

감자밭의 재생종이 및 흑색 플라스틱 필름 멀칭에 따른 지표면 에너지 수지와 토양온도의 변화

최일선*[†] · 이변우*

*서울대학교 농업생명과학대학 농학과

Soil Surface Energy Balance and Soil Temperature in Potato Field Mulched with Recycled-Paper and Black Plastic Film

Ri-Xian Cui*[†] and Byun-Woo Lee*

*Dept. of Agronomy, Coll. of Agri. and Life Sci. Seoul National University, Suwon, 441-744 Korea

ABSTRACT: The thermal and photometric properties of mulching materials modify the radiation and energy balance on the mulched soil surface and thereby change the soil temperature. The soil surface energy balances and soil temperatures under the mulching treatments of non-mulched control, recycled paper (RPM), and black polyethylene film (BPFM) were compared before and after the establishment of potato canopy. On August 30 in 1998 when potato was not emerged yet and solar radiation was $17.9 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$, the net radiation of the soil surface was estimated as 10.0, 2.4, and $1.3 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ under the control, BPFM, and RPM, respectively. The sensible and latent heat loss from the soil surface was $9.65 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ in the control, most of the net radiation being lost through evaporation and convection, whereas it amounted only to $1.39 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ in BPFM and $1.36 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ in RPM. Therefore, the soil heat fluxes were 0.36, 1.02, and $-0.06 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ under the control, BPFM and RPM, respectively. On September 27 when potato canopy was fully developed, the soil surface net radiation in the control was sharply decreased as compared to that of Aug. 30, whereas the net radiation of the mulched soil surfaces showed little changes. The soil heat flux was -0.01 , 0.95, and $0.12 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ at the soil surface under the control, BPFM and RPM, respectively. As the mulching treatments brought about such alteration of energy partitioning into the soil, the highest soil temperature was recorded in BPFM and the lowest in RMP without regard to potato canopy development. However, the soil temperature differences among the treatments become smaller when potato canopy were fully developed.

Keywords : mulching, paper mulch, black polyethylene film, energy balance.

멀칭은 지온 조절, 토양수분보존, 토양침식의 방지, 잡초발생 억제 등을 목적으로 오래 전부터 작물재배에 많이 이용되고 있으며, 작물의 발아, 생육 및 수량에 영향을 미친다. 최근에는 환경오염에 대한 관심이 높아져감에 따라 토양과 주변환경을 오염시키는 플라스틱 필름 대체용으로 생분해성이나 광분해성 멀칭재료에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(Anderson, 등 1995; Schonbeck, 1995; 이 등, 1997, 1998; Umezaki 등, 1998).

멀칭에 사용되는 재료는 목적에 따라 다양하다. 한국의 경우, 봄에 파종되는 작물에서는 지온을 높여 작물의 초기생육을 촉진하기 위하여 플라스틱 필름 멀칭이 이용되는 경우가 많다(이 등, 1985; 이 등, 1986; 권 등, 1988). 열대지방이나 우리나라의 여름철에는 높은 지온이 작물의 생육에 지장을 주므로 토양온도를 낮출 수 있는 멀칭재료를 사용함으로써 피해를 감소시킨다(최 등, 1977; 최 등, 1978; 이 등, 1998; Manrique, 1995; Midmore, 1984). 우리나라의 가을감자재배에서는 파종기의 높은 지온상승으로 씨감자의 부패가 문제인데, 짚 멀칭을 하면 파종 및 출아기의 토양온도를 낮추어 출아를 포함한 초기생육이 좋아졌다고 하였다(최 등, 1977, 1978). 또한, 이 등(1998)도 재생종이 멀칭에 의해 지온을 효과적으로 낮출 수 있었으며 이에 따라 가을감자의 출아율이 현저히 높아졌으며 감자의 생육 및 수량이 향상되었다고 하였다.

본 연구에서는 재생종이 멀칭의 여름철 고온기 재배작물에서의 적용가능성 평가연구의 일환으로 국내에서 자체 개발한 재생 멀칭지의 감자밭에서의 멀칭이 토양온도에 미치는 영향을 토양표면 에너지수지 측면에서 플라스틱 비닐 멀칭 및 무 멀칭처리와 비교하였다.

재료 및 방법

본 실험은 1998년 8월부터 9월 사이에 서울대학교 농업생

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-2303 (E-mail) chis@plaza1.snu.ac.kr

<Received April 30, 2001>

Table 1. Optical properties of mulch materials.

Description	Value
1. mulch paper	
reflectivity of solar radiation	0.45
reflectivity of long wave radiation	0.22
transmissivity of solar radiation	0.01
transmissivity of long wave radiation	0.04
2. black polyethylene film	
reflectivity of solar radiation	0.04
reflectivity of long wave radiation	0.01
transmissivity of solar radiation	0.02
transmissivity of long wave radiation	0.14

명과학대학 실험농장에서 수행되었다. 사용된 멀칭재료는 국내에서 개발된 재생 멀칭지(동일제지; 두께 0.1 mm, 평량 110 g/m²)와 시중에서 판매되고 있는 흑색 플라스틱 필름(두께 0.01 mm)이었으며 이들의 광학적 특성은 Table 1과 같다. 멀칭처리는 재생종이 멀칭, 흑색 플라스틱 필름 멀칭 및 무멀칭 처리였다. 한 시험구의 크기는 0.8×7 m로 하였으며 8월 20일 감자파종직후 멀칭처리를 하였다. 멀칭 후 감자싹이 나올 수 있도록 십자형(5 cm)으로 찢어 놓았다.

토양온도는 토양표면, 5 cm, 10 cm, 20 cm 및 50 cm 깊이에 thermocouple(chromel-alumel, Φ=0.13 mm)를 설치하여 측정하였으며, 멀칭재료 내, 외면에도 thermocouple를 부착하여 멀칭재료의 내, 외면온도를 측정하였다. 일사량은 1 m 높이에 수평면일사계(Campbell사, 모델 LI1200)를 설치하여 측정하였다. 멀칭 표면 및 무멀칭 처리의 지표면 위 20 cm에 순복사계(Campbell사, 모델 Q-6 Net radiometer)를 설치하여 처리별로 순복사량을 측정하였다. 감자가 출아하여 군락이 형성된 이후에는 순복사계 중 하나는 군락위 20 cm에 옮겨 설치하여 군락의 순복사를 측정하였다. 처리별 지중열류는 지중열류판(Campbell사, 모델 HFT-1)을 지중 8 cm에 설치하여 측정하였으며, 지표면에서의 토양열류(G₀)는 지표 및 지중 5 cm 및 10 cm의 온도변화를 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$G_0 = G_8 + C_v \frac{\partial T}{\partial t} \cdot h$$

여기서 G₈은 지중 8 cm에서 측정된 토양열류이며 C_v는 토양의 용적열용량, h는 토양깊이(8 cm)이고, T는 지표와 지중 5 cm 및 10 cm의 평균온도, t는 시간이다. 측정된 자료는 data logger(Campbell사, 모델 CR10, USA)로 10초 간격으로 연속 측정하였으며 매 10분간의 평균치를 수집하였다.

결과 및 고찰

토양표면의 순복사추정

작물이 성장하지 않았을 경우 멀칭을 하지 않은 토양 표면

의 순복사(R_N)는 다음 식 (1)로 표시할 수 있다.

$$R_N = (1 - \rho_s)R_s + (\epsilon_s L_d - L_u) \quad (1)$$

식에서 R_s는 태양복사이며, ρ_s는 토양표면의 반사율이며, L_d은 천공으로부터 토양표면으로 도달되는 장파복사이며, L_u는 토양으로부터 대기로 나가는 장파복사이다. L_d는 ε_aσT_a⁴에 의해 계산하였으며, 식에서 σ는 Stefan-Boltzmann 상수(56.7×10⁻⁹ W m⁻² K⁻⁴)이고 T_a는 대기온도이다. ε_a는 대기의 복사계수(emissivity coefficient)인데, 맑게 개인 날(clear skies)의 경우, 대기 온도를 이용하여 ε_a=0.72+0.005T_a로 추정하였다(Campbell and Norman, 1998). 구름이 있는 흐린 날(overcast skies)의 경우는 ε_a=(1-0.84c)·ε_a+0.84c에 의해 계산하였으며(Unsworth and Monteith, 1975), c는 운량인데 c가 취하는 값의 범위는 0~1이며, c는 다음의 방법에 의해 추정하였다.

$$\begin{aligned} c=1 & : T_T < 0.35, \\ c=2.4-4T_T & : 0.35 \leq T_T \leq 0.6, \\ c=0 & : T_T > 0.6 \end{aligned}$$

위의 식에서 T_T는 단파복사의 투과율로서 T_T=S_T/S_b에 의해 추정하였다(Bristow, 1983). S_T는 지면에 도달되는 日射이고, S_b는 대기권 밖의 수평면에 도달되는 日射이다. L_u는 ε_sσT_s⁴에 의해 추정하였는데, ε_s는 토양 복사계수(emissivity coefficient)이고 T_s는 토양 표면 온도이다.

토양 표면에 멀칭을 하였을 때의 멀칭표면의 순복사(R_{N(mulch)})는 다음 식 (2)로 계산하였다.

$$R_{N(mulch)} = (1 - \rho_m)R_s + \epsilon_m L_d - L_{u(m)} \quad (2)$$

위 식에서 ρ_m는 멀칭자재의 단파복사의 반사율이고, L_d는 천공으로부터 멀칭표면으로 도달되는 장파복사이며, L_{u(m)}은 멀칭표면으로부터 대기로 나가는 장파복사이다. L_d는 露地의 경우의 계산식과 같으며, L_{u(m)}은 ε_mσT_m⁴에 의해 추정하였는데, ε_m는 멀칭 표면의 복사계수이고 T_m은 멀칭자재의 표면온도이다.

Table 1의 멀칭재료의 광학적 특성을 이용하여 이와 같이 계산한 나지 토양표면, 종이멀칭표면, 흑색 플라스틱 필름 표면의 순복사와 실측한 값을 비교한 것이 Fig. 1이다. 계산치와 실측치는 잘 일치하여 Table 1의 광학적 특성을 이용하여 멀칭 토양표면의 순복사를 계산하는 것이 가능할 것으로 판단되었다.

멀칭을 한 토양 표면의 순복사 R_{N(soil mulched)}는 장파복사의 반사율 및 투과율은 매우 작으므로 무시하고 다음의 식 (3)으로 계산하였다.

$$R_{N(soil\ mulched)} = \tau_m(1 - \rho_s)(1 - \rho_m)R_s + \epsilon_s L_{d(m)} - L_u \quad (3)$$

식에서 τ_m은 멀칭자재의 단파복사 투과율이고, L_{d(m)}는 멀칭 내면으로부터 토양 표면으로 들어오는 장파복사이고, L_u는 토양으로부터 나가는 장파복사이다.

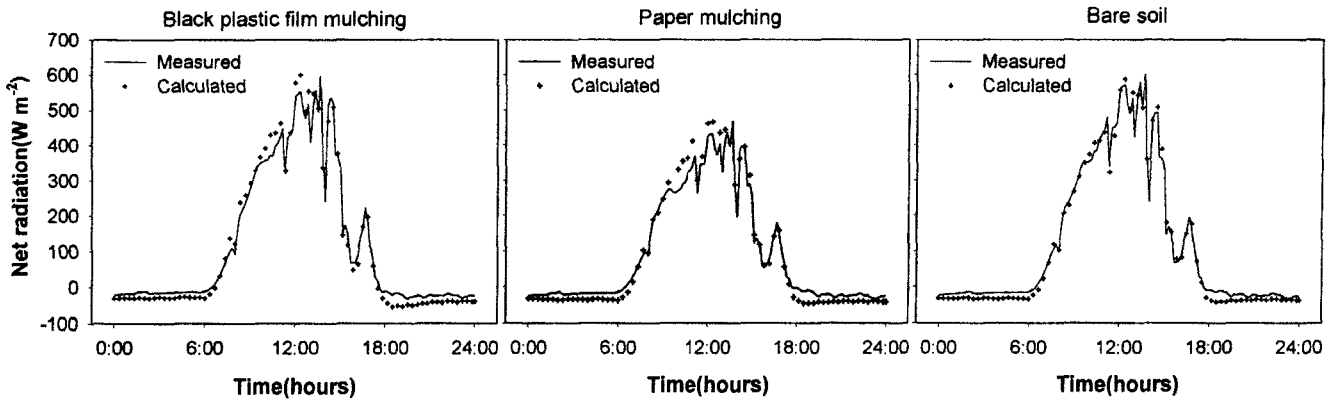


Fig. 1. Comparison of measured and calculated net radiation over the mulch surfaces and bare soil on Aug. 30, 1998 at Suwon.

Fig. 2는 작물이 성장하기 전 토양표면의 순복사를 식 (3)으로 추정해 것인데, 흑색 플라스틱 필름 및 종이 멀칭처리에서의 순복사는 무멀칭표면의 순복사에 비해 현저히 낮았다.

작물군락이 형성되었을 경우 멀칭표면의 순복사는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_N = [1 - \rho_m - \rho_s \tau_m (1 - \tau_m \rho_m)] \tau_c R_s + L_d - \epsilon_m \sigma T_m^4 - (1 - \tau_{m,i}) \epsilon_s T_s^4 \quad (4)$$

위 식에서 τ_c 는 군락의 단파복사 투과율로서 $e^{-K \cdot LAI}$ 에 의해 계산하였으며 흡광계수 $K=0.55$ (Singh 등, 1998)를 적용하였다. L_d 는 천공과 감자군락으로부터 멀칭표면으로 들어오는 장파복사이다. L_d 의 계산을 위해서는 군락의 장파복사 투과율 및 군락온도 등으로부터 계산할 수가 있으나 본 연구에서는 연속적으로 측정된 멀칭표면위의 순복사를 이용하여 위의 식 (4)에 의해 L_d 를 계산하였으며 계산된 L_d 를 이용하여 다음의 식 (5)에 의해 토양표면의 순복사를 계산하였다.

$$R_{N(soil, mulched)} = (1 - \rho_s) \tau_m \tau_c R_s + \epsilon_s \tau_{m,i} L_d + \epsilon_s \epsilon_m \sigma T_m^4 - (1 - \rho_{m,i}) \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (5)$$

식에서 τ_m , $\tau_{m,i}$ 는 멀칭재료의 단파 및 장파복사의 투과율이

고, $\rho_{m,i}$ 는 멀칭재료의 장파복사 반사율이다. 그 외의 항목은 위의 식들에서 설명된 바와 같다. 위의 식 (5)에 의해 계산된 흑색 플라스틱 필름 멀칭 및 종이 멀칭처리에서의 토양표면 순복사와 실제 측정된 나지의 순복사를 나타낸 것이 Fig. 3이다. 순복사의 일변화는 작물 군락이 없을 때인 8월 30일의 결과와는 큰 차이가 있었다. 종이 멀칭처리에서의 토양표면 순복사는 하루 동안 거의 변화되지 않는 양상을 보였으며, 무멀칭처리에서는 군락에 의한 일사의 차단으로 순복사의 일사량에 대한 비율이 8월 30일에 비해 큰 폭으로 낮아졌으며, 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서의 순복사와 큰 차이가 없었다.

토양표면의 에너지 분배

토양 표면에 흡수된 순복사(R_n)는 토양열류, 대기와의 열 교환 및 물을 증발시키는 열로 변형되는데, 토양표면의 에너지 균형은 다음의 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_n = LE + H + G \quad (6)$$

LE는 증발에 의한 잠열플럭스(latent heat flux, Wm^{-2}), H

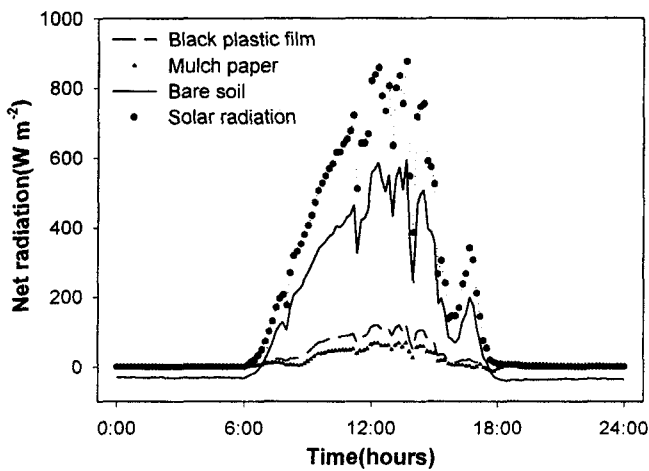


Fig. 2. The calculated net radiation over soil surfaces with different mulching materials on Aug. 30, 1998 at Suwon.

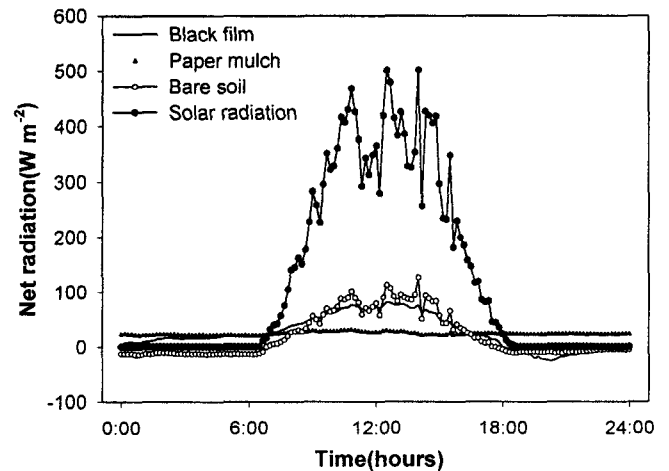


Fig. 3. The calculated net radiation over soil surfaces with different mulching materials on Sept. 27, 1998 at Suwon.

Table 2. Partitioning of energy at the soil surface under different mulching treatments in 1998.

Date	Treatment	LAI	Net Radiation			Soil heat flux			Sensible and latent heat		
			night time	day time	total	night time	day time	total	night time	day time	total
----- MJ m ⁻² -----											
Aug. 30	Black film	0.0	0.10	2.31	2.40	-1.98	3.00	1.02	2.08	-0.69	1.39
	Paper mulch	0.0	0.10	1.20	1.30	-1.42	1.36	-0.06	1.52	-0.16	1.36
	Bare soil	0.0	-1.33	11.35	10.0	-1.60	1.96	0.36	0.27	9.38	9.65
Sep. 27	Black film	1.75	0.11	2.07	2.18	-1.43	2.38	0.95	1.54	-0.31	1.23
	Paper mulch	4.40	0.94	1.12	2.06	-0.65	0.78	0.12	1.53	0.42	1.95
	Bare soil	3.70	-0.46	2.09	1.64	-0.93	0.92	-0.01	0.43	1.23	1.66

는 대류에 의한 현열플럭스(sensible heat flux, Wm⁻²)이며, G는 지중열류(soil heat flux, Wm⁻²)이다. 열수지항 중 R_n은 앞에서 설명한 바와 같이 계산하였고, G는 측정된 값이며 LE+H는 식 (6)으로부터 계산하였다. 작물의 군락이 없는 1998년 8월 30일과 작물의 군락이 형성된 9월 27일의 지표면에서의 열 수지항의 낮과 밤 및 일 합계를 나타낸 것이 Table 2이다.

일사량이 17.9 MJ m⁻²day⁻¹인 1998년 8월 30일의 경우, 지표의 순복사는 무멀칭에서 55.9%인 10.0 MJ m⁻²day⁻¹이었으며 흑색 폴리에틸렌 필름과 종이 멀칭처리에서는 각각 일사량의 13.4%와 7.3%인 2.4 및 1.3 MJ m⁻²day⁻¹에 불과하였다.

각 열 수지항이 차지하는 비율은 멀칭처리와 일기 및 토양조건에 따라 변하게 되는데, 나지의 경우, 수분증발에 의한 잠열(LE) 및 현열(H) 부분이 순복사 중에서 차지하는 비율이 많아서 지중열류(G)가 상대적으로 적었다. 무멀칭처리에서의 현열과 잠열 손실이 순복사의 96.5%이며 지중열류는 3.6%인 0.36 MJ m⁻²day⁻¹에 불과하였다. 멀칭처리에서는 사용된 멀칭재료에 따라 차이가 있었는데, 흑색 폴리에틸렌 필름 멀칭의 주간의 경우에는 멀칭면과 토양표면사이의 현열 및 잠열 플럭스(H+LE)가 토양면으로 흐르게 되어(-0.69 MJ m⁻²day⁻¹) 낮 동안의 지중열류는 나지나 종이멀칭처리에 비해 월등히 컸으며 이것이 지온을 높게 하는 요인이었다. 종이 멀칭에서는 토양

Mulch and soil surface energy flux density (W/m²)

		Black film	Paper mulch	Bare soil			Black film	Paper mulch	Bare soil
Mulch surface	Rn	-4.32	-7.14		Mulch surface	Rn	343.37	255.21	
	H+LE	18.06	7.99			H+LE	64.79	35.67	
Soil surface	Rn	3.15	2.32	-22.80	Soil surface	Rn	71.34	39.15	357.88
	H+LE	25.53	17.46	-1.26		H+LE	-207.25	-180.38	124.73
	G	-22.39	-15.14	-21.54		G	278.59	219.53	233.15

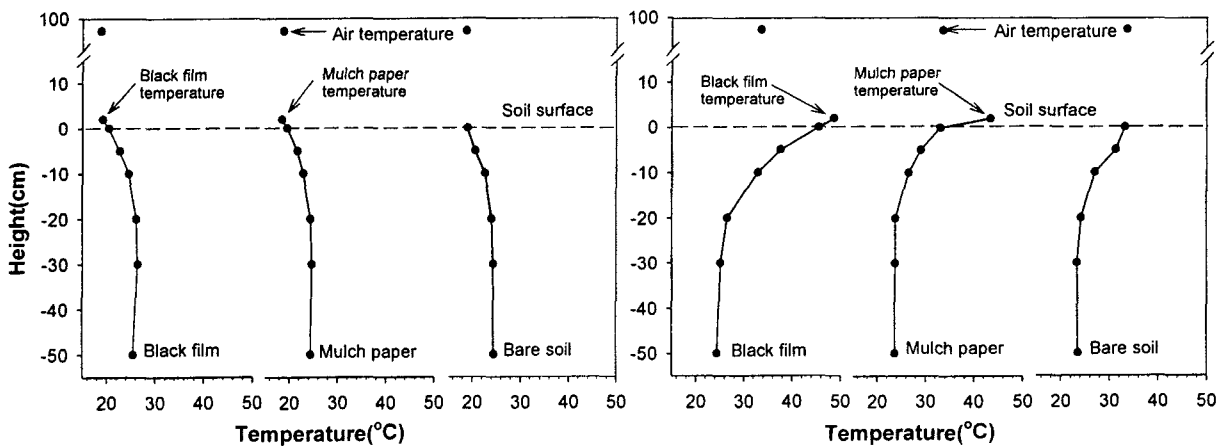


Fig. 4. The soil temperature profiles and energy balance at 06:20 (left) and 15:00 (right) on Aug. 30, 1998 at Suwon.

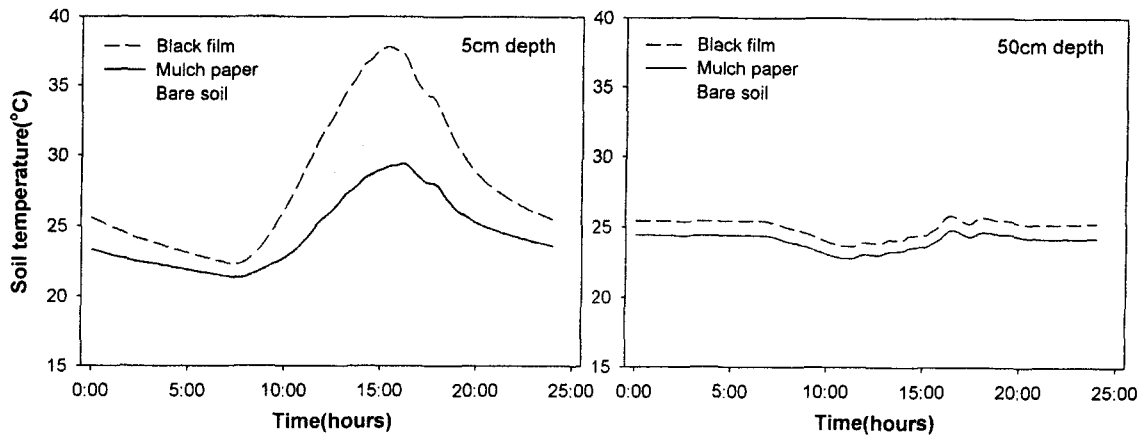


Fig. 5. Diurnal changes of soil temperature as influenced by types of mulch at Suwon on Aug. 30, 1998.

표면 순복사가 다른 처리에 비해 크게 낮았고 지중열류도 주간에는 무멀칭에 비해 낮아졌으며 토양열류의 일 합계는 $-0.06 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 로 토양밖으로 흐르는 것으로 나타났다. 멀칭처리 및 무멀칭처리에서 야간의 지중열류와 LE+H는 모두 토양으로부터 나가는 방향으로 흐르는 양상을 보였다.

일사량이 $10.5 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 이고 감자군락이 형성된 1998년 9월 27일 경우, 야간 및 주간의 열 수지항의 흐름은 군락이 형성되지 않은 8월 30일의 경우와 같은 방향을 향하는 추세를 보였지만, 작물 군락이 형성으로 인하여 각 항목들은 8월 30일의 경우와는 큰 차이가 있었다. 대부분의 단파복사가 작물군락에 의해 차단됨으로써 지표면의 순복사는 멀칭처리 및 무멀칭처리에서 총 일사량의 약 20% 미만이었으며 일 순복사의 처리간 차이도 작물이 출아하지 않은 8월 30일의 경우에 비해 크게 적어졌다. 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서의 토양열류는 다른 처리에 비해 크게 높았으며, 종이멀칭처리에서의 주간의 지중열류는 무멀칭 처리보다 다소 낮았지만 야간에는 토양으로부터 빠져나가는 토양열류가 무멀칭보다는 적었다.

토양온도의 변화

Fig. 4는 8월 30일의 일 최저기온 및 최고기온이 나타난 시각(각각 06:20, 15:00)의 각 처리에서의 깊이별 토양온도와 토양 표면 열 흐름 항목들의 값을 나타낸 것이다. 50 cm 깊이의 토양온도는 처리에 관계없이 약 25°C로 처리간 큰 차이가 없었으며, 토심에 따른 토양온도의 변화는 비슷한 추세를 보이는 하였지만, 흑색 플라스틱 표면의 온도(20.4°C)가 다른 처리(종이멀칭 19.5°C, 무멀칭 18.9°C)에 비해 높았다. 종이멀칭 처리의 각 층위의 온도는 무멀칭에 비해 높았으나 그 차이는 크지 않았다. 같은 날 일 최고기온이 나타난 시각(15:00)에서는 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리의 각 층위의 토양온도가 다른 처리에 비해 높았으며, 토심에 따른 온도의 변화가 커서 다른 처리에 비하여 지표면에 가까워짐에 따라 온도가 급격히 높아졌다. 종이멀칭처리에서의 층위별 온도는 무멀칭에 비해

큰 차이는 없었으나 주간의 상위층에서의 토양표면의 온도는 무멀칭보다 낮은 경향을 보였는데 그 원인은 종이멀칭처리에서의 토양열류(종이멀칭 일합계 $-0.06 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$, 주간 $1.36 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$; 무멀칭 일합계, $0.36 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$, 주간 $1.96 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$)가 무멀칭에 비해 적었기 때문인 것으로 판단되었다. 종이 멀칭처리에서의 주간의 이러한 지온 하강은 감자의 가을재배에서는 고온에 의한 괴경부패를 효과적으로 억제할 수 있었다고 하였다(이 등, 1998년).

Fig. 5는 8월 30일의 5 cm 및 50 cm 깊이의 토양 온도의 일 변화를 나타낸 것이다. 5 cm 깊이의 토양온도는 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서 가장 높았으며, 주간의 경우에는 무멀칭에서 종이멀칭처리에 비해 높았고 야간에는 종이멀칭의 지온이 무멀칭보다 높았다. 50 cm 깊이의 토양온도는 종이멀칭과 무멀칭에서는 거의 차이가 없었고 흑색 플라스틱 필름 멀칭에서는 다른 처리에 비해 높은 경향이 있었지만 그 차이는 적었다.

Fig. 6은 작물군락이 형성된 1998년 9월 27일의 일 최저기온 및 최고기온이 나타난 시각(각각 06:00, 14:00)의 각 처리에서의 깊이별 토양온도와 토양 표면 열 수지 항목들의 값을 나타낸 것이다. 최저기온이 나타난 06:00의 경우, 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리의 각 층위의 온도가 종이멀칭이나 무멀칭에 비해 높았지만 그 차이가 적었고, 토심에 따른 온도의 변화추세도 처리간 큰 차이가 없었다. 같은 날 일 최고기온이 나타난 시각(14:00)에서 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리의 토양표면의 온도는 다른 처리에 비해 크게 높았고 각 층위의 토양온도도 다른 처리에 비해 높았다. 지표에 가까울수록 온도가 급격히 높아지는 추세는 종이멀칭이나 무멀칭 처리에 비해 더욱 현저하였는데, 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서의 지중열류 (103.4 W m^{-2})가 종이멀칭(31.7 W m^{-2})이나 무멀칭(41.4 W m^{-2})보다 현저히 높은 것이 그 원인이라고 판단되었다. 종이멀칭처리에서의 토양표면의 순복사(22.6 W m^{-2})가 무멀칭처리(126.4 W m^{-2})에 비해 큰 차이가 있었지만 각 층위별 토양온

Mulch and soil surface energy flux density (W/m^2)

		Black film	Paper mulch	Bare soil			Black film	Paper mulch	Bare soil
Mulch surface	Rn	-15.65	-13.59		Mulch surface	Rn	160.45	109.08	
	H+LE	16.39	6.39			H+LE	57.04	77.43	
Soil surface	Rn	18.43	20.21	-13.59	Soil surface	Rn	76.08	22.56	126.42
	H+LE	50.47	40.19	15.41		H+LE	-27.33	-9.09	85.04
	G	-32.04	-19.98	-29.00		G	103.41	31.65	41.38

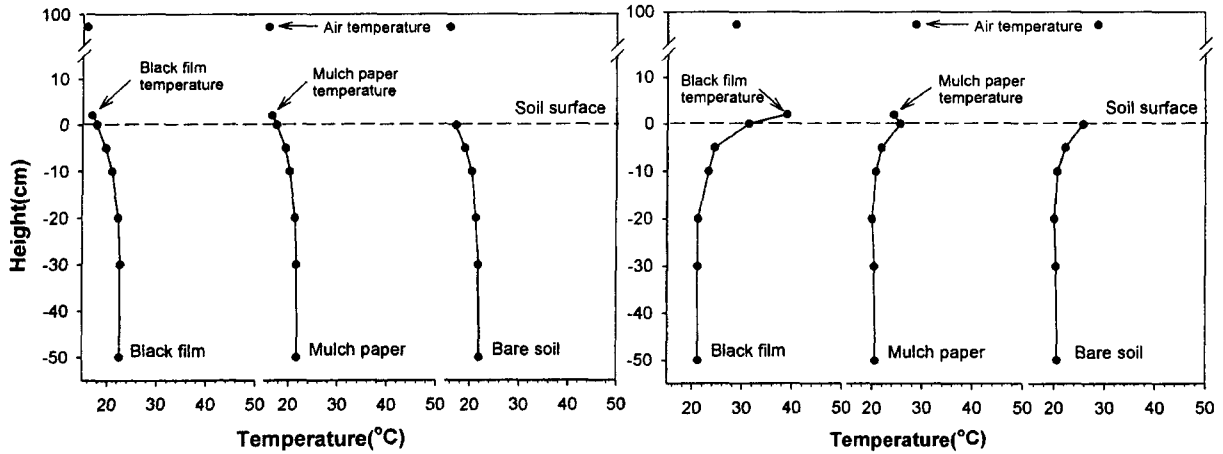


Fig. 6. The soil temperature profiles and energy balance at 06:00 (left) and 14:00 (right) on Sept. 27, 1998 at Suwon.

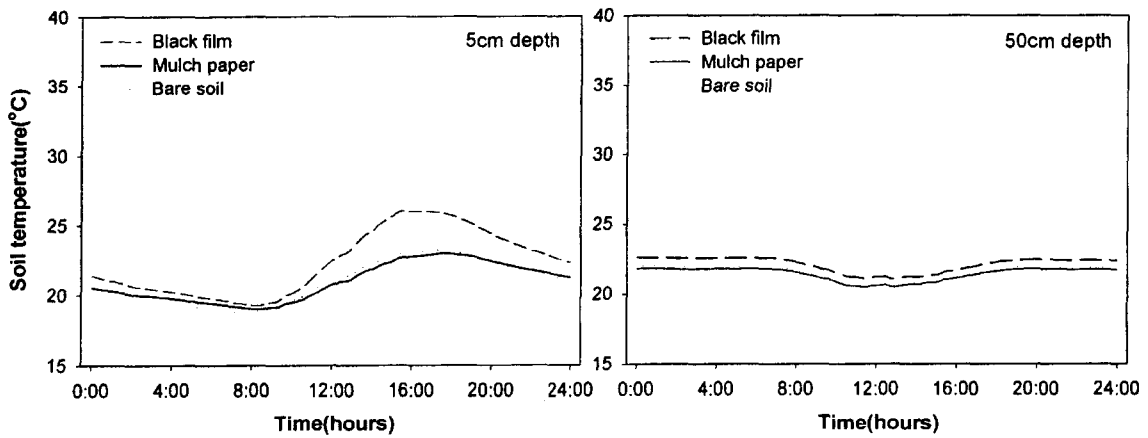


Fig. 7. Diurnal changes of soil temperature as influenced by type of mulch at Suwon on Sept. 27, 1998.

도는 무멀칭처리와 큰 차이가 없었는데 그 원인은 무멀칭에서 잠열 및 현열에 의한 손실($85.0 W m^{-2}$)이 많아져 지중열류 (종이멀칭처리 $31.7 W m^{-2}$, 무멀칭처리 $41.4 W m^{-2}$)에는 큰 차이가 없었기 때문인 것으로 판단되었다.

1998년 9월 27일의 5cm 및 50cm 깊이의 토양온도의 변화를 나타낸 것이 Fig. 7이다. 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리의 5cm 깊이의 토양온도가 다른 처리에 비해 높았으나 7월 30일 경우보다 그 차이가 현저히 적어졌으며, 종이멀칭처리에서

의 지온은 무멀칭보다 주간에는 낮고 야간에는 높은 경향이기는 하였지만 그 차이는 매우 적었다.

적 요

사용된 멀칭자재의 광학적 특성, 작물군락의 형성 등에 의하여 토양표면의 에너지 수지는 달라지며, 이러한 토양표면 에너지 수지의 차이에 의해 변화되는 地中熱流가 토양온도 변화

의 원인이 된다. 본 연구에서는 일사량, 멀칭표면의 순복사, 지중열류, 멀칭 내외면 온도, 토양온도 등을 연속적으로 측정하였으며, 실측된 자료를 이용하여 토양표면의 에너지 수지 및 지중열류를 추정하여 멀칭처리에 따른 토양온도 변화의 원인을 분석하였다.

감자 출아전인 1998년 8월 30일의 무멀칭처리에서는 지표면의 순복사($10.0 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$)는 높았지만, 대류에 의한 현열이나 수분증발에 의한 잠열로 대부분의 에너지($9.65 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$)가 지면으로부터 빠져나가 토양으로 흐르는 지중열류는 $0.36 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 이었다. 흑색 폴리에틸렌 필름 멀칭에서는 지표면의 순복사는 $2.4 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 이었지만 멀칭면과 토양표면의 대류에 의한 지표면의 에너지 손실이 $1.39 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 로 적어져 지중열류는 $1.02 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 로 무멀칭처리보다 많이 높았다. 종이멀칭처리에서의 지표면의 순복사는 $1.30 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 로 다른 처리에 비해 낮았고, 멀칭면과 지표면의 대류에 의한 에너지 교환에 의하여 지표면으로부터 $1.36 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 의 에너지가 손실되어 지중열류는 $-0.06 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 로 흑색 폴리에틸렌 필름 멀칭이나 무멀칭보다 낮았으며, 특히 주간 상위층 토양온도가 다른 처리에 비해 많이 낮아졌다.

군락이 형성된 9월 27일의 경우, 멀칭처리에서의 지표면 순복사는 군락이 없는 8월 30일의 경우와 큰 차이가 없었지만 무멀칭처리에서는 군락의 일사 차단으로 순복사가 현저히 낮아졌으며, 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서는 현열 및 잠열에 의한 손실이 작아 지중열류는 다른 처리에 비해 높았으며, 무멀칭처리에서는 현열 및 잠열에 의한 에너지 손실이 많아 지중열류는 작았다. 이러한 지중열류의 차이에 의해 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서의 지온이 다른 처리에 비해 높아졌고, 종이멀칭처리에서의 지온은 군락이 형성되지 않은 초기에는 무멀칭에 비해 낮았지만 군락이 형성된 후기에는 그 차이가 거의 없었다.

군락의 형성여부와 관계없이 일 최저기온 및 최고기온이 나타나는 시각의 토심에 따른 토양온도의 변화는 비슷한 경향을 보였으며, 일 최고기온이 나타나는 시각에 흑색 플라스틱 필름 멀칭처리에서의 온도는 지표에 가까울수록 급격하게 높았으며, 그 증가추세는 종이멀칭이나 무멀칭에 비해 현저하였다.

사 사

이 연구는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구비

및 BK21사업 지원에 의하여 수행된 것임.

인용문헌

- Anderson, D. F., M. A. Garisto, J. C. Bourrut, M. W. Schonbeck, R. Jaye, A. Wurzberger and R. Degregorio. 1995. Evaluation of a paper mulch made from recycled materials as an alternative to plastic film mulch for vegetables. *J. Sustain. Agric.* 7 : 39-61.
- Bristow, K. L., G. S. Campbell and K. E. Saxton. 1985. An equation for separating daily solar irradiation into direct and diffuse component. *Agric. For. Meteorol.* 35 : 128-131.
- Campbell G. S. and J. M. Norman. 1998. An introduction to environmental biophysics. *Springer-Verlag, New York*, p. 286.
- 崔重鉉, 趙載英. 1977. 定植時 芽長, 窒素의 施用量과 施用時期, 栽植距離 및 被覆程度가 감자秋作에 미치는 影響. 韓作誌. 22(1) : 20-25.
- 崔重鉉, 趙載英. 1978. 被覆處理가 감자秋作에 미치는 影響. 韓作誌. 23(2):126-132.
- 權永衫, 李龍範, 朴尙根, 高官達. 1988. 멀칭種類가 土壤環境과 고추의 生育 및 收量에 미치는 影響. 農試論文集(園藝編). 30(1) : 9-17.
- 李正日, 朴用煥, 鄭奎鎔, 朴來敬. 1986. 비닐被覆이 목화의 生育 및 收量에 미치는 影響. 韓作誌. 31(4) : 434-439.
- 李洵雨, 崔日鮮, 李鶴來. 1997. 종이멀칭 이앙재배에서 잡초발생과 벼의 생육 및 수량. 韓國雜草學會誌 17(4) : 351-357.
- 李洵雨, 崔日鮮. 1998. 추작감자 멀칭재배시 멀칭재료에 따른 토양 환경, 생육 및 수량변화. 韓作誌. 43(別冊1) : 89-90.
- 李錫淳, 白俊鎬. 1985. 비닐 被覆, 窒素施肥量 및 施肥方法이 土壤의 理化學的 特性과 단옥수수의 生育에 미치는 影響. 韓作誌. 30(3) : 334-339.
- Manrique, L. A. 1995. Mulching in potato systems in the tropics. *Journal of Plant Nutrition* 18(4) : 593-616.
- Midmore, D. J. 1984. Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics I. soil temperature effects on emergence, plant development and yield. *Field Crop Research* 8 : 255-271.
- Schonbeck, M. W. 1995. Evaluation of recycled paper film mulch and organic mulches as alternatives to black plastic mulch in vegetable horticulture. Agriculture in Concert with the Environment ACE research projects Southern Region. 1995.
- Singh, U., R. B. Matthews, T. S. Griffin, J. T. Ritchie, L. A. Hunt and R. Goenaga., 1998. Modeling growth and development of root and tuber crops. p. 129-156. In Gordon Y. T., G. Hoogenboom and P.K. Thornton(Eds.). Understanding options for agriculture production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Umezaki, T. and K. Tsuno. 1998. Effects of used-paper mulching on growth of early-season culture rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 67 : 143-148.
- Unsworth, M. H. and J. L. Monteith. 1975. Long-wave radiation at the ground. I angular distribution of incoming radiation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 101 : 13-24.