

Research Article

영농형 태양광 시스템 하부를 활용한 조사료 생육 연구

남철환^{1,*}, 박만호¹, 윤안아¹, 지희정², 최보람², 선상수³

¹전라남도농업기술원 축산연구소, ²국립축산과학원, ³전남대학교

Study on Forage Production under Agrivoltaic System

Cheol Hwan Nam^{1,*}, Man Ho Park¹, An A Yun¹, Hee Jung Ji², Bo ram Choi² and Sang Soo Sun³

¹Livestock Institute, Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services, Kangjin 59213, Korea

²National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan, 31000, Korea

³Dept of Animal Science, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

ABSTRACT

In the winter forage study, Italian ryegrass(IRG) and barley were selected. In 2018, the dry matter yield of IRG was 16,915kg per ha under the Agrivoltaic System; this was a little more than 16,750kg per ha of outdoors. On the contrary, the dry matter yield of barley was slightly less under the Agrivoltaic System than that of outdoors. In 2019, the dry matter yield under the Agrivoltaic System was 12,062kg per ha for IRG and 12,195kg per ha for the barley; this was 5.4% and 11.5% less than that of outdoors, respectively. In the summer forage study, corn and sorghum×sudangrass were selected. In 2019, the dry matter yield of corn under the Agrivoltaic System was 13,133kg per ha which was 17% less than that of outdoors. The dry matter yield of sorghum×sudangrass was 12,450kg per ha, which was 82.5% of that of outdoors. In 2020, the dry matter yield of corn under the Agrivoltaic System was 8,033kg per ha which was 7.9% less than that of outdoors. The dry matter yield of sorghum×sudangrass was 5,651kg per ha, which was 11.4% less than that of outdoors.

(Key words: Agrivoltaic System, Forage, Production)

I. 서론

세계는 이미 4차 산업혁명의 시대가 되었고, 농업 또한 예외가 아니다. 선진국은 첨단 농업에 대한 투자를 늘리고 있고, 신재생 에너지 발전을 추진하고 있다. 구글 등 세계적 IT 기업들은 농업에 ICT와 BT를 접목한 에그테크 분야로 사업영역을 확장하고 있다.

우리나라는 2015년 온실가스 배출을 줄여 지구의 온도 상승을 막기 위한 파리기후변화협약에 가입하였고, 이에 따라 정부는 탈원전, 재생에너지 3020 정책 등을 추진하고 있다. 정부는 정책에서 2019년 전력 시장의 4%에 불과한 신재생 에너지의 점유율을 2030년까지 20%까지 올리겠다고 보고하였는데, 이를 달성하기 위해서는 태양광 에너지의 확보가 중요하다.

영농형 태양광 발전은 농지에서 작물을 재배하면서, 위에서는 태양광 발전을 병행하는 시스템으로 농업 수익과 전기발전 수익을 함께 얻을 수 있다. 기존에 설치된 대부분의 태양광 발전 시설은 전기 생산에만 이용될 뿐 시설물 아래 땅은 거의 활용되지 않는데, 영농형 태양광은 토지의 활용 측면에서 유리하다. 또한 농

업인 수익 증가와 안정화를 기대할 수 있어 농업인의 농촌 이탈을 막을 수 있다. 통계청 자료에 따르면 2019년 전국 농가 인구는 2,244천 명으로 2010년 3,062천 명과 비교하여 26.7% 감소하였고, 농지 면적은 171만ha(2010)에서 158만ha(2019)로 감소하였으며, 평균 연령은 계속 증가하여 고령화가 심화되고 있다. 절대농지 등 규제로 막혀있는 지역에 대해 태양광 발전과 작물 재배를 병행하는 조건으로 농업인에 영농형 태양광 발전을 허가한다면 귀농 인구의 유입에도 도움을 주어 고령화 현상을 막을 수 있을 것으로 사료된다. 우리나라와 농촌 실정이 비슷한 일본의 경우 2013년 농지 전용 허가 제도에 관한 취급을 명확화하여 영농형 태양광 운영을 허가제로 관리하고 있고, 작물의 재배와 함께 80% 이상의 생산성을 의무화하고 있어 영농형 태양광 시설물 허가를 받은 자는 직접 작물을 재배하거나 다른 경작자를 구해서 계속 작물 재배하여야만 한다.

하지만 태양전지모듈 하부 경지에서 작물을 재배하는 것은 일사량 부족 등 일반 노지와 재배환경이 달라 영농형 태양광 하부의 땅에 적응할 수 있는 작물 선발과 재배법 확립이 필요하다. Seo

*Corresponding author: Choel Hwan Nam, Livestock Institute Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services, Kangjin 59213, Korea.
Tel: +82-61-286-5864, Fax: +82-61-286-4165, E-mail: nch1985@korea.kr

et al. (1990)은 작물 재배에서 자연광량은 적어도 50% 이상은 되어야 적합하다고 보고하였고, Kim et al. (2015)은 차광률에 따라 작물의 적응력이 달라 식생 구성이 달라진다고 보고하였다.

본 연구는 태양전지모듈의 하부에 있는 경지에서 연중 사료작물을 재배한 결과를 분석하여 신재생 에너지의 이용 및 확산을 위한 기초자료로 활용함과 더불어 영농형 태양광 사업을 육성하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 재배 조건 및 방법

본 연구는 전남 강진군에 위치한 전라남도농업기술원 축산연구소 시험포장에서 2018년 10월부터 2020년 9월까지 수행하였다. 재배는 동계작물로 IRG(코윈어리)와 청보리(유연)를, 하계작물은 옥수수(광평옥)와 수수×수단그라스 교잡종(sx-17)을 대상으로 하였다. 동계작물은 2018년 10월 20일과 2019년 10월 17일에 파종하여 5월 중순에 수확하였고, 하계작물은 2019년 6

월 29일과 2020년 6월 3일에 파종하여 9월 중·하순에 수확하였다. 그밖에 파종량 및 시비량 등은 농촌진흥청 조사료 표준재배법에 따라 실시하였다(RDA, 2011). 시험구 배치는 난괴법 4반 복으로 하였고, 면적은 20m²(4m×5m)이었다. 태양광 발전 시설물은 10kW급으로 하부는 평균 34%의 차광 영향을 받는 조건이다(Fig. 1). 파종시기에 조사한 시험포장의 토양 이화학적 성상은 Table 1과 같고, 재배기간의 평균온도, 강수량 등 기후조건은 Table 2와 같다.

2. 조사항목 및 방법

조사항목으로 출수기, 초장, 수량성 등을 조사하였다. 출수기는 시험구 전체 줄기가 40% 이상 출수한 날을 기준으로 하였고, 초장은 수확기에 지상부에서 이삭 선단까지 길이로 생육이 균일한 곳에서 20개체를 측정하였다. 수량은 노지 재배 시험구에서는 전체를 수확하여 환산하였고, 태양전지모듈 하부 경지는 균일한 차광 조건을 맞추기 위해 시험구 안쪽 1m²를 수확하여 환산하였다. 건물 수량은 수확기에 처리구별 생초 수량을 조사하고, 60℃ 건조기에서 5일 이상 건조하여 2~3회 측량한 후 건조량의 변화

Table 1. Chemical properties of soil in experimental station

Date	Division	pH (1:5)	EC ¹⁾ (dS/m)	OM ²⁾ (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cations ³⁾ (cmol ⁺ kg)		
						K	Ca	Mg
Oct. 2018	Solar	6.1	0.63	36	142	0.76	7.20	2.06
	Normal	5.9	0.88	33	117	0.77	7.23	2.00
Jun. 2019	Solar	6.4	0.43	29	66	0.31	6.11	1.78
	Normal	6.5	0.43	29	66	0.37	5.94	1.87
Oct. 2019	Solar	6.5	0.44	41	165	0.56	7.26	2.02
	Normal	6.6	0.52	41	134	0.61	7.06	2.07
Jun. 2020	Solar	6.6	0.45	38	201	0.63	8.39	2.23
	Normal	6.6	0.50	36	158	0.70	7.95	2.24

¹⁾EC: electrical conductivity, ²⁾OM: organic matter, ³⁾Ex. cation: exchange cation.



Fig. 1. Solar system and forage being grown.

Table 2. Monthly meteorological data around the experimental periods in Gangjin

Year	Month	Mean temp (°C)	Precipitation (mm)	Number of rainy days
2018	Oct.	14.5	260.6	6
	Nov.	9.4	38.8	7
	Dec.	3.5	30.4	10
2019	Jan.	2.3	10.1	7
	Feb.	3.8	35.2	6
	Mar.	8.1	56.3	8
	Apr.	12.2	96.3	10
	May	18.1	137.0	7
	Jun.	21.5	275.1	10
	Jul.	24.7	247.4	15
	Aug.	26.4	94.0	9
	Sep.	22.7	285.6	15
	Oct.	16.6	183.1	5
	Nov.	10.6	22.0	8
	Dec.	4.4	39.0	6
2020	Jan.	4.7	95.0	11
	Feb.	5.1	40.4	11
	Mar.	8.4	37.9	6
	Apr.	11.0	63.6	6
	May	17.9	161.5	10
	Jun.	22.7	332.1	13
	Jul.	23.1	398.3	24
	Aug.	27.6	253.0	13
	Sep.	21.3	221.0	16

가 없는 건조물을 측정하여 건물물을 구한 후 생초 수량에 곱하여 구하였다.

3. 화학적 성분 및 사료가치 분석

성분은 건물중을 측정된 시료를 이용하여 잎과 줄기를 혼합하여 조단백질(crude protein, CP), 산성세제불용성 섬유소(acid detergent fiber, ADF), 중성세제불용성 섬유소(neutral detergent fiber, NDF)를 분석하였다. 조단백질 함량은 AOAC(1990)법에 의거하여 켈달장치(Kjeltec TM 2400 Autosampler System)를 이용하여 분석하였고, NDF 및 ADF 함량은 Goering and Van Soest(1970)법에서 사용되는 시약을 이용하여 Ankom fiber analyzer(Ankom technology)로 분석하였다.

사료가치는 화학적 성분 조사에서 얻어진 ADF와 NDF 값을

이용하여 가소화영양소총량(total digestible nutrients, TDN)를 $88.9 - (0.79 \times ADF\%)$ 의 계산식을 이용하여 산출하였다(Holland et al., 1990).

4. 통계분석

본 실험에서 얻어진 자료의 통계분석은 Windows SPSS/PC(ver. 18.0)의 T-test를 이용하여 5% 수준에서 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 생육환경

동·하계 작물 재배기간별 생육환경은 Table 3와 같다. 태양전지모듈 하부 경지의 일사량은 노지에 비해 평균 24% 이상 낮았고, 2019년과 2020년 모두 6월에 가장 큰 차이를 보였다. 조도 값은 태양전지모듈의 하부 경지가 평균 41% 이상 낮았고, 2019년은 5월에, 2020년은 4월에 노지와 가장 큰 차이를 나타냈다. 2019년 동·하계 사료작물 재배 기간의 일사량과 조도는 2018년 보다 낮았고, 토양 온도와 습도는 비슷하거나 조금 낮은 수준으로 차이가 적었다.

2. 동계 사료작물

동계 사료작물의 월동 전·후 생육특성은 Table 4와 같다. 입모 율과 월동 전·후 초장은 태양전지모듈 하부 경지의 작물에서 공통적으로 높았다. 2019년 파종시기인 10월부터 월동 후까지 토양 평균 온도가 노지보다 높았는데, 이는 찬바람 등 외부요인이 태양전지모듈 시설물로 인해 토양에 직접적인 영향을 줄여 작물 초기 생육에 도움을 주었을 것으로 사료된다.

동계 사료작물의 출수기, 수량성 등은 Table 5와 같다. IRG는 태양전지모듈 하부 경지에서 출수기가 하루 늦었고, 청보리는 2018년은 3일 2019년에는 하루가 늦어 공통적으로 차광 조건에서 출수기가 늦었다. 이는 태양전지모듈 시설물이 바람, 태양광 등 외부 환경을 일정 부분 막아주어 동계작물의 출수기가 늦어지는 공통적인 경향을 나타낸 것으로 사료된다. 초장은 IRG는 노지보다 평균 2~3cm 작았지만, 청보리는 3~8cm가 더 큰 반대되는 경향을 보였다. 도복은 공통적으로 태양전지모듈 하부 작물이 노지 재배 작물보다 많이 발생했다. Lee et al. (2016)은 출수 후 20일의 벼 식물체 도복지수가 차광 처리구에서 현저히 높아졌다고 보고하였고, Evans and De Datta (1979)은 일정 비율의 차광이 계속되면 식물체의 줄기가 연약해지고, 수량을 저하시킨다고 보고하였다. 패널에 부딪힌 하향 돌풍으로 도복 되었을 가능성도

Table 3. Growth environment during cultivation period

Date	Isolation(W/m ²)		Illumination(Ix)		Soil temperature(°C)		Soil humidity(%)	
	Solar	Normal	Solar	Normal	Solar	Normal	Solar	Normal
Jan. 2019	90	125	3,048	6,276	3.9	3.8	27.6	27.5
Feb.	103	146	3,173	6,058	4.4	4.6	31.6	34.6
Mar.	148	203	4,217	7,402	7.7	8.5	31.6	35.0
Apr.	140	209	4,437	7,368	10.3	11.3	31.3	30.9
May	226	307	6,333	10,297	13.8	13.4	33.4	33.8
Mean	141	198	4,242	7,480	8.0	8.3	31.1	32.4
Jun. 2019	185	270	5,506	8,815	18.8	19.4	36.8	38.8
Jul.	149	218	4,422	7,309	23.5	25.4	38.3	40.0
Aug.	158	231	4,866	8,223	24.6	25.7	35.8	38.8
Sep.	123	166	3,340	5,714	21.7	22.0	40.2	42.4
Mean	154	221	4,534	7,515	22.2	23.1	37.8	40.0
Oct. 2019	123	165	3,416	5,833	17.5	17.4	36.0	38.5
Nov.	110	125	2,543	4,804	12.3	12.1	29.8	34.6
Dec.	70	88	1,924	3,771	6.6	6.3	30.8	35.8
Jan. 2020	67	87	1,757	3,374	4.1	3.8	35.0	39.6
Feb.	102	134	2,595	4,665	4.4	4.6	36.4	42.5
Mar.	155	191	3,693	6,251	8.4	8.4	34.4	39.8
Apr.	187	256	4,951	7,876	10.2	10.4	29.9	34.9
May	158	229	4,334	6,392	15.0	15.2	34.4	38.4
Mean	122	159	3,152	5,371	9.8	9.8	33.3	38.0
Jun. 2020	169	246	4,459	6,192	21.3	22.0	39.4	41.2
Jul.	109	153	2,858	4,089	22.1	22.7	45.1	45.3
Aug.	139	195	4,747	5,693	25.9	26.3	42.9	42.8
Sep.	128	165	3,155	4,457	21.8	22.0	41.9	42.6
Mean	136	190	3,805	5,108	22.8	23.3	42.3	43.0

Table 4. Growth characteristics according to the cultivation environment

Division		NSS ¹⁾ (m ²)	Plant height(cm)		Number of leaves		Number of tiller	
			BW ²⁾	AW ³⁾	BW ²⁾	AW ³⁾	AW ³⁾	
IRG	'18	Solar	1,188	12.8	28.3	2.1	4.3	5.9
		Normal	983	11.9	29.0	2.0	4.3	6.8
	'19	Solar	1,072	13.5	31.5	2.3	2.8	5.7
		Normal	988	12.7	28.3	2.3	3.3	6.3
Barley	'18	Solar	539	12.8	26.0	2.0	5.6	5.7
		Normal	534	10.5	23.7	2.7	5.7	6.2
	'19	Solar	609	13.2	27.0	2.9	3.9	6.7
		Normal	512	10.9	24.5	2.7	3.9	6.4

¹⁾NSS: Number of seeding stand, ²⁾BW: Before winter, ³⁾AW: After winter.

Table 5. Effects of winter forage heading date and yield according to cultivation conditions

Division	Heading date	Lodging (1-9) ¹⁾	Plant height (cm)	Yield(kg/ha)					
				Fresh	DM(%)	DM ²⁾	TDN ³⁾		
IRG	Solar	May 2	4	130	65,960	25.7	16,915	9,294	
	`18	Normal	May 1	3	132	65,960	25.5	16,750	9,130
		T-test			ns	ns	ns	ns	ns
	`19	Solar	May 3	4	145	77,075	17.2	13,480	8,506
		Normal	May 2	2	148	66,700	22.0	14,250	8,963
		T-test			ns	ns	ns	ns	ns
Barley	Solar	Apr. 18	5	106	52,300	23.1	12,062	6,825	
	`18	Normal	Apr. 15	3	98	50,880	24.0	12,133	7,009
		T-test			*	ns	ns	ns	ns
	`19	Solar	Apr. 30	4	120	53,550	22.7	12,195	7,902
		Normal	Apr. 29	3	117	55,200	25.1	13,785	8,781
		T-test			ns	ns	ns	ns	ns

**p*<0.05, ¹⁾1: Excellent (strong), 9: Worst (weak), ²⁾DM: dry matter, ³⁾TDN: total digestible nutrients.

있지만, 위와 같은 보고 내용으로 볼 때 장기간의 일조 부족으로 식물체가 연약해져 도복을 가중시킨 것이 더 가능성이 높다고 판단되었다. 2019년 동계 작물 재배 기간인 10월부터 5월까지의 평균 일사량은 태양전지모듈 하부에서는 122W/m²으로 노지의 159W/m²보다 23.3% 적었고, 조도는 3,152Ix로 노지의 5,371Ix보다 41.3% 적었다. 2018년의 경우 10월부터 12월까지의 자료는 포함되지 않았지만 태양전지모듈 하부가 평균 일사량이 141W/m²으로 노지의 198W/m²보다 28.8% 적었고, 조도는 3,152Ix로 노지의 5,371Ix보다 43.3% 적었다. 이러한 환경에서 수량성은 태양전지모듈 하부 경지에서 2018년부터 재배한 IRG가 ha당 건물중 16,915kg으로 노지의 16,750kg보다 조금 많았고, 청보리의 경우 반대로 조금 적었다. 2019년의 경우 태양전지모듈 하부 경지에서 건물중이 IRG가 ha당 12,062kg로 노지보다 5.4% 적었고, 청보리는 12,195kg로 노지보다 11.5% 적었다. Lee et al. (2016)은 벼에 차광 처리 결과 수량을 유의하게 감소시켰다고 보고하였고, Kim et al. (2017)은 차광 정도가 높을수록 목초의 건물수량이 감소된다고 보고하였다. 이 같은 결과들로 볼 때 IRG는 누적 일사량이 707W/m² 및 평균 조도가 3,100Ix 수준에서 수량 변화가 거의 없고, 그 이하의 조건에서도 청보리 보다는 태양전지모듈 하부 재배에 적합한 것으로 판단된다.

동계 사료작물의 사료가치는 Table 6와 같다. 태양전지모듈 하부 작물의 CP 값이 노지 재배 작물보다 공통적으로 높았는데, 부족한 광으로 노지 재배 작물보다 덜 사용된 질소 성분이 잎 등에 축적된 결과로 사료된다. 2019년은 전년도 재배기간보다 평균 일사량이 적었고, 노지와 일사량 차이는 더 컸는데, 그 결과

Table 6. Nutritive value of winter forage according to cultivation conditions

Division	CP ¹⁾ (%)	NDF ²⁾ (%)	ADF ³⁾ (%)	TDN ⁴⁾ (%)		
IRG	`18	Solar	6.1	61.2	43.0	54.9
		Normal	4.9	61.0	43.5	54.5
	`19	Solar	9.4	60.2	32.6	63.1
		Normal	7.4	63.1	32.9	62.9
Barley	`18	Solar	8.9	59.2	40.9	56.5
		Normal	8.7	56.6	39.4	57.8
	`19	Solar	10.2	52.2	30.6	64.8
		Normal	9.4	55.5	31.9	63.7

¹⁾CP: crude protein, ²⁾NDF: neutral detergent fiber, ³⁾ADF: acid Detergent Fiber, ⁴⁾TDN: total digestible nutrients.

2019년에 재배된 사료작물의 CP 값이 전년도 보다 크고, 노지와 CP 값의 차이도 컸다. 식물체의 질소 영양 상태가 좋으면 잎색이 짙다고 알려져 있는데, 실제로 태양전지모듈 하부 식물체의 잎이 육안으로 보기에 더 짙어 보였다. An et al. (2020)은 벼를 영농형 태양광 하부에서 재배한 결과 조단백질이 노지 조건보다 0.5% 높았다고 보고하였고, Lee et al. (2016)은 차광처리는 쌀의 단백질 함량을 높인다고 보고하였으며, Lee et al. (2009)은 일사량이 부족한 조건에서는 늦게까지 벼 종실의 질소 축적이 계속되었다고 보고하였다.

3. 하계 사료작물

옥수수 생육특성은 Table 7과 같다. 2018년 태양전지모듈 하부 옥수수의 출수기는 8월 25일로 노지 조건보다 하루가 늦었고, 2019년은 8월 8일로 노지 조건보다 2일이 늦었다. 동계작물과 마찬가지로 태양전지모듈 하부 재배 조건에서 공통적으로 출수기가 늦었다. 초장은 2019년의 경우 두 시험구가 232cm로 같았지만, 2020년 재배시험에서는 태양전지모듈 하부 옥수수의 초장이 182cm로 노지 조건보다 8cm가 작았다. 2020년의 경우 6월에서 8월까지 평균 강수량과 강우 일수가 2018년보다 많고, 특히 7월의 경우 24일간 비가 내려 옥수수 생육이 좋지 않았다. 도복은 동계 작물과 같이 태양전지모듈 하부 조건에서 더 많이 발생되었다.

수수×수단그라스 생육특성은 Table 8과 같다. 출수기가 공통적으로 노지 조건에서 빨랐고, 초장과 줄기 직경은 태양전지모듈 하부 조건에서 더 낮게 조사되었다. 2019년의 경우 태양전지모듈 하부 조건이 노지보다 도복 발생이 더 많았다. 2020년의 경우 두 시험구 모두 도복이 발생되지 않았는데, 이는 초장이 작은 까닭으로 사료된다.

옥수수의 수량성은 Table 9과 같다. 2019년 태양전지모듈 하부 재배조건의 생초 수량은 ha당 36,833kg으로 노지 조건보다 10.6% 적었고, 건물 수량은 13,133kg으로 17%가 적었다. 2020년은 앞서 언급한 바와 같이 잦은 강우로 인해 생육이 좋지 않아 두 시험구 모두 수량이 적었다. 태양전지모듈 하부 옥수수의 경우 ha당 생초 수량이 17,821kg로 전년대비 48.4% 수준이었고,

Table 7. Growth characteristics according to corn cultivation environment

Division	Heading date	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaves	Lodging (1-9)*	
'19	Solar	Aug. 25	232	14.9	7.5	5
	Normal	Aug. 24	232	14.3	8.8	2
'20	Solar	Aug. 8	182	10.5	11.8	5
	Normal	Aug. 6	190	10.3	10.3	3

*1: Excellent (strong), 9: Worst (weak).

Table 8. Growth characteristics according to sorghum×sudangrass cultivation environment

Division	Heading date	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Sugar content (Brix°)	Number of leaves	Lodging (1-9)*	
'19	Solar	Aug. 27	287	9.0	6.3	6.8	5
	Normal	Aug. 26	311	10.5	6.1	7.7	2
'20	Solar	Aug. 9	220	7.3	8.3	10.2	1
	Normal	Aug. 7	221	7.8	10.1	8.7	1

*1: Excellent (strong), 9: Worst (weak).

Table 9. Yield of corn according to cultivation method

Division	Fresh matter Yield(kg/ha)				DM (%)	Dry matter Yield(kg/ha)				TDN ²⁾	
	Stover	Ear	S:E	Total		Stover	Ear	S:E	Total		
'19	Solar	30,362	6,462	82:18	36,833	35.6	9,282	3,850	72:28	13,133	8,675
	Nm ¹⁾	32,230	8,960	76:24	41,200	37.3	11,230	4,600	71:29	15,833	10,448
	T-test	ns	ns		ns	ns	ns	ns		ns	ns
'20	Solar	9,960	7,861	56:44	17,821	45.1	3,058	4,975	38:62	8,033	6,009
	Nm ¹⁾	13,317	12,739	51:49	26,056	33.5	3,642	5,077	42:58	8,719	6,435
	T-test	ns	*		*	**	ns	ns		ns	ns

¹⁾Nm: normal, ²⁾TDN: total digestible nutrients, *p<0.05, **p<0.01.

Table 10. Yield of sorghum×sudangrass according to cultivation method

Division	Yield(kg/ha)				
	Fresh	DM(%)	Dry matter	TDN**	
'19	Solar	62,312	19.8	12,450	4,171
	Normal	71,960	20.8	15,100	5,089
T-test		ns	ns	ns	ns
'20	Solar	11,789	47.9	5,651	3,611
	Normal	17,337	36.8	6,380	4,224
T-test		*	ns	ns	ns

* $p<0.05$, **TDN: total digestible nutrients.

Table 11. Nutritive value of summer forage according to cultivation conditions

Division		CP ¹⁾ (%)	NDF ²⁾ (%)	ADF ³⁾ (%)	TDN ⁴⁾ (%)	
Corn	'19	Solar	10.9	32.0	47.1	51.7
		Normal	11.0	33.3	47.4	51.5
	'20	Solar	6.0	38.1	18.7	74.1
		Normal	5.9	42.7	21.0	72.3
Sorghum×Sudangrass	'19	Solar	9.3	49.1	70.1	33.5
		Normal	9.5	48.7	69.9	33.7
	'20	Solar	6.2	55.0	31.6	63.9
		Normal	5.7	50.8	28.7	66.2

¹⁾CP: crude protein, ²⁾NDF: neutral detergent fiber, ³⁾ADF: acid Detergent Fiber, ⁴⁾TDN: total digestible nutrients.

Table 12. Correlation between insolation and productivity

Division	Isolation	Illumination	Fresh yield	Dry yield	TDN ²⁾ yield	
IRG	Isolation	1				
	Illumination	1.00**	1			
	Fresh yield	-0.32	-0.33	1		
	Dry yield	0.27	0.27	0.21	1	
	TDN yield	0.88	0.09	0.37	0.93**	1
Barley	Isolation	1				
	Illumination	1.00**	1			
	Fresh yield	-0.14	-0.14	1		
	Dry yield	0.35	0.05	0.74**	1	
	TDN yield	-0.16	-0.14	0.74**	0.93**	1
Corn	Isolation	1				
	Illumination	0.95**	1			
	Fresh yield	0.53*	0.62*	1		
	Dry yield	0.47	0.60*	0.95**	1	
	TDN yield	0.45	0.56*	0.54*	0.54*	1
S×S ¹⁾	Isolation	1				
	Illumination	0.95**	1			
	Fresh yield	0.46	0.62*	1		
	Dry yield	0.47	0.61*	0.96**	1	
	TDN yield	-0.67**	-0.58*	-0.55*	-0.46	1

¹⁾Sorghum×Sudangrass, ²⁾TDN: total digestible nutrients, * $p<0.05$, ** $p<0.01$.

노지 옥수수의 생초 수량인 26,056kg과 비교해서는 68.4% 수준이었다. 건물 수량은 태양전지모듈 하부의 옥수수가 ha당 8,033kg로 노지보다 7.9% 적었다. 재배 조건이 좋지 않은 2020년의 경우 전년과 비교하여 이삭의 비중이 증가되는 경향을 보였다. Yoon et al. (2019)은 옥수수(찰옥4호)를 영농형태양광 시설물 하부에서 재배한 결과 노지 옥수수보다 이삭중이 가벼워 10a당 15% 정도 수량이 감소했다고 보고하였다.

수수×수단그라스 교잡종의 수량은 Table 10과 같다. 2019년 태양전지모듈의 하부 조건에서 ha당 생초 수량은 62,312kg로 노지보다 13.4% 적었고, 건물 수량은 12,450kg로 노지의 82.5% 수준이었다. 2020년 태양전지모듈 하부 조건의 건물 수량은 ha당 5,651kg로 노지보다 11.4% 적었다.

두 작물 모두 태양전지모듈 하부의 차광 조건에서 수량이 감소되는 경향을 나타냈고, 재배여건이 더 좋았던 2019년의 경우 2020년 보다 노지와 건물수량의 차이가 더 컸다.

옥수수 및 수수×수단그라스 교잡종의 사료가치는 Table 11과 같다. 태양전지모듈 하부의 차광 조건에서 일관되게 CP 값이 높았던 동계 작물과 달리 옥수수의 CP 값은 노지 환경보다 0.1% 낮거나 높았고, 수수×수단그라스 교잡종은 2019년 노지 환경보다 0.2% 낮았으나, 2020년은 0.5%가 높아 같은 경향을 나타내지 않았다.

4. 상관관계

작물별 두 차례 재배기간 동안 일사량과 생산성 간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 12와 같다. 일사량은 조도와 매우 높은 상관성이 있었고, IRG의 TDN 수량과는 상관성이 있으나 유의성은 없었다. 옥수수는 생초중, 건물중, TDN 수량 모두 일사량과 상관을 보였으나, 유의성은 생초중에서만 나타났다. 수수×수단그라스 교잡종은 생초중과 건물중에서 상관을 보였으나 유의성은 없었다.

IV. 요약

본 연구는 전남 강진군에 위치한 전라남도농업기술원 축산연구소 시험포장에서 영농형 태양광 시스템의 하부에서 재배되는 동계 및 하계 사료작물의 생육 분석을 위해 2년간 수행하였다. 동계작물은 IRG와 청보리, 하계작물은 옥수수와 수수×수단그라스 교잡종을 대상으로 하였다.

공통적으로 동계 사료작물의 입모율과 월동 전·후 초장이 태양전지모듈 하부 조건에서 높았고, 출수기는 하루 이상 늦었으며, 도복은 더 발생되었다. 또한 조단백질 값이 노지 재배 작물보다 높았고, 건물 수량은 2018년의 경우 IRG는 ha당 16,915kg으로

노지의 16,750kg보다 조금 많았으며, 청보리는 반대로 조금 적었다. 2019년에는 IRG가 ha당 12,062kg로 노지보다 5.4% 적었고, 청보리는 12,195kg로 노지보다 11.5% 적었다.

하계 사료작물은 태양전지모듈 하부 조건에서 출수기가 노지보다 하루 이상 늦었고, 초장은 같거나 작았으며, 도복이 더 발생되었다. 2019년 옥수수의 건물 수량은 ha당 13,133kg으로 노지 조건보다 17%가 적었고, 수수×수단그라스 교잡종은 건물 수량이 12,450kg으로 노지의 82.5% 수준이었다. 2020년 옥수수의 건물 수량은 태양전지모듈 하부 조건에서 8,033kg으로 노지보다 7.9% 적었고, 수수×수단그라스 교잡종은 ha당 5,651kg으로 노지보다 11.4% 적었다.

결과를 종합하면 태양전지모듈 시설물 아래의 차광된 조건에서 작물을 재배하면 생산성이 떨어지고, 하계작물이 동계작물보다 영향을 더 많이 받는다. 수량 감소율은 최대 18%를 넘지 않아 사료작물인 IRG, 청보리, 옥수수, 수수×수단그라스 교잡종 모두 태양광 발전과 병행하여 재배할 수 있는 작목으로 사료되나, IRG와 옥수수가 수량적으로 더 유리하다고 판단된다. 또한 작물의 차광 영향뿐만 아니라 수확 작업 시 태양광 시설물 점유 면적에 의한 수량 감소도 고려해야 한다.

V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 PJ0148562021)의 지원으로 이루어진 것으로, 이에 감사드립니다.

VI. REFERENCES

- An, K.N., Yoon, C.Y., Shin, S.H., Kim, D.K., Kim, S.G., Cho, J.I. and Ko, J.H. 2020. Characteristics of paddy rice under mimic APV module structure in Jeonnam. Journal of the Korean Solar Energy Society. 62:12.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the AOAC (15th ed.). Washington DC.
- Evans, L.T. and De Datta, S.K. 1979. The relationship between irradiance and grain yield of irrigated rice in the tropics, as influenced by cultivar, nitrogen fertilizer application and month of planting. Field Crops Res. 2:1-17.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis. Agriculture handbook. No. 379, ARS, USDA, Washington DC.
- Holland, C., Kezar, W., Kautz, W.P., Lazowski, E.J., Mahanna, W.C. and Reinjart, R. 1990. The pioneer forage manual. A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred International Int., LA.

Study on Forage Production Under Agrivoltaic System

- Kim, W.H., Kim, H.S., Park, H.S., Jung, J.S. and Choi, K.C. 2017. Effect of shading degrees on yields and nutritive values of forage in forest-grassland. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 37(4):283-289.
- Kim, W.H., Jung, J.S., Lee, S.H., Kim, Y.J., Park, H.S. and Choi, K.C. 2015. Botanical composition and forage productivity in the 1st cutting under shading condition in forest grassland. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 53:212-213.
- Lee, C.K., Kim, D.S., Kwon, Y.U., Lee, J.E., Seo, J.H. and Lee, B.W. 2009. The effect of temperature and radiation on grain weight and grain nitrogen content in rice. *Korean J. Crop Sci*. 54(1):36-44.
- Lee, S.H., Son, E.H., Hong, S.C., Oh, S.H., Lee, J.Y., Park, J.H., Woo, S.H. and Lee, C.W. 2016. Growth and yield under low solar radiation during the reproductive growth stages of rice plants. *Korean J. Crop Sci*. 61(2):87-91.
- RDA. 2011. Forage. Rural development administration.
- Seo, S., Lee, J.K., Han, Y.C. and Lee, M.Y. 1990. Studies on the grassland development in the forest. XI. Effect of nitrogen fertilization on grass growth, yield and botanical composition by growing season and growth stage in pasture under shade condition. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 10(2):89-95.
- Yoon, C.Y., Ahn, K.N., Jeong, B.D., Kim, S.G. and Cho, J.I. 2019. Characteristics of corn under mimic APV module structure in Naju. *Journal of the Korean Solar Energy Society*. 61:22.

(Received : November 10, 2020 | Revised : November 23, 2020 | Accepted : November 24, 2020)