

## 계절에 따른 국내 자생 꼬리겨우살이, 겨우살이 및 기주목의 광합성 특성과 엽록소 함량

이수광<sup>1</sup> · 이성한<sup>2</sup> · 우수영<sup>2</sup> · 강호덕<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국립수목원 유용식물증식센터, <sup>2</sup>서울시립대학교 환경원예학과, <sup>3</sup>동국대학교 바이오환경과학과

### Seasonal Variation in Photosynthetic Characteristics and Chlorophyll Content of the *Loranthus tanakae*, *Viscum album* var. *coloratum* and its Hosts in Korea

Sugwang Lee<sup>1</sup>, Seong Han Lee<sup>2</sup>, Su Young Woo<sup>2</sup> and Hoduck Kang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Useful Plant Resources Center, Korea National Arboretum of the Korea Forest Service, Yangpyeong 476-845, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

<sup>3</sup>Department of Biological & Environmental Science, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

**요약:** 본 연구는 회귀기생식물인 꼬리겨우살이(*Loranthus tanakae*)의 보전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 꼬리겨우살이와 겨우살이(*Viscum album* var. *coloratum*)를 대상으로 계절에 따라 자생지에서 어떠한 생리특성을 나타내고, 기주목과는 어떠한 차이를 보이는지, 광합성 속도, 증산 속도, 수분이용효율, 엽록소 형광반응 및 엽록소 함량을 조사함으로써 살펴보았다. 꼬리겨우살이의 최대 광합성 속도는 6월 중순 광량 941  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때 9.36  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 최대 증산 속도는 7월 하순 광량 1,596  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때 5.06  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 겨우살이의 최대 광합성 속도는 9월 중순 광량 418  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때 6.51  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 최대 증산 속도는 9월 초 광량 1,735  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때 3.91  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 겨우살이는 기주목과 꼬리겨우살이 모두 낙엽이 떨어진 11월에도 광합성이 가능하였다. 특히하게 꼬리겨우살이의 증산 속도가 기주목보다 항상 높은 값을 유지하였다. 최대 엽록소 함량(엽록소 a+b)은 꼬리겨우살이가 7월 하순 8.23  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 겨우살이는 6월 중순 10.27  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 로 나타났으며, 엽록소 a/b 비율은 계절에 따라 꼬리겨우살이 1.7~3.7, 겨우살이 1.1~4.5로 큰 차이를 보였다.

**Abstract:** We investigated seasonal variation in photosynthetic characteristics and chlorophyll content of the *Loranthus tanakae*, *Viscum album* var. *coloratum* and its hosts in Korea. The maximum photosynthesis and transpiration rate of *L. tanakae* were 9.36  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  at 941  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PAR (photosynthetically active radiation) in June, 5.06  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  at 1,596  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PAR in July, respectively. The maximum photosynthesis and transpiration rate of *V. album* var. *coloratum* were 6.51  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  at 418  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PAR in Autumn, 3.91  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  at 1,735  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PAR in Autumn, respectively. *V. album* var. *coloratum* was able to conduct photosynthesis in November whereas its host and *L. tanakae* were not able to conduct photosynthesis. Especially transpiration rate of *L. tanakae* were always higher than its host and *V. album* var. *coloratum*. The chlorophyll a+b contents of *L. tanakae* was 8.23  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  in July, *V. album* var. *coloratum* was 10.27  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  in June, and chlorophyll a/b ratio of *L. tanakae* was 1.7~3.7, *V. album* var. *coloratum* was 1.1~4.5, depend on season.

**Key words:** *Loranthus tanakae*, *Viscum album* var. *coloratum*, physiological response, photosynthesis, chlorophyll contents

## 서론

광합성은 식물이 빛 에너지를 흡수하여 식물체의 에너지원으로 사용하는 가장 중요한 생리대사로 식물의 생육

과 생존에 큰 영향을 미친다(Wei et al., 2008). 따라서 식물의 생리특성(광합성 속도, 증산 속도, 수분이용효율 등)을 구명하는 연구는 해당 식물의 분포와 생존의 기초 자료(MacArthur and Connell, 1967)가 되며, 특히 회귀식물의 보전전략을 세우는데 있어서 중요한 근거(Qi et al., 2012)가 된다.

\*Corresponding author  
E-mail: HDK0225@dongguk.edu

다른 식물체에 기생하는 기생식물 중 목본류 기주목 줄기에 기생하면서 광합성을 하는 식물을 겨우살이류(mistletoe)라 한다(Norton and Carpenter, 1998). 국내 중부지방에 자생하는 겨우살이류는 꼬리겨우살이과(Loranthaceae) 꼬리겨우살이속에 속하는 꼬리겨우살이(*Loranthus tanakae*)와 단향과(Santalaceae) 겨우살이속에 속하는 겨우살이(*Viscum album* var. *coloratum*)가 있다(Lee, 1980). 꼬리겨우살이는 위기종 등급(EN, Endangered Species)으로 지정(KNA, 2012)되어 있으나, 자생지 분획화와 기후변화로 멸절에 대한 위협이 가속화 될 것으로 예측되며, 자생지와 기주목이 겨우살이와 중첩되어 서로 경쟁 상태에 있어 결국 도태될 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2013). 국내 겨우살이류에 대한 생리특성 연구로는 계절에 따른 겨우살이의 광합성과 호흡(Han et al., 1988), 엽의 수분특성을 보고(Lee et al., 2012)한 것이 전부이다. 이처럼 주로 겨우살이의 생리특성 연구에 국한되어 있으며, 희귀식물인 꼬리겨우살이와 기주목의 생리특성을 구명하고 비교한 연구는 아직까지 진행된 바 없다.

따라서 본 연구는 희귀기생식물인 꼬리겨우살이의 보전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 꼬리겨우살이와 겨우살이를 대상으로 계절에 따라 자생지에서 어떠한 생리특성을 나타내고, 기주목과는 어떠한 차이를 보이는지, 광합성 속도, 증산 속도, 수분이용효율, 엽록소 형광반응 및 엽록소 함량을 조사함으로써 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 현황

계절에 따른 꼬리겨우살이와 겨우살이 광합성 특성 및 엽록소 함량은 강원도의 홍천군 태기산(Taegisan, TA), 춘천시 가리산(Garisan, GA) 및 정선군 속암리(Sukamri, SA)에서 측정하였으며, 주로 태기산의 한 지점에서 측정하였다(Figure 1; Table 1).

### 2. 꼬리겨우살이와 겨우살이 잎의 형태 특성 조사

꼬리겨우살이와 겨우살이의 형태 특성 비교를 위해 2012년 7월 중순 강원도 홍천 태기산 일대에서 5개체씩 선발하였다. 선발된 개체 중 각각 4개씩 각 종마다 총 20개의 잎을 채취하여 평균 길이, 너비, 면적, 두께를 구하였고,

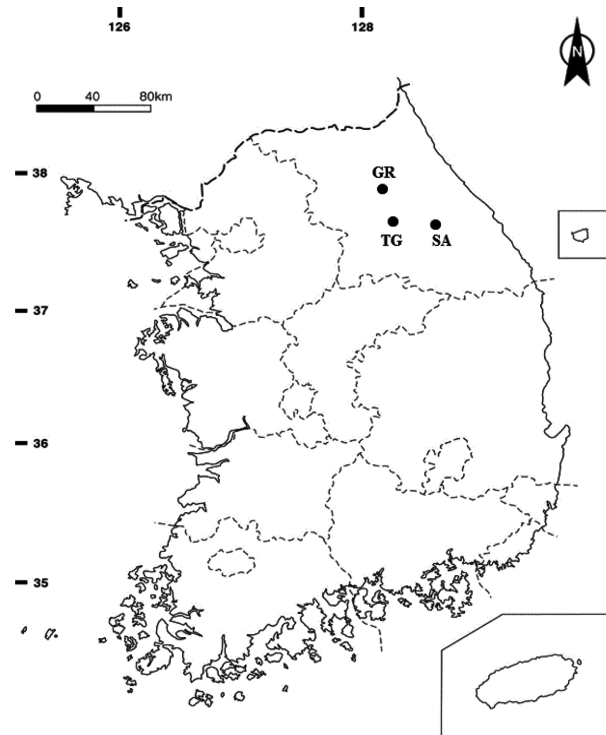


Figure 1. Investigated sites of this study in Gangwon Province, Korea.

20개의 총 무게를 측정하였다.

### 3. 계절에 따른 기주목, 꼬리겨우살이와 겨우살이의 생리 특성 측정

기주목, 꼬리겨우살이 및 겨우살이의 생리 특성 조사는 2011년 9월부터 2012년 9월까지 측정하여 계절 변화에 따른 생리 특성을 살펴보았으며, 광합성 속도(photosynthetic rate,  $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\text{ m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 증산 속도(transpiration rate,  $\text{mmol}\cdot\text{H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 수분이용효율(water use efficiency, WUE)=광합성 속도( $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\text{ m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )/증산 속도( $\text{mmol}\cdot\text{H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 엽록소 형광반응 등을 자생지에서 직접 측정하였다. 지표에서 8-10 m 사이의 신갈나무(*Quercus mongolica*)에 기생하는 꼬리겨우살이, 겨우살이 및 신갈나무의 잎이 달린 가지를 고지절단기구(낫과 낫싯대를 이용하여 제작)를 이용하여 15~20 cm 이상의 길이로 자른 후 물을 담은 지퍼백에 잘라진 부분이 충분히 잠기게 하여 5분 내로 측정을 완료하였다. 특히 생리 활동이 가장 활발한 7월에는 꼬리겨우살

Table 1. Topographical information of the investigated sites and host tree characteristics of this study.

Sites	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Direction	Host tree	DBH(cm)
Garisan (GR)	37° 54' 21"	127° 58' 39"	615	N	<i>Quercus mongolica</i>	32.5±6.1 <sup>2</sup>
Sukamri (SA)	37° 30' 37"	128° 37' 41"	910	S	<i>Quercus mongolica</i>	30.6±4.5
Taegisan (TG)	37° 38' 46"	128° 14' 49"	740	S	<i>Quercus mongolica, Betula davurica</i>	33.4±5.1

<sup>2</sup>Values are means ± standard deviation (n=5).

이와 겨우살이가 기생하는 신갈나무의 가지 바로 윗부분의 생리 특성을 측정하였다. 실험오류를 최대한 줄이기 위해, 동일 지역 내에서 각 종당 비슷한 위치에 있는 5 개체씩 선정하여 측정하였다.

생리 특성 측정은 광합성 속도가 가장 활발한 시간대 (Johnson and Choinski, 1993)로 알려진 오전 8시부터 11시까지 휴대용 광합성 측정 장치(LCi Portable Photosynthesis System, ADC, UK)를 이용하여 측정하였다. 측정방법은 측정 당시 자생지의 자연 온도와 광량상태(겨우살이가 기생한 부위 바로 아래)에서 측정하였으며, 4 m 높이의 공기 유입안테나를 사용하여 대기로부터 CO<sub>2</sub>를 직접 공급 받았으며, 공급받은 CO<sub>2</sub> 농도가 대기 중의 CO<sub>2</sub> 농도와 비슷해지면, 챔버로 잎을 물린 다음 CO<sub>2</sub> 농도의 변화가 안정될 때 측정하였다. 광합성 측정은 2개 이상의 잎이 달린 2~3개체를 선정 후 5개의 잎을 3회 이상 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

엽록소형광반응측정기(OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 기주목, 꼬리겨우살이 및 겨우살이 잎에서의 광화학반응 효율( $F_v/F_m$ )을 측정하였으며, 측정 전 빛을 차단할 수 있는 클립을 잎에 물려 20분간 암적응 시킨 후 종 당 2~3개체씩 선정하여 5개의 잎을 측정하였다.

#### 4. 계절에 따른 꼬리겨우살이와 겨우살이의 엽록소함량 측정

꼬리겨우살이와 겨우살이의 엽록소 함량은 2012년 1월부터 10월까지 측정하였다. 엽록소 함량은 꼬리겨우살이와 겨우살이 잎을 현지에서 채집하여 100 mg을 정량한 후 바이알 병(vial bottle, 20 ml)에 넣고, 10 ml 80% acetone 용액에 침지시켜 암소상태의 가방에 보관하여 실험실로 가져와 7일 동안 4°C에 암소보관 하였다. 그 후 자외선-가시광선 분광광도계(UV/VIS spectrophotometer, Optizen 2120, Mecasys, Korea)를 이용하여 663.6 nm, 646.6 nm 파장에서 흡광도를 측정한 후 다음의 공식(Porra, 2002)을 이용하여 엽록소 함량을 산정하였다. 엽록소 함량은 각 수종 당 5개의 잎에 대하여 실시하였다.

$$[\text{Chl a}] = 12.25 \cdot \text{Abs.663.6} - 2.55 \cdot \text{Abs.646.6}$$

$$[\text{Chl b}] = 20.31 \cdot \text{Abs.646.6} - 4.91 \cdot \text{Abs.663.6}$$

$$[\text{Chl a+b}] = 17.76 \cdot \text{Abs.646.6} + 7.34 \cdot \text{Abs.663.6}$$

#### 5. 통계처리

본 실험에 수집된 데이터는 평균(means)±표준편차(standard deviation)로 산출하였으며, 집단 간 변이를 알아보기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 유의성이 있는 경우 Duncan multiple range test ( $P=0.05$ )로 2차 검증하였다. 또한 모든 통계처리는 SPSS(ver. 12.0 Kor) 프로그램을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 꼬리겨우살이와 겨우살이 잎의 형태 특성

꼬리겨우살이의 잎 특징은 주걱 같은 타원형이고, 겨우살이는 피침형이다(Lee, 1980). 꼬리겨우살이와 겨우살이 잎의 형태 특성조사 결과 조사된 모든 항목(엽장, 엽폭, 엽면적, 엽 두께 및 생중량)에서 고도의 유의성( $P<0.001$ )을 나타내었다. 꼬리겨우살이 엽장과 엽폭은 3.7 cm와 1.5 cm로 측정되었고, 겨우살이 엽폭과 엽장은 6.5 cm와 1.4 cm로 나타났다. 엽 두께의 경우 꼬리겨우살이는 약 0.2 mm, 겨우살이가 1.3 mm로 측정되어 겨우살이가 꼬리겨우살이보다 7.2배 더 두꺼웠다(Table 2). 겨우살이는 일본에 자생하는 겨우살이의 엽 두께(0.6~1.75 mm)와 일치하였다(Choe, 1972). 음지에 자생하는 먹년출(*Berchemia racemosa* var. *magna*)의 경우 엽 두께가 0.11~0.33 mm이며, 평균 0.19 mm로 보고(Song et al., 2013) 된 바 있으며, 남부지방 양지에 자생하는 먼나무(*Ilex rotunda*)는 0.21~0.25 mm로 보고(Han et al., 2008) 된 바 있다. 이와 같이 꼬리겨우살이는 국내 자생식물의 엽 두께와 유사하였지만 겨우살이의 엽 두께는 국내 자생 식물과 꼬리겨우살이에 비해 약 7배 이상 두꺼웠다. 이는 상록수인 겨우살이가 겨울에도 광합성을 하기 위해 엽 내 세포벽의 팽창과 엽육세포 내 빈 공간 등의 저온과 광에 대한 다양한 방어기작(Oguchi et al., 2006)과 단위 면적당 엽록소 함량이 많기 때문에(Table 4; Choe, 1972) 엽 두께가 두꺼운 것으로 생각된다.

#### 2. 계절에 따른 기주목, 꼬리겨우살이와 겨우살이의 생리 특성

##### 1) 계절에 따른 광합성 속도

계절에 따라 일정한 높이에 자생하는 기주목, 꼬리겨우

Table 2. Leaf characteristics of *L. tanakae* and *V. album* var. *coloratum*.

Species	Leaf length (cm) <sup>***z</sup>	Leaf width (cm) <sup>***</sup>	Leaf area (cm <sup>2</sup> ) <sup>***</sup>	Leaf thickness (mm) <sup>***</sup>	Leaves weight(g) (20 unit)
<i>L. tanakae</i>	3.78±0.1 <sup>y</sup>	1.57±0.1 <sup>***</sup>	3.01±0.4 <sup>***</sup>	0.18±0.1 <sup>***</sup>	2.587
<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	6.85±0.7	1.45±0.1	5.17±1.4	1.31±0.1	22.746

<sup>\*\*\*</sup>Significant at  $P<0.001$ .

<sup>y</sup>Values are means ± standard deviation (n=20).

**Table 3. Several physiological parameters of *L. tanakae*, *V. album* var. *coloratum* and its host.**

Season	Date (dd-mm-yy)	Sites <sup>2</sup>	Host	Species	Photosynthetically active radiation incident on leaf ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Photosynthetic rate ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Transpiration rate ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Water use efficiency ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	<i>FV/FM</i>	Leaf temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	
Autumn	02-Sep-11	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	55.4±15.5 <sup>3</sup>	7.25±0.65	1.54±0.11	4.71±0.32	0.82±0.01	18.2±1.2	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	47.0±11.3	0.97±0.25	1.44±0.05	0.68±0.20	0.81±0.01	19.7±1.1	
				<i>Q. mongolica</i>	179.7±31.3	3.90±0.32	1.17±0.04	3.34±0.31	0.81±0.02	19.3±1.5	
		SA	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	404.7±101.2	7.92±1.32	2.19±0.15	3.61±0.52	- <sup>x</sup>	21.2±0.8	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	380.8±130.5	4.02±0.51	1.42±0.12	2.85±0.39	-	20.1±0.9	
				<i>Q. mongolica</i>	370.6±111.8	7.30±0.71	1.42±0.98	4.12±1.18	-	20.9±0.8	
	03-Sep-11	TG	<i>B. davurica</i>	<i>L. tanakae</i>	413.2±59.1	6.25±0.48	2.40±0.32	2.65±0.48	0.81±0.01	19.6±0.5	
				<i>B. davurica</i>	315.5±31.1	3.23±1.12	1.01±0.23	3.11±0.55	0.82±0.01	19.1±0.3	
		TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	1530.6±185.5	7.99±1.85	7.28±1.96	0.99±0.51	0.74±0.03	19.4±0.3	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1735.9±1371	5.34±0.85	3.91±1.01	1.47±0.48	0.78±0.03	19.1±0.1	
				<i>Q. mongolica</i>		1673.3±143.3	12.20±1.15	6.26±0.34	1.96±0.18	0.78±0.03	19.9±0.2
Winter	31-Oct-11	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1643.3±35.2	0.14±0.15	-	-	0.40±0.11	9.3±0.2	
	01-Nov-11	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1749.6±21.1	5.23±0.70	1.58±0.86	4.77±1.55	0.65±0.12	10.1±0.2	
	16-Dec-11	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1536.2±91.5	-	0.02±0.01	-	0.18±0.04	3.1±0.3	
	10-Jan-12	GR	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1618.8±29.4	0.16±0.48	0.02±0.01	2.50±9.87	0.17±0.02	2.4±0.1	
	15-Feb-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	686.1±55.4	-	-	-	0.18±0.03	4.5±0.5	
Spring	15-Mar-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	508.6±54.4	-	0.14±0.06	-	0.21±0.02	8.1±0.2	
	12-Apr-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1086.7±21.2	4.61±0.85	1.16±0.35	3.18±0.91	0.41±0.12	7.3±0.6	
	18-May-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	1501.1±132.9	4.41±0.46	2.71±0.48	1.44±0.14	0.66±0.03	11.8±0.9	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1642.8±120.9	3.54±0.39	1.93±0.54	1.24±0.29	0.65±0.07	12.1±0.8	
Summer	14-Jun-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	941.7±72.4	9.36±0.81	3.78±0.67	2.53±0.42	0.81±0.01	15.8±0.6	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	910.6±46.1	5.25±0.21	2.21±0.11	2.38±0.13	0.81±0.05	15.7±0.6	
	26-Jun-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	347.3±18.3	7.30±0.77	2.48±0.16	4.33±1.20	0.83±0.06	14.1±1.0	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	434.2±15.8	5.84±0.59	1.53±0.07	4.43±0.41	0.81±0.02	12.6±1.3	
				<i>Q. mongolica</i>	324.2±24.4	5.99±1.31	0.91±0.16	6.21±0.36	0.82±0.07	14.3±1.2	
	24-Jul-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	1596.3±197.5	8.52±0.48	5.06±0.63	2.09±0.82	0.82±0.02	23.1±1.5	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1607.3±161.4	3.96±0.24	1.81±0.28	2.25±0.51	0.81±0.03	24.1±1.2	
				<i>Q. mongolica</i>	1682.5±231.7	-	0.29±0.21	-	0.80±0.01	22.9±1.3	
	14-Aug-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	1366.3±39.1	5.85±0.89	4.78±0.99	1.28±0.39	0.79±0.01	25.9±1.5	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	1328.5±25.9	5.78±0.45	3.34±0.67	1.81±0.51	0.79±0.02	25.9±1.8	
<i>Q. mongolica</i>				1310.1±23.6	4.67±0.32	2.12±0.29	2.24±0.14	0.80±0.01	25.2±1.3		
Autumn	15-Sep-12	TG	<i>Q. mongolica</i>	<i>L. tanakae</i>	417.5±31.4	7.94±1.11	1.96±0.16	4.05±0.52	0.82±0.01	14.1±0.3	
				<i>V. album</i> var. <i>coloratum</i>	418.7±29.5	6.51±0.85	1.11±0.07	5.85±0.61	0.82±0.02	14.3±0.2	
				<i>Q. mongolica</i>	408.1±25.5	9.71±0.76	1.49±0.11	6.54±0.97	0.84±0.01	14.1±0.3	

<sup>2</sup>TG : Taegisan, GR : Garisan, SA : Sukamri<sup>3</sup>Values are means ± standard deviation (n=10).<sup>x</sup>- : Data not available

살이 및 겨우살이의 생리 특성을 조사한 결과는 다음과 같다(Table 3). 2011년 9월 측정 시 매우 약한 광량(55, 47, 179  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 일 때(8~10시) 각각의 광합성 속도는 꼬리겨우살이 7.25  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 겨우살이 0.97  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 기주목(신갈나무) 3.9  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 동일한 날 오후 2시 강원도 정선군 속암리에서 약한 광량(404, 380, 370  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 일 때 각각의 광합성 속도는 꼬리겨우살이 7.92  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 겨우살이 4.02  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 기주목(신갈나무) 7.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 또한 9월 구름 없는 맑은 날의 광량(1,530, 1,735, 1,673  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 일 때(11시) 각각의 광합성 속도는 꼬리겨우살이 7.99  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 겨우살이 5.34  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 기주목(신갈나무)이

12.2  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타나 *Phoradendron villosum*(Loranthaceae)의 광합성 속도(8.4  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )와 그 기주목(*Quercus lobata*)의 최대 광합성 속도(16.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )와 비슷한 경향(Hollinger, 1983)을 나타내었으며, Chung(2002)에 의해 밝혀진 신갈나무의 최대 광합성 속도(12  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )와 비슷하였다. 또한 약한 광량(413, 315  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 일 때 물박달나무(*Betula davurica*)와 물박달나무에 기생하는 꼬리겨우살이의 광합성 속도는 각각 3.23  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 6.25  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 2011년 9월의 매우 약한 광량 55  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (약 2,500 lux)에서 꼬리겨우살이의 광합성 속도(7.25  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )가 2011년 9월의 전광 1,530  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 광합성 속도(7.99  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )와 비슷한

값을 나타낸 것을 통해 꼬리겨우살이의 광포화점이 일반 식물과는 다르게 매우 낮은 것을 추정할 수 있다. 꼬리겨우살이 기주목인 신갈나무의 광포화점은  $1,000\sim 1,200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 범위로 보고(Sim and Han, 2003)된 바 있으며, 겨우살이는  $17,000\sim 26,000 \text{ lux}(400\sim 600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ 의 범위인 것으로 알려져(Choe, 1972) 있다. 또한 국내 자생 참나무속(굴참나무, 졸참나무, 갈참나무, 신갈나무)의 광보상점은  $1,100\sim 4,200 \text{ lux}$ (약  $30\sim 90 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )의 범위인 것으로 보고(Choe et al., 1992)된 바 있으며, 겨우살이의 광보상점은 5월  $15,000 \text{ lux}$ (약  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상), 8월  $5,000 \text{ lux}$ (약  $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이하)로 보고(Han et al., 1988)된 바 있다. 고사리류와 선대류 등과 같이 음지 환경에 적응한 식물은 광이 있을 때, 기공을 빨리 열어  $\text{CO}_2$ 를 보다 빠르고 효율적으로 흡수하기 위해 다른 식물에 비해 광보상점과 광포화점이 낮으며, 단위 엽 면적당 집약적인 엽록소를 함유함으로써 양지식물 보다 잎의 색이 진한 녹색을 띤다(Glimes, 2007; Chung, 2002). 꼬리겨우살이 잎은 다른 식물에 비해 짙은 녹색이며(Lee, 1980), 꼬리겨우살이의 광보상점과 광포화점이 낮은 것으로 유추되고, 이러한 현상은 꼬리겨우살이가 줄기에 기생하는 기생식물의 특성상 기주목 잎에 가리게 되는 음지환경에 적응(Strong et al., 2000)하기 위한 생리형태학적 반응의 일환이라 생각된다.

10월 초부터 기주목인 신갈나무는 엽색이 변하면서 낙엽 들기 시작하였으며, 꼬리겨우살이는 엽색의 변화 없이 그대로 떨어지기 시작하여 10월 중순에는 기주목과 꼬리겨우살이의 잎이 다 떨어져 생리 특성 측정 자체가 불가능하였다. 하지만 겨우살이는 지속적으로 생리 특성 측정이 가능하였고, 개체에 따라 11월 초까지 광합성이 활발한 것으로 나타났으며, 11월 중순에서 3월 말까지 자생지에서 광합성 속도는 0에 가까웠다. 봄철인 4월부터 겨우살이는 활발한 광합성 속도를 보였으며, 꼬리겨우살이는 개엽(開葉)이 시작되어 5월부터 광합성 측정이 가능하였다. 따라서 잎의 광합성 능력은 겨우살이가 꼬리겨우살이보다 기간적으로 긴 것을 확인하였다. 5월의 구름 없는 맑은 날의 광량( $1,501, 1,642 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 일 때 꼬리겨우살이와 겨우살이 각각의 광합성 속도는  $4.41 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $3.54 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며, 6월부터 꼬리겨우살이가 광합성을 활발히 시작하여 중간 광량( $941, 910 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )임에도 불구하고 측정된 광합성 속도 중 최대 속도( $9.36 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 겨우살이  $5.84 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )를 나타냈다. 이는 유럽꼬리겨우살이(*L. europaeus*,  $12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ; *V. laxum*,  $7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )의 최대 광합성 속도와 비슷한 경향이였다(Schulze et al., 1984). 같은 6월 약한 광량( $347, 434 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )일 때에도 꼬리겨우살이와 겨우살이는 높은 광합성 속도( $7.30, 5.84 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )를 유지하고 있

었다. 여름인 7월에 꼬리겨우살이와 겨우살이가 기생하고 있는 기주목의 줄기 윗부분의 광합성 속도를 측정한 결과, 0에 가까웠다. 8월  $1,300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상의 높은 광량 일 때 꼬리겨우살이와 기주목은 기존에 측정된 최대 광합성 속도 보다 낮은 광합성 속도를 보였는데, 이는 여름철 고온( $25^\circ\text{C}$  이상, Table 3)에 의한 일시적인 생리 반응(Haldimann et al., 2008)으로 판단되며, 식물이 스트레스에 처해 있는지를 나타내는 지표인 *Fv/Fm* 값도 0.8 이하의 값을 나타냈다(Table 3). 하지만 겨우살이는 최고 광합성 속도 대비 높은 광합성 속도를 계속 유지하고 있었다. 반면 꼬리겨우살이와 기주목은 9월에 높은 광합성 속도를 회복하였다. 겨우살이는 측정된 광합성 속도 중 9월 약광( $418 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )에서 가장 높은 광합성 속도( $6.51 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )를 나타냈다. 이처럼 계절과 기주목, 꼬리겨우살이 및 겨우살이에 따라 광합성 속도가 큰 차이를 보였다. 계절(2, 5, 8, 11월)에 따라 일본(Hongo campus university of Tokyo)에 자생하는 느티나무(*Zelkova serrata*)에 기생하는 겨우살이의 광합성 속도가 각각 4.1, 5.3, 5.4,  $5.4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 값을 나타냈다고 보고하여(Choe, 1972), 본 연구결과 0, 3.5, 5.7,  $5.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 2월과 5월에 많은 차이를 보였는데 이는 일본의 겨울이 보다 온난(1월 평균 온도  $3.7^\circ\text{C}$ )하며, 실험에 적용된 온도가  $10^\circ\text{C}$ 였기 때문에 발생한 차이로 생각된다.

꼬리겨우살이 광합성 속도가 겨우살이 광합성 속도보다 항상 높은 값을 유지하였는데 겨우살이는 줄기부분이 잎 부분 보다 광합성이 더 활발한 것으로 알려져 있어(Vicas et al., 2009) 추후 두 종간의 전체적인 광합성 총량을 비교하는 연구가 뒤따라야 한다고 생각된다.

## 2) 계절에 따른 증산 속도 및 수분이용효율

겨우살이의 증산 속도는 기주목의 증산 속도보다 높거나 낮았으나 꼬리겨우살이의 증산 속도는 기주목의 증산 속도보다 항상 높게 측정되었다. 무엇보다 2011년 9월 약한 광량( $55, 179 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )에서 측정된 꼬리겨우살이와 기주목의 증산 속도는 각각  $1.54 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과  $1.17 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었으나, 강광( $1,530, 1,673 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 일 때, 꼬리겨우살이와 기주목이 각각  $7.28 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과  $6.26 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 측정되었다. 이는 유럽꼬리겨우살이(*L. europaeus*)의 증산 속도는 기주목의 증산 속도보다 항상 높았다는 보고(Glatzel, 1983)와 일치하였다. 이러한 현상은 꼬리겨우살이가 기생하는 부분의 윗부분은 증산 속도가 낮아 겨우살이가 기생하는 가지 끝 부분은 수분과 양분이 제대로 공급되지 않는 가지고사 현상(Glatzel and Geils, 2009)과 7월에 측정된 꼬리겨우살이가 기생하는 기주목의 줄기 윗부분의 광합성이 0에 가까운 사실이 이를 뒷받침하였다. 특히 C3 식물 중 겨우살이의 광합성 속도

가 가장 낮게 보고되었지만(Stewart and Press, 1990), 증산 속도는 기주목보다 항상 높게 나타난다는 보고(Glatzel, 1983; Hollinger, 1983)가 이를 뒷받침하였다. 그 원인은 겨우살이 잎의 증산 속도가 높으면, 겨우살이 잎은 기주목보다 낮은 음의 수분포텐셜로 인해 수분이동이 원활해지며, 이는 기주목으로부터 겨우살이의 생장에 필요한 수분과 양분을 효율적으로 이동시키기 위한 수단으로도 작용(Schulze and Ehleringer, 1984)되기 때문이다. 이와 같은 이유로 겨우살이가 기생하는 기주목은 극심한 건조스트레스를 받게 된다(Escher et al., 2008). 그래서 증산 속도가 높은 겨우살이류 식물은 건조스트레스에 비교적 내성이 있는 수령이 오래되고 큰 나무에 자생한다고 보고(Ullmann et al., 1985)된 바 있으며, 이미 국내 연구에서도 꼬리겨우살이는 수령이 오래되고 큰 나무에 주로 기생하는 것으로 밝혀(Lee and Kang, 2011)진 바 있다. 또한 기주목의 잎이 겨우살이를 가리게 되는 음지환경의 낮은 광량에서 겨우살이의 광합성 속도가 높지 않으면 도태되기 때문에 기주목보다 높은 증산작용으로 주변 온도를 낮춰줌으로써 겨우살이에게 광합성에 유리한 환경조건을 조성한다(Hollinger, 1983).

꼬리겨우살이의 수분이용효율은  $0.99\sim 4.71 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 겨우살이는  $0.68\sim 5.85 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 기주목인 신갈나무(*Q. mongolica*)는  $1.96\sim 6.54 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 꼬리겨우살이 및 겨우살이보다 높게 나타났다. 수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률로 꼬리겨우살이와 겨우살이의 광합성 속도는 광포화점 도달 시 일정한 속도를 유지하는 반면 증산 속도는 기주목의 증산 속도보다 높아야하기 때문에 수분이용효율이 감소된다. 이러한 결과는 영산홍(*Rhododendron indicum*) 피음처리시 광합성 속도는 일정한 반면, 증산 속도 증대로 이어져 수분이용효율이 감소한다는 결과와 일치하였다(Lee et al., 2010). 이와는 반대로 구상나무(*Abies koreana*) 쇠약개체의 경우 광합성 속도는 건전개체와 비슷하지만 증산 속도가 낮아져 결국 수분이용효율이 높아진다고 보고(Lim et al., 2006)하였다. 이처럼 식물체가 처한 환경이나 생육특성에 따라 광합성 속도 보다는 증산 속도가 영향을 더 받는 것으로 생각되며 꼬리겨우살이는 기주목보다 증산 속도가 항상 높은 특이한 생리특성을 지닌 것으로 밝혀졌다.

이상의 결과와 같이 꼬리겨우살이는 기주목이 잎을 가려 만들어지는 음지환경 특성과 기주목이 처한 환경요인에 따라 보다 낮은 광보상점과 광포화점, 높은 증산 속도와 낮은 수분이용효율 등과 같은 생리특성(Luttge et al., 1998; Escher et al., 2004)을 지니고 있는 것으로 나타났다.

### 3) 계절에 따른 엽록소형광반응

엽록소형광반응의 지표인 광화학반응 효율( $Fv/Fm$ )은 1,

2월 겨우살이가 0.17 이상의 값을 나타냈다가 3월부터 서서히 회복하였다(Table 3). 꼬리겨우살이는 잎의 개엽이 시작되는 5월 중순 겨우살이와 같이 0.6의 값을 보였다가 6월부터 9월 초까지 건강한 고등식물의 값(Joeng, 2002)을 나타내는 0.8에 가까운 값을 나타내었고 온도가 가장 높았던 8월 0.79로 낮아졌다 9월 0.82 이상으로 높아졌다. 겨우살이의  $Fv/Fm$ 은 10월 이후 급감하여 0.6이하로 떨어졌고, 12월에는 0.17로 낮아졌는데 이는 광계II(photosystem II: PS II)가 손상을 입었거나 시간이 경과함에 따라 식물체에 가해지는 스트레스가 누적(Oh and Koh, 2004)됨에 따른 것으로 생각된다. 광합성의 시작은 잎의 엽록체에 위치한 엽록소가 빛을 받아 광화학반응으로 들뜬 에너지를 변환하고, 형광반응을 보이면서 광합성이 진행된다.  $Fo$ (Minimum Fluorescence)는 들뜬 에너지가 광계 II 반응 중심으로 이동하기 전 광계 II 안테나의 용기된 엽록소 분자들에 의하여 발생하는 형광 반응 중 최소 형광을 의미하며  $Fm$ (Maximum Fluorescence)은 광량을 완전히 환원시킬 수 있는 포화광을 조사했을 때 유도되는 최대 형광을 의미한다(U et al., 1994). 여기에서 형광의 비  $Fv$ (Variable Fluorescence)/ $Fm$ (= $(Fm-Fo)/Fm$ )를 엽록소 형광반응을 통한 광화학반응 효율이라 하여 주로 식물이 처한 스트레스의 지표로 사용된다.

4월과 11월 잎이 없는 꼬리겨우살이와 기주목(신갈나무)과는 달리 상록성인 겨우살이의  $Fv/Fm$  값은 각각 0.41 및 0.65로 나타났다. 이러한 결과는 유럽겨우살이(*V. album*) 또한 모든 계절 엽에서 탄소 동화작용이 가능한 것으로 보고(Seledzhanu and Galan-Fabian, 1961)된 것과 일치하였다. 일본에 자생하는 겨우살이(*V. album* var. *coloratum*) 역시 겨울(10°C)에도 높은 광합성 속도를 보였고, 광합성을 위한 최저 온도를 -5°C로 제시한 바 있다(Choe, 1972). 본 연구에서 겨울철 겨우살이 광합성 속도는 0에 가까웠으며, 이는 국내 겨우살이 자생지 평균 온도가 -5°C 이하(홍천 기상관측소 평균)였으며, 12, 1, 2월의 잎 외부 온도 측정 시 각각 3, 2, 4°C로 측정되어, 추운 온도에 적응하여 광합성을 하지 않는 휴면기에 접어든 것으로 판단된다.

### 3. 계절에 따른 꼬리겨우살이와 겨우살이의 엽록소 함량

계절 변화에 따른 꼬리겨우살이와 겨우살이 엽록소 함량은 Table 4와 같이 꼬리겨우살이는 엽록소 a, b 함량에 있어서 뚜렷한 경향을 나타내었는데, 엽록소 a 값은 7월까지는 상승하였다가 8월부터 급격히 감소하였고, 10월에 최저값을 나타내었다. 엽록소 b 값은 3월에 최고값을 나타내었다가 계절이 지남에 따라 유의적으로 감소하였다. 꼬리겨우살이의 엽록소 a+b 함량은 엽록소 a 값과 유사한 경향으로 광합성을 활발하게 하는 시기인 7월에 큰 폭( $8.23 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )으로 상승하였다가 8월부터 큰 폭으로 감소하

Table 4. Seasonal change of chlorophyll contents in *L. tanakae* (L) and *V. album* var. *coloratum* (V) under different date.

Species <sup>z</sup>	Date	Chlorophyll contents (mg·g <sup>-1</sup> )			Chlorophyll a/b <sup>***</sup>
		a <sup>***y</sup>	b <sup>***</sup>	a+b <sup>***</sup>	
L	25-May	3.86±0.48 <sup>x,yw</sup>	2.26±0.08a	6.13±0.56b	1.70±0.16c
	14-Jun	5.08±0.29b	1.52±0.14c	6.61±0.43b	3.34±0.15a
	26-Jul	6.25±1.06a	1.97±0.25b	8.23±1.31a	3.14±0.18a
	14-Aug	3.49±0.29c	1.38±0.11c	4.88±0.39c	2.53±0.23b
	15-Sep	1.39±0.05d	0.51±0.05d	1.91±0.09d	2.71±0.27b
	16-Oct	0.96±0.14d	0.26±0.06d	1.22±0.19d	3.72±0.46a
V	10-Jan	4.07±0.45bcd	3.56±0.14a	7.63±0.61bc	1.14±0.08d
	15-Feb	3.83±0.84bcd	3.37±0.24a	7.21±1.06c	1.13±0.18d
	15-Mar	2.16±0.35cd	1.31±0.13d	3.48±0.47d	1.63±0.15cd
	12-Apr	2.81±1.01cd	1.67±0.11d	4.47±1.06d	1.66±0.57cd
	25-May	4.79±1.51bc	2.58±0.53b	7.38±1.21c	1.76±0.58c
	14-Jun	8.11±0.84a	2.17±0.29bc	10.27±1.11a	3.76±0.26b
	26-Jul	8.11±1.95a	1.78±0.34cd	9.89±2.23ab	4.55±0.64a
	14-Aug	5.61±1.01b	1.59±0.23d	7.19±1.31c	3.52±0.22b
	15-Sep	7.65±1.46a	2.31±0.51b	9.94±1.96ab	3.34±0.14b
16-Oct	6.74±0.57ab	2.15±0.76bc	8.89±1.31b	3.31±0.64b	

<sup>z</sup>L : *L. tanakae*, V : *V. album* var. *coloratum*

<sup>y\*\*\*</sup>Significant at the 0.1% level.

<sup>x</sup>Values are means ± standard deviation (n=5).

<sup>w</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

었다. 이러한 결과는 수목의 생육이 가장 활발한 시기인 7월에 광합성 속도가 가장 높았으며, 엽록소 함량 또한 가장 높았다는 결과(Weng et al., 2005)와 일치하였다. 겨우살이의 엽록소 a 함량은 3월에 최저값을 나타내었다가 점차 상승하여 6월과 7월에 최고값을 나타내었고, 엽록소 b 함량은 1월과 2월에 최고값을 나타내었으나 3월에 최저값을 나타내었다. 엽록소 a+b 함량은 엽록소 a 함량과 유사한 경향으로 3월에 가장 낮았으며, 6월과 7월에 가장 높았다. 특히 꼬리겨우살이 엽록소 함량이 높은 6월과 7월에 최대 광합성 속도를 보인 것과 겨우살이 엽록소 함량이 높은 6월과 9월에 최대 광합성 속도를 보인 것은 엽록소 함량은 광합성 능력과 비례한다는 보고와 일치하였다(Kim et al., 2008). 엽록소 a+b함량은 겨우살이가 꼬리겨우살이보다 높았는데 이는 일본에 자생하는 겨우살이 또한 다른 식물에 비해 엽록소 a+b 함량이 높았다는 보고와 일치하였다(Choe, 1972). 겨우살이의 엽록소 함량이 꼬리겨우살이보다 높았음에도 불구하고 광합성 속도가 꼬리겨우살이보다 낮고 광보상점이 높은 이유는 광합성 효율이 꼬리겨우살이보다 떨어지기 때문인 것으로 생각된다. 광합성 효율이 감소하는 주요 원인은 겨우살이는 겨울에도 광합성이 가능하여 겨울철 기주목의 잎이 다 떨어져 양지 상태의 광량 적응 및 저온 등의 극심한 환경 스트레스에 처하게 된다(Gilmore and Ball, 2000). 그래서 겨우살이 잎은 환경 스트레스에 적응하는 방어체계(잎의 두꺼움, 엽육세포내 빈 공간, 세포벽 강화)를 지니게 되고 이러한

방어체계가 오히려 광합성 효율을 감소시키는 것(Choe, 1972; Oguchi et al., 2006)으로 생각된다. 특히 엽록소 함량이 많음에도 불구하고 광합성 효율이 떨어지기 때문에 부족한 광합성 산물을 기주목으로부터 획득하는 것으로 추측(Choi et al., 2009)되고 있다. 이에 따라 겨우살이의 방어체계가 광합성 효율에 대한 면밀한 연구가 필요하다.

Vicas et al.(2010)은 유럽겨우살이(*V. album*)의 기주목에 따른 엽록소 함량 중 엽록소 a는 6.9~14.8 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 b는 2.1~5.4 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 a+b는 9.1~20.2 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 a/b는 2.5~3.2의 값을 나타내어 본 실험 결과인 겨우살이 엽록소 a 2.2~8.1 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 b 1.3~3.6 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 a+b 3.5~10.3 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 a/b 1.1~4.6, 꼬리겨우살이 엽록소 a 0.9~6.3 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 b 0.3~2.0 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 a+b 1.3~8.2 mg·g<sup>-1</sup>, 엽록소 a/b 2.4~3.7과 큰 차이를 보였으며, 이는 자생하는 지역과 종이 다른 것에 기인한 것으로 판단된다. 엽록소 a/b 비율은 겨우살이가 1월부터 5월 사이 1.1~1.7로 낮았으나, 광합성이 활발해지는 6월 이후 3.3~4.5로 나타났다. 꼬리겨우살이는 5월만 제외하고는 거의 3에 가까운 엽록소 a/b 비율을 나타내었다. 고등식물에서 엽록소 a는 광합성에 작용하는 주요인자이며, 엽록소 b는 보조인자로 작용하는 것으로 알려져 있다(Vicas et al., 2010). 또한 엽록소 a/b 비율은 환경 조건에 반응하거나 음지에 대한 적응성을 나타내는 지표(Brown et al., 1991)이며, 엽록소 b는 엽록소 a보다 넓은 파장대의 광선을 흡수하기 때문에 음지에 적응한 식물이 양지에 적

응한 식물보다 많이 함유하게 되며, 결국 엽록소 a/b 비율이 낮을수록 음수성을 나타내게 된다(Goncalves et al., 2001). 일반적으로 엽록소 a와 b의 비율을 양지식물과 음지식물의 지표로 사용하며, 양지식물은 3.0에 가까우며, 음지식물일수록 낮아진다고 알려져 있다(Boardmann, 1977; Logan et al., 1996). 하지만 본 연구에서 조사된 겨우살이와 꼬리겨우살이는 음지환경에 적응한 것임에도 불구하고 3.0에 가까운 높은 엽록소 비율을 나타내었다. Vicas et al.(2010)은 2월에 측정된 유럽겨우살이(*V. album*)의 엽록소 a/b 비율이 3~3.8 사이임을 보고하여 본 연구결과(1.1)와 큰 차이를 보였는데, 이는 중, 자생하는 지역 및 기주목의 차이에서 발생된 것으로 생각된다.

## 결론

본 연구는 희귀기생식물인 꼬리겨우살이의 보전을 위한 생리 특성을 구명하기 위한 것으로 꼬리겨우살이와 겨우살이뿐만 아니라 기주목인 신갈나무의 생리특성 또한 조사하였다. 그 결과 꼬리겨우살이는 적은 광량 하에서 높은 광합성 속도를 보여 광보상점과 광포화점이 다른 식물에 비해 매우 낮은 것으로 추정할 수 있었다. 특히 꼬리겨우살이의 증산 속도는 기주목이나 겨우살이보다 항상 높은 값을 유지하였는데 이는 기생식물이 기주목으로부터 양분을 효율적으로 이동시키기 위한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 꼬리겨우살이가 기생한 기주목 줄기 윗부분이 고사하는 현상을 뒷받침하였다. 꼬리겨우살이와 경쟁 관계에 있는 겨우살이는 꼬리겨우살이보다 광합성 속도가 항상 낮았으나 광합성 가능 기간이 2~3개월 더 길었고, 줄기 부분도 광합성이 가능한 것으로 알려져 있어 추후 동일 기주목에서 전체적인 광합성량을 비교하는 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다. 무엇보다 인위적 광량변화에 따른 꼬리겨우살이와 겨우살이의 생리특성이 기주목 위에서 진행함으로써 보다 정확한 광보상점 및 광포화점을 구명하는 연구가 진행되어야 하며 이러한 연구는 꼬리겨우살이의 보전을 위한 기초 전략 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것입니다(과제번호 2012-0001699).

## References

Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun

and shade plants. Annual Review of Plant Physiology 28: 355-377.

Brown, S.B., Houghton, J.D., and Hendry, G.A.F. 1991. Chlorophyll breakdown. In: Scheer, H(ed.). Chlorophylls. CRC Press, Boca Raton, USA. pp. 465-489.

Choe, H.S. 1972. Dry-matter economy of common mistletoe, *Viscum album* var *coloratum*. Journal of Kyunghee University 7: 217-230. (in Korean, with English abstract)

Choe, H.S., Kwon, S.J., Hong, H.C., and Moon, S.K. 1992. Growth analytical studies of oak plants based on the physiological characteristics of photosynthesis and respiration. Theses Collection of Kyung hee University 21: 293-303. (in Korean, with English abstract)

Choi, K., Park, K.W., Kim, H.J., Lee, J.D., Koo, J.C., and Whang, S.S. 2009. Anatomy of the Korean mistletoe and their haustorial features in host. Korean Journal of Plant Taxonomy 39: 4-11. (in Korean, with English abstract)

Chung, S.H. 2002. Studies on the photosynthesis, transpiration, stomatal conductance of deciduous oak species. Phd thesis in Kangwon University. pp. 17, 38, 100. (in Korean, with English abstract)

Escher, P., Eiblmeier, M., Hetzger, I., and Rennenberg, H. 2004. Seasonal and spatial variation of carbohydrates in mistletoes (*Viscum album*) and the xylem sap of its hosts (*Populus × euamericana* and *Abies alba*). Physiologia Plantarum 120: 212-219.

Escher, P., Peuke, A.D., Bannister, P., Fink, S., Hartung, W., Jiang, F., and Rennenberg, H. 2008. Transpiration, CO<sub>2</sub> assimilation, WUE, and stomatal aperture in leaves of *Viscum album* (L.): Effect of abscisic acid (ABA) in the xylem sap of its host (*Populus × euamericana*). Plant physiology and biochemistry 46: 64-70.

Gilmore, A.M. and Ball, M.C. 2000. Protection and storage of chlorophyll in overwintering evergreens. Proceedings of the National Academy of Sciences 97: 11098-11101.

Glatzel, G. 1983. Mineral nutrition and water relations of hemiparasitic mistletoes: a question of partitioning. Experiments with *Loranthus europaeus* on *Quercus petraea* and *Quercus rubur*. Oecologia 56: 193-201.

Glatzel, G. and Geils, B.W. 2009. Mistletoe ecophysiology: host-parasite interactions. Botany 87: 10-15.

Glime, J.M. 2007. Bryophyte ecology. Volume 1. Physiological ecology. Chapter 9-1: Light: The shade plants. published online at <http://www.bryoecol.mtu.edu/>

Goncalves, J.F., Marengo, R.A., and Vieira, G. 2001. Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 13: 149-157.

Haldimann, P., Gallé, A., and Feller, U. 2008. Impact of an exceptionally hot dry summer on photosynthetic traits in oak (*Quercus pubescens*) leaves. Tree Physiology 28: 785-795.

Han, J.G., Son, S.G., Kim, S.H., Kim, C.S., Hwang, S.I., and



- Byun, K.O. 2008. Photosynthesis, chlorophyll contents and leaf characteristics of *Ilex rotunda* under different shading treatments. Korean Journal of Plant Resources 21: 299-303. (in Korean, with English abstract)
- Han, S.S., Kim, Y.M., and Kang, S.C. 1988. The study on photosynthesis and respiration of mistletoe. Research bulletin of the experiment forests, Kang weon national University 8: 3-8. (in Korean, with English abstract)
- Hollinger, D.Y. 1983. Photosynthesis and water relations of the mistletoe, *Phoradendron villosum*, and its host, the California valley oak, *Quercus lobata*. Oecologia 60: 396-400.
- Joeng, B.C. 2002. Study of the properties of photosynthetic organisms using chlorophyll fluorescence. Biowave 4: 1-23. (in Korean)
- Johnson, J.M. and Choinski, J.S. 1993. Photosynthesis in the *Tapinanthus-Diptorhynchus* mistletoe-host relationship. Annals of Botany 72: 117-122.
- Kim, S.H., Saung, J.H., Kim, Y.K., and Kim, P.G. 2008. Photosynthetic responses of four oak species to changes in light environment. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 10: 141-148. (in Korean, with English abstract)
- KNA(Korea National Arboretum). 2012. Rare plants in Korea. Sumeunkil. Gyeonggi, Korea. pp. 177. (in Korean)
- Lee, C.B. 1980. Korea illustrated plant book. Hyangmoonsa, Seoul, Korea. pp. 295-296. (in Korean)
- Lee, K.C., Kim, C.W., Yi, J.S., and Han, S.S. 2012. Seasonal changes of water relations parameters of the Korean mistletoe (*Viscum album* var. *coloratum*) leaves. Journal of Korean Forest Society 101: 461-468. (in Korean, with English abstract)
- Lee, K.J., Song, K.S., Chung, Y.S., Yoon, T.S., Hong, S.K., Kim, J.H., Lee, S.W., and Kim, J.J. 2010. Physiological responses of *Rhododendron mucronulatum* and *R. indicum* with shading treatment in autumn season. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 28: 403-408. (in Korean, with English abstract)
- Lee, S.G. and Kang, H.D. 2011. Host preference and habitat characteristics of the endangered mistletoe species, *Loranthus tanakae* in Korea. Journal of Korean Forest Society 100: 441-448. (in Korean, with English abstract)
- Lee, S.G., Chung, J.M., Kim, S.S., Woo, S.Y., and Kang, H.D. 2013. Distribution, habitat characteristics and assessment of the conservation status of a rare mistletoe species, *Loranthus tanakae*(Loranthaceae) in Korea. Journal of Korean Forest Society 102: 428-436. (in Korean, with English abstract)
- Lim, J.H., Woo, S.Y., Kwon, M.J., Chun, J.H., and Shin, J.H. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean fir in Mt. Halla. Journal of Korean Forest Society 95: 705-710. (in Korean, with English abstract)
- Logan, B.A., Barker, D.H., Demmig-Adams, B., and Adams, W.W. 1996. Acclimation of leaf carotenoid composition and ascorbate levels to gradients in the light environment within an Australian rainforest. Plant Cell Environment 19: 1083-1090.
- Luttge, U., Mundayata, H., Fernades, G.W., Mattos, E.A., de Trimbora, P., Franco, A.C., Caldas, L.S., and Ziegler, H. 1998. Photosynthesis of mistletoes in relation to their hosts at various sites in tropical Brazil. Trees 12: 167-174.
- Macarthur, R.H. and Connell, J.H. 1967. The biology of populations. Wiley and Sons Press, New York. p. 216.
- Norton, D.A. and Carpenter, M.A. 1998. Mistletoe as parasites; host specificity and speciation. Trends in Ecology and Evolution 13: 101-105.
- Oguchi, R., Hikosaka, K., Hiura, T., and Hirose, T. 2006. Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperate deciduous forest. Oecologia 149: 571-582.
- Oh, S.J. and Koh S.C. 2004. Chlorophyll fluorescence and antioxidative enzyme activity of Crinum leaves exposed to natural environmental stress in winter. Korean Journal of Environmental Biology 22: 233-241.
- Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-155.
- Qi, X.X., Jiang, Y.S., Wei, X., Tang, H., Xiong, Z.C., Ye, W.H., and Wang, Z.M. 2012. Photosynthetic characteristics of an endangered species *Camellia nitidissima* and its conservation implications. Pakistan Journal of Botany 44: 327-331.
- Schulze, E.D. and Ehleringer, J.R. 1984. The effect of nitrogen supply on growth and water-use efficiency of xylem-tapping mistletoes. Planta 162: 268-275.
- Schulze, E.D., Turner, N.C., and Glatzel, G. 1984. Carbon, water and nutrient relations of two mistletoes and their hosts: A hypothesis. Plant, Cell & Environment 7: 293-299.
- Seledzhanu, N. and Galan-Fabian, D. 1961. Nutrition of common mistletoe. Fiziologiya Rastenii 8: 547-554. English Translated in Plant Physiology. 1962. 8: 436-442.
- Sim, J.S. and Han, S.S. 2003. Photosynthetic responses of leaves to change of light intensity = ecophysiological characteristics of deciduous oak species (III). Journal of Korean Forest Society 92: 208-214. (in Korean, with English abstract)
- Song, J.H., Lim, H.I., Jang, K.H., and Han, J.G. 2013. Characteristics of leaf morphology and genetic variation of the rare woody plant, *Berchemia racemosa* var. *magna*. Korean Journal of Plant Resources 26: 613-618. (in Korean, with English abstract)
- Stewart, G.R. and Press, M.C. 1990. The physiology and biochemistry of parasitic angiosperms. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 41: 127-

- 151.
- Strong, G.L., Bannister, P., and Burritt, D. 2000. Are mistletoes shade plants? CO<sub>2</sub> assimilation and chlorophyll fluorescence of temperate mistletoes and their hosts. *Annals of Botany* 85: 511-519.
- U, Z.K., Song, S.J., and Hansen, U. 1994. Stress effects on photosynthesis of greenhouse plants as measured by the fluorescence method. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 13: 183-190.
- Ullmann, I., Lange, O.L., Ziegler, H., Ehleringer, J.R., Schulze, E.D., and Cowan, I.R. 1985. Diurnal courses of leaf conductance and transpiration of mistletoes and their hosts in Central Australia. *Oecologia* 67: 577-587.
- Vicas, S.I., Rugina, D., Pantea, S., and Socaciu, C. 2009. The morphological features and UV-VIS analysis of some taxonomic markers of genus *Viscum*. *Bulletin UASVM* 66: 193-200.
- Vicas, S.I., Laslo, V., Pantea, S., and Bandici, G.E. 2010. Chlorophyll and carotenoids pigments from mistletoe (*Viscum album*) leaves using different solvents. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie* 17: 213-218.
- Weng, J.H., Liao, T.S., Sun, K.H., Chung, J.C., Lin, C.P., and Chu, C.H. 2005. Seasonal variations in photosynthesis of *Picea morrisonicola* growing in the subalpine region of subtropical Taiwan. *Tree Physiology* 25: 973-979.
- Wei, X., Jiang, Y.S., Jiang, S.Y., Qi, X.X., Xiong, Z.C., Ye, W.H., and Wang, Z.M. 2008. Photosynthetic characteristics of an endangered species *Camellia nitidissima* and its widespread congener *Camellia sinensis*. *Photosynthetica* 46: 312-314.

---

(Received: January 14, 2014; Accepted: December 30, 2014)