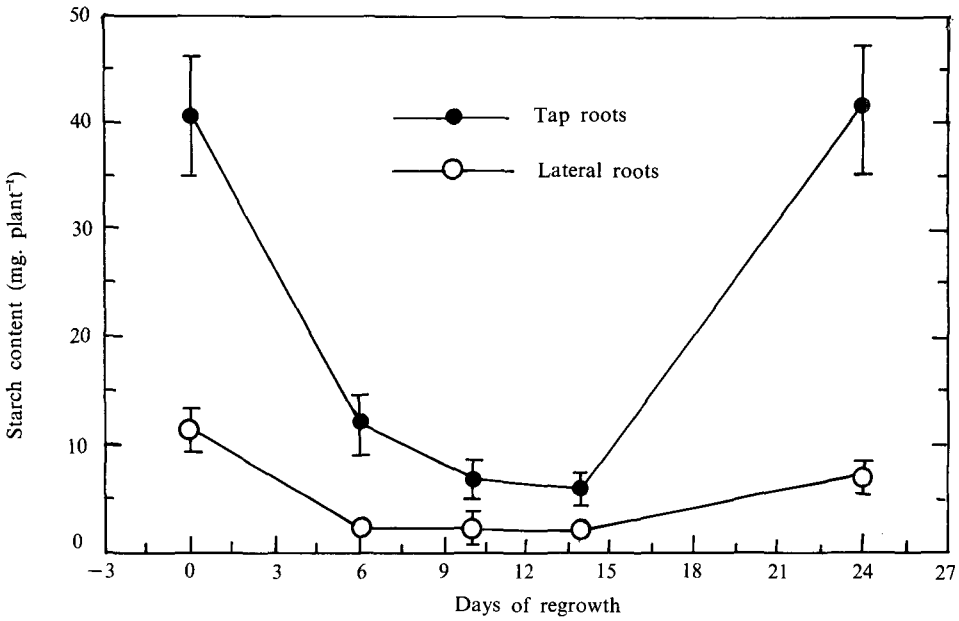

Fig. 3. Time course of starch content (mg. plant^{-1}) in tap root and lateral roots during 24 days regrowth. Each value is the mean±S.E. for n=3.

(Davidson 등, 1990; Gordon과 Kessler, 1990)의 흡수 및 이화작용의 감소와 광합성 산물의 공급제한에 따른 뿌리호흡과 성장의 억제(Hodgkinson, 1969; Davidson 등, 1990) 등으로 특정지워지는데 본 시험의 결과에서 본 바와 같이, 예취 후 질소와 탄수화물의 대사의 제한을 받은 재생 초기에 잔여기관내의 질소화합물 및 전분함량이 현저히 감소하는 것은 이 시기의 지상부위의 재생과 질소 및 탄수화물 대사에 저장유기물의 중요한 기여를 한다는 것을 간접적으로 보여준다.

Ⅳ. 摘　要

재생기간중 저장 질소와 탄수화물의 이용을 구명하고자 수경재배 조건하에서 재배된 10주령의 알팔파(*Medicago sativa* L.)의 예취 후 재생 24일 동안 잔여기관내의 질소화합물 및 비구조성 탄수화물을 분석하였다.

재생초기 10일 동안 잔여기관내의 건물량에는 유의적인 변화가 없었으며, 비예취구와 비교할 때 예취는 뿌리성장(특히 주근)의 심각한 억제를 초래하였다. 잔여기관내의 질소함량은 재생초기 6일동안 유의적인 감소를 보였으며, 이 시기의 질소함량 감소는 뿌리조직에서 특히 뚜렷하였다. 예취구의 재생 24일째 각 기관의 질소함량은 예취일의 수준보다 유의적으로 증가하였거나 같은 수준으로 회복하였다. 단백질태 질소가 아미노산태 질소보다 저장 질소화합물로서 양적인 우위를 보였으나, 재생 10일 동안 아미노산태 질소의 감소율이 유의적으로 높았다. 주근은 총 전분 및 총 에탄올-가용성 당 함량의 51.0% 및 33.4%를 각각 함유하였으며, 주근내의 전분함량은 예취일(0일)에 개체당 40.7 mg에서 재생이 진행됨에 따라 지속적으로 감소하여 재생 14일째에 최저수준을 보였다가, 이후 점차 증가하였다.

본 시험 결과는 알팔파의 주근은 저장기관으로서 중요한 역할을 하며 단백질태 질소와 전분이 질소 및 탄수화물의 주요저장 형태이고, 재생초기에 이들 저장물질의 이용이 활발하다는 것을 보여준다.

Ⅴ. 引用文獻

1. Boyce, P.J., P. Pennaloza and J.J. Volenec. 1992.

Amylase activity in taproots of *Medicago sativa* L. and *Lotus corniculatus* L. following defoliation. J. Exp. Bot. 43(253):125-130.

2. Boehringer Mannheim GmbH, 1987. Methods of biochemical analysis and food analysis. Borhringer, Mannheim. Germany.
3. Davidson, I.A., R.A. Culvenor, R.J. et Simpson. 1990. Effect of previous defoliation regime and mineral nitrogen on regrowth in white clover swards: photosynthesis, respiration, nitrogenase activity and growth. Ann. Bot. 65:665-677.
4. Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. *Analytical Biochemistry,* 85:591-594.
5. Ferrari, T.E. and J.E. Varner. 1971. Intact tissue assay for nitrite reductase in barley aleurone layers. Plant Physiol. 47:790-791.
6. Gordon, A.J. and W. Kessler. 1990. Defoliation induced stress in nodules of white clover. J. Exp. Bot. 41(231):1255-1262.
7. Graber, I.F., N.T. Nelson, W.A. Luckel and W.B. Albert. 1927. Organic food reserves in relation to the growth of alfalfa and other perennial herbaceous plants. Wisconsin Agri. Exp. Sta. Bull. 80:1-128.
8. Gonzalez, B., J. Boucaud and J. Langlois. 19 89. Comparative estimation of non-structural carbohydrate contents in perennial ryegrass by enzymatic and high performance liquid chromatography. J. Plant Physiol. 134:251-253.
9. Habben, J.E. and J.J. Volenec. 1991. Amylolytic activity in taproots of diploid and tetraploid *Medicago sativa* L. Ann. Bot. 68:393-400.
10. Hodgkinson, K.C. 1969. The utilization of root organic compounds during the regeneration of lucerne. Aust. J. Biol. Sci. 22:1113-1123.
11. Hoshimo, M. and H. Oizumi. 1968. Studies on the assimilation and translocation of $^{14}CO_2$ in ladino clover. Ⅳ. Utilization of reserve ^{14}C-assimilates by the plants in the lately stages of regrowth. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan. 37:82-86.
12. Jarvis, S.C. and J.H. Macduff. 1989. Nitrate nutrition of grasses from steady-state supplies in flowing solution culture following nitrate deprivation and/or defoliation. J. Exp. Bot. 40 (218):965-975.
13. Kim, T.H., A. Ourry, J. Boucaud and G. Lemaire. 1991. Changes in source-sink relationship for nitrogen during regrowth of lucerne (*Medicago sativa* L.) following removal of shoots. Aust. J. Plant Physiol. 18:593-602.
14. Lemaire, G., M. Khaity, B. Onillon, M. Allirand, and G. Gosse. 1992. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of lucerne. (*Medicago sativa* L.) in a dense canopy. Ann. Bot. (in presse).
15. Marriot, C.A. and A. Haysted. 1990. The effect of defoliation on the nitrogen economy of white clover: regrowth and the remobilization of plant organic nitrogen. Ann. Bot. 66:465-474.
16. Ourry, A., J. Boucaud, J. Salette and M. Duyme. 1989. Metabolisme de l'azote chez le ray-grass (*Lolium perenne* L.). Etude par marquage ^{15}N des remobilisations d'azote apres une coupe. Agronomie. 9:401-407.
17. Ourry, A., J. Boucaud and J. Salette. 1990. Partitionning and remobilization of nitrogen during regrowth of ryegrass subjected to nitrogen deficiency. Crop Sci. 30:1251-1254.
18. Pace, G.M., C.T. Mackown and R.J. Volk. 1982. Minimizing nitrate reduction during Kjeldahl digestion of plant tissue extracts and stem exudates. Plant Physiol. 69:32-36.
19. Pate, J.S. 1980. Transport and partitioning of nitrogen solutes. Annu. Rev. Plant Physiol. 31:313-340.
20. Pearce, R.B., G. Fissel and G.E. Carlson. 1969. Carbon uptake and distribution before and after defoliation of alfalfa. Crop Sci. 9:756-759.
21. Phillips, D.A., D.M. Center and M.B. Jones. 1983. Nitrogen turnover and assimilation during regrowth in *Trifolium subterraneum* L. and

Bromus mollis L. Plant Physiol. 71:472-476.

22. Rapport, H.F. and R.L. Travis. 1984. Alfalfa root growth, cambial activity, and carbohydrate dynamics during the regrowth cycle. Crop Sci. 24:899-903.
23. Ryle, G., J.A. Powel, C.E. and A.J. Gordon. 1985. Defoliation in white clover: regrowth, photosynthesis and N_2 fixation. Ann. Bot. 56: 9-18.
24. Sano, C., T. Yoneyama and K. Kumazawa. 1978. Incorporation of ^{15}N into cellular fractions and soluble proteins in rice seedling. Soil. Sci. Plant Nutr. 24:503-513.
25. Simpson, R.J. 1986. Translocation and metabolism of nitrogen: whole plant aspects. In Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants. Eds. Lambers, H., J.J. Neetson and I. Stulin. Martinus Nijhoff, Dordrecht, Netherlands. 71-96.
26. Smith, D. and J.P. Silva. 1969. Use of carbohydrate and nitrogen root reseves in the regrowth of alfalfa from greenhouse experiments under light and dark conditions. Crop Sci. 9: 464 -467.
27. Smith, J.H. and G.C. Martin. 1970. Foliar regrowth of alfalfa utilizing ^{14}C-labelled carbohydrates stored in roots. Crop Sci. 10-146-150.
28. Sullivan, J.T. and V.G. Sprague. 1953. Reserve carbohydrates in orchardgnass cut for hay. Plant Physiol. 28:304-313.
29. Ta, T.C., F.D.H. MacDowall and M.A. Faris. 1990. Utilization of carbon and nitrogen reserves of alfalfa roots in supporting N_2-fixation and shoot regrowth. Plant Soil. 127:231-236.
30. Yoneyama, T. 1977. Nitrogen nutrition and growth of the rice plant. I Nitrogen circulation and protein turn-over in rice seeding. Soil. Sci. Plant Nutr. 23:237-245.
31. Yoneyama, T. 1978. Nitrogen nutrition and growth of the rice plant. Ⅲ. Origin of amino-acid nitrogen in the developing leaf. Soil. Sci. Plant Nutr. 24:199-205.