

エジプトのナイルデルタにおけるトウモロコシ- ダイズ間作がその生育，光合成および収量に及ぼす影響

誌名	熱帯農業研究
ISSN	18828434
著者名	佐々木,めぐみ 宮崎,裕貴 志水,勝好 Atta,Y.I. El-Fattah,A.M.A. Abdel-Gawad,K. Safina,S.A.
発行元	日本熱帯農業学会
巻/号	9巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 12-18
発行年月	2016年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



エジプトのナイルデルタにおけるトウモロコシ・ダイズ間作が その生育、光合成および収量に及ぼす影響

佐々木めぐみ^{1,5}・宮崎裕貴^{1,5}・志水勝好^{2,5,*}・Yousri Ibrahim ATTA^{3,5}・

Ahmed M. Abd El-FATTAH^{3,5}・Korany Abdel-GAWAD^{4,5}・Sayed Ahmed SAFINA^{4,5}

¹筑波大学大学院生命環境科学研究科 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

²筑波大学生命環境系 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

³エジプト水管理センター エジプト カイロ 13411

⁴カイロ大学農学部 エジプト ギザ 12613

⁵JST/JICA, SATREPS

要 約 エジプトにおける人口増加による食糧需要の増大に対応するため、単位面積当たり収量の増加が期待できる間作に注目し、トウモロコシ・ダイズの間作がトウモロコシおよびダイズの生育、光合成、収量に及ぼす影響を調査した。エジプト水管理センター Zankalon 圃場およびエジプト農業研究センター Sakha 圃場において栽培試験を実施し、各圃場でトウモロコシ単作区、ダイズ単作区、間作区を設けた。播種後、10～15日間隔で畝間灌漑を行った。月に一度、草丈、葉数、地上部乾物重の測定を行い、栄養生長期および生殖生長期に光合成、SPAD 値の測定を行った。収穫後、収量、収量構成要素および LER (Land Equivalent Ratio) を求めた。トウモロコシについては、単作区と間作区では生育に差が見られなかったが、ダイズについては、間作区においてトウモロコシによって遮光されるため主茎の徒長が見られ、同時に乾物重の低下が見られた。栄養生長期の光合成能力は、両作物とも、両区で大きな差が見られなかった。一方、生殖生長期のダイズは、間作区ではトウモロコシによる遮光のため強光条件へ順応できず、強光条件下での光合成速度が単作区を下回った。収量については、トウモロコシでは両区で大きな差が見られなかったが、ダイズでは間作区において単作区の4～6割程度の収量であった。LERは1.29～1.79を示し、本実験の間作は総合的に単位面積当たりの収量増加を促したと考えた。

キーワード LER, 間作, 光合成, 収量

Effects of Intercropping of Maize and Soybean on Growth, Photosynthesis and Yield in Nile Delta, Egypt Megumi SASAKI^{1,5}, Yuki MIYAZAKI^{1,5}, Katsuyoshi SHIMIZU^{2,5,*}, Yousri Ibrahim ATTA^{3,5}, Ahmed M. Abd El-FATTAH^{3,5}, Korany Abdel-GAWAD^{4,5}, and Sayed Ahmed SAFINA^{4,5} ¹Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan, ²Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan, ³Water Management Research Institute, National Water Research Center, Cairo 13411, Egypt, ⁴Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza 12613, Egypt, ⁵JST/JICA, SATREPS

Abstract To meet the increasing demand of food due to population increase in Egypt, intercropping is expected to increase the yield per unit area. The present study focused on maize-soybean intercropping, and the objective was to investigate the effects on the growth, photosynthesis and yield of the two crops. The cultivation experiments were conducted in Zankalon and Sakha fields in Egypt, and monocultured maize, monocultured soybean and intercropping were compared. The furrow irrigation interval was 10-15 days. Plant length, leaf number, dry weight of the above-ground parts were measured every month, and the photosynthetic rate and SPAD value were determined at the vegetative and reproductive stages. Yield components and LER (Land Equivalent Ratio) were determined after harvest. No differences in the growth of maize between monoculture and intercropping could be detected. However, intercropped soybean grew spindly and showed a decrease in the dry weight, caused by interception of sunlight by the shading of the maize plants. The photosynthetic rates at vegetative stage under monoculture and intercropping were similar in both fields. On the other hand, since intercropped soybean at the reproductive stage could not adapt to the monoculture light conditions, the photosynthetic rate of intercropped soybean was lower than that of the monocultured crop. Yield of intercropped soybean was about 40%~60% of that of monocultured crop, while in maize such a difference was not observed. LER of each field ranged from 1.29 to 1.79, showing that intercropping increased the total production per unit land area.

Key words: Intercropping, LER, Photosynthesis, Yield

緒 言

世界人口は70億人を突破し、近年アフリカを中心に人口増加が顕著にみられている (UN, 2012)。その傾向が著しい国の一つであるエジプト・アラブ共和国

(以下エジプト)では、年2%前後の人口増加 (UN, 2012) がみられ、食糧増産の必要が生じている。一方、エジプトの国土の96%は沙漠であり、可耕地はわずか3.4%である (FCRI, 2014)。したがって、限られた農地を有効に用い、高収量を得るための栽培方法が求められている。その一つの有効な手段として考えられるのが間作である。間作とは同一の圃場に複数の作物を栽培する方法であり、土地利用効率を高め、安価に単位面積あたり収量増加が可能であるとして途上国を中心に広く実施されている (Willey, 1990)。適切

責任編集者 遠城道雄

2015年9月8日受付

2016年1月15日受理

* Corresponding author

shimizuk@agri.kagoshima-u.ac.jp

現: 鹿児島大学農学部 〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-24

な間作の組み合わせのもとでは養分や水分の競合が起これず、それらを有効に利用できると考えられている (Lithourgidis ら, 2011).

また、間作によって期待できる副次的な効果の一つとして灌漑水の有効利用がある。Ghanbari ら (2010) は、間作として条間に作物を栽培することで土壌表面が覆われ、土壌水分が保たれると報告している。エジプトでは日射量が多く土壌表面からの蒸発が多いことから、間作による土壌水分保持効果は有効であろうと考えられる。また、圃場の栽培作物が単調にならないため、緑の革命によるモノカルチャー化で見られたような病害虫による致命的な被害を避けられると考えられる (Muoneke ら, 2007)。さらには、マメ科作物による間作では、植物残渣を鋤き込むことによって土壌肥沃度が向上し、低肥料投入でも持続的な栽培が可能なものとして期待されている (Lithourgidis ら, 2011)。そのほか、雑草の抑制効果 (Banik ら, 2006) なども報告されている。

間作の研究としてさまざまな作物が用いられているが、本研究では主作物としてトウモロコシ (*Zea mays* L.)、副作物としてダイズ (*Glycine max* (L.) Merr.) を用いた間作を検証することとした。トウモロコシはエジプトにおいて非常に需要が高く、エジプトで生産される作物の中において、作付面積、総生産量共に、第三位となる重要な作物である (FCRI, 2014)。ダイズは食用油としての需要が高く、茎葉部は飼料としても利用されている。

間作の研究は途上国を中心に数多くなされてきたが、その多くは条ごとに交互に異なる作物を栽培するか (Foroutan-pour ら, 2000; Eskandari, 2012; Takim, 2012)、畝の頂部分と底部分に一作物ずつ播種する (Muoneke ら, 2007; Mudita ら, 2008) というものであり、エジプトのような畝間灌漑を行う地域において一畝に複数の作物を栽培するという間作の研究は少ない。また間作による各作物の光合成への影響、間作による作物への生理的な影響は明らかになっていない。そこで本研究では、エジプトにおいて畝間灌漑のもと、トウモロコシとダイズを間作することによる各作物の生育、光合成、および収量への影響を明らかにすることを目的とした。

実験材料および方法

供試材料および栽培方法

本実験は 2014 年 6 月～10 月に、ナイルデルタに位置するエジプト水管理センター Zankalon 圃場 (北緯 30 度 34 分、東経 31 度 25 分) およびエジプト農業研究センター Sakha 圃場 (北緯 31 度 5 分、東経 30 度 55 分) にて行った。栽培期間中の最高気温、最低気温は、Zankalon 圃場では約 32～36℃、18～21℃、Sakha 圃場では 28～34℃、18～24℃であった (Table

Table 1. Maximum and minimum temperatures at the experimental sites during the cultivation period.

	Zankalon		Sakha	
	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)
June	32.3	20.0	32.3	20.6
July	33.6	21.6	33.2	23.7
August	35.8	20.9	34.1	21.8
September	34.3	18.4	32.5	20.7
October	—	—	28.8	18.7

1). 供試材料として、トウモロコシ (品種: Zankalon 圃場では 30K8, Sakha 圃場では Three Ways Cross 324) とダイズ (品種: 両圃場とも Giza 111) を用いた。播種は 6 月 9 日 (Zankalon)、21 日 (Sakha) に行った。Sakha と Zankalon 圃場は約 80km 離れているが、Vertisols に分類される試験圃場の土壌物理特性は同様である。表層から深さ 1m まで粘土含量はともに 47～50% であり、これは広域のナイルデルタ内土壌の母材がナイル川の氾濫によって運ばれてきたシルトであり、気候も同じ区分であることに起因していると考えられる。

両圃場とも 10～15 日間隔の畝間灌漑を行ったが、異なる栽植様式とし、各様式における間作の効果を調査した。Zankalon 圃場では灌漑水の節約、また塩害緩和を目的とした畝幅 160cm の畝を用いた ATTA Method で栽培し (Atta, 2007, Fig. 1)、トウモロコシ単作区 (MM: 一畝に 2 条)、ダイズ単作区 (MS: 一畝に 4 条)、および 2 種類の間作区 (I-1: トウモロコシ 2 条+ダイズ 2 条、I-2: トウモロコシ 2 条+ダイズ 4 条) の 4 処理区を 3 反復設けた。トウモロコシは畝の両端に播種した。ダイズの条はトウモロコシの条の内側に設け、条間は 20～25 cm とした。株間はトウモロコシで 22 cm、ダイズで 12 cm (MM, I-2) および 6 cm (I-1) であり、ダイズの栽植密度は I-1 区と I-2 区とで揃えた。Sakha 圃場では処理として、トウモロコシ単作区、ダイズ単作区、間作区の 3 処理区を 3 反復設けた。各作物の条間は 70 cm とし、間作区では畝の中央にトウモロコシの条を、そのすぐ脇にダイズの条を設けた (Fig. 1)。株間はトウモロコシ、ダイズ共に 15 cm とした。

施肥は両圃場にて尿素 142.9 kg ha⁻¹、CaPO₅ 71.4 kg ha⁻¹ 施用し、N、P、Ca をそれぞれ 66.7、14.7、18.9 kg ha⁻¹ とした。栽培期間中、降雨は見られなかった。

生育調査

各区のうちサンプリングに利用する 2 m × 2 m の方形区を定め、そこから 5 個体を無作為に選び、草丈 (トウモロコシ)・草高 (ダイズ)、葉数を毎月測定し

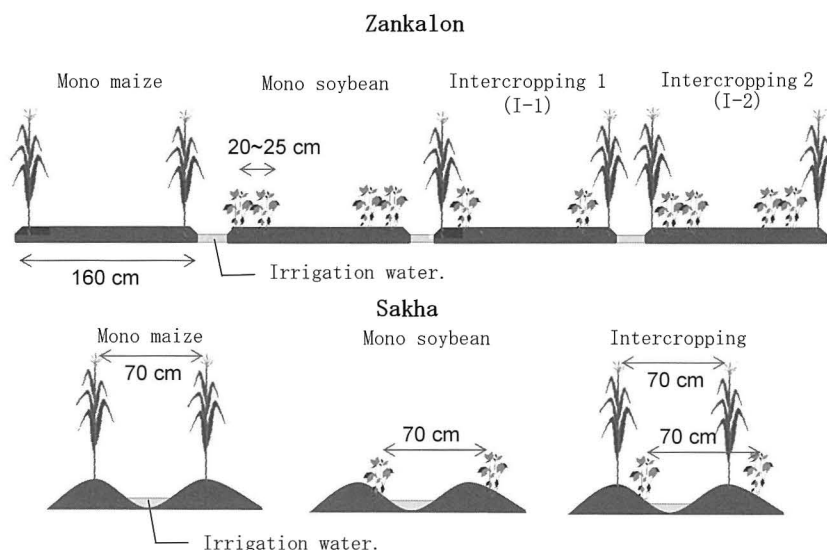


Fig. 1. Planting patterns of mono-cultured maize, mono-cultured soybean and intercropping. Upper; Zankalon field, Lower; Sakha field.

た。調査のたびに異なる $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ の方形区より、サンプリングを行った。その後、地上部を 75°C で 72 時間乾燥し、地上部乾物重を求めた。栄養生長期にあたる 7 月 15 日 (Zankalon), 22 日 (Sakha) に葉緑素計 (SPAD-502, KONICA MINOLTA 社) を用いて SPAD 値を測定し、生殖生長期にあたる 9 月 26 日 (Zankalon), 9 月 29 日 (Sakha) には SPAD 値および節数を調査した。Zankalon における節数, SPAD 値の測定には間作区として I-2 区を用いた。

光合成速度の測定

栄養生長期にあたる 7 月 16 日, 17 日 (Zankalon), 23 日, 24 日 (Sakha), および生殖生長期にあたる 9 月 27 日, 28 日 (Zankalon), 30 日, 10 月 1 日 (Sakha) において、携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400, LI-COR) を用いて光合成測定を行った。生殖生長期にはトウモロコシの葉は枯れ始めており、光合成が測定できない状態だったため、ダイズのみの測定とした。単作区、間作区それぞれ、異なる 5 個体の最上位展開葉から 1~3 枚目の葉より一枚を選び、光合成を測定した。Zankalon においては、光合成測定に間作区として I-2 区を用いた。圃場測定初日は 9 時から 17 時にかけて一時間に一度、各時間における自然条件と等しい光合成光量子束密度での光合成速度を測定し、光合成の日変化とした。二日目には、各葉の光合成を 0, 50, 100, 300, 500, 1000, 1500, 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光合成光量子束密度の下で測定し、光-光合成曲線を作成した。

収量および収量構成要素

Zankalon 圃場では 9 月 29 日に、Sakha 圃場では 10 月 15 日に収穫を行い、 75°C で 72 時間乾燥後、トウモ

ロコシ、ダイズそれぞれ脱粒し、子実収量および収量構成要素 (粒数, 百粒重, 雌穂または莢数) を求めた。LER (Land Equivalent Ratio) は以下の式によって求めた。

$$\text{LER} = \frac{Y_{im}}{Y_{mm}} + \frac{Y_{is}}{Y_{ms}}$$

Y_{mm} : トウモロコシの単作時収量

Y_{im} : トウモロコシの間作時収量

Y_{ms} : ダイズの単作時収量

Y_{is} : ダイズの間作時収量

結 果

生育状況

トウモロコシの草丈、葉数、地上部乾物重の推移は、両圃場とも、単作区と間作区で差は見られなかった。一方、ダイズの最終的な草高は Zankalon 圃場では差がみられず、Sakha 圃場では間作区が高くなった (Fig. 2)。ダイズの葉数は両圃場とも播種後 30 日目以降、単作区と比較して間作区で少なかった (Table 2)。ダイズの地上部乾物重は、両圃場とも単作区と比べて間作区が著しく小さく、Zankalon 圃場では間作区が単作区の 3 分の 1, Sakha 圃場では 2 分の 1 程度の地上部乾物重で推移した (Fig. 3)。また、Sakha 圃場の単作区では播種後 95 日目頃に最高値を示したが、間作区では生育期間中増加し続けた (Fig. 3)。また、Sakha 圃場における栄養生長期 (播種後 33 日目) の SPAD 値は、両作物とも差が見られなかったが (Table 3)、生殖生長期 (播種後 101 日目) においては、トウモロコシ、ダイズ共に間作区で高い SPAD 値を示した (Table 4)。生殖生長期における節数は、両圃場とも、トウモロコシ、ダイズ共に間作区において少ない

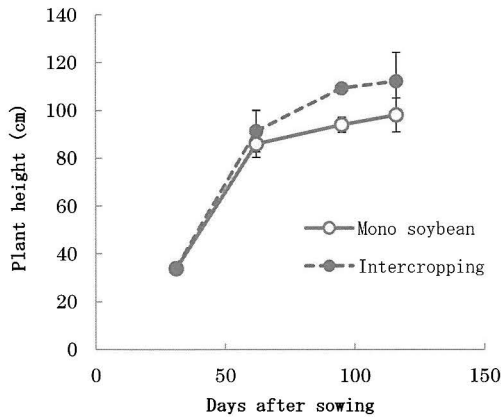


Fig. 2. Changes in plant height of soybean in Sakha field. Vertical lines show s.e. n=3.

傾向を示した (Table 5).

光合成速度

栄養生長期の光合成速度の日変化の推移としては、自然光の光強度条件下では両圃場の両作物とも、間作区が単作区を下回る傾向にあった (Fig. 4). 一方、同時期の両作物の光-光合成曲線において強光下では差が見られなかった (Fig. 5). 生殖生長期のダイズは、自然条件下では両圃場とも全体的に間作区が単作区と比べて低い光合成速度を推移し、その差は栄養生長期より大きかった (Fig. 6). 光-光合成曲線においては、播種後 111 日目に測定した Zankalon 圃場では、単作

区よりも間作区において高い光合成速度を推移したのに対し、播種後 102 日目の Sakha 圃場では間作区が単作区を下回る光合成速度を示し、弱光条件下においてのみ、両区で差がみられなかった (Fig. 7).

収量

両圃場ともトウモロコシの子実収量に関しては、単作区と間作区との間に統計的な差が見られなかった (Table 6 および 7). トウモロコシの収量が Sakha 圃場において Zankalon 圃場より高いのは栽植密度によるものであり、個体あたり収量に差は見られなかった. ダイズは間作区において単作区の 37% (Zankalon 圃場 I-1), 39% (Zankalon 圃場 I-2), 59% (Sakha 圃場) の子実収量であった (Table 6 および 7). 収量構成要素としては、トウモロコシの粒数には差が見られなかったが、ダイズでは間作区において単作区の 33% (Zankalon 圃場 I-1), 39% (Zankalon 圃場 I-2), 65% (Sakha 圃場) の粒数であった. Sakha 圃場におけるダイズの莢数も同様に、間作区において単作区の 65% であった. Zankalon 圃場の I-1 区と I-2 区の収量の間に、両作物とも、統計的な差は見られなかった. 間作区の LER は 1.29 (Zankalon 圃場 I-1), 1.35 (Zankalon 圃場 I-2), 1.79 (Sakha 圃場) であった.

考 察

生育状況

Sakha 圃場の間作区においてダイズの草高が高くな

Table 2. Maximum number of soybean leaves at around 90 days after sowing.

	Mono soybean	Intercropping 1	Intercropping 2
Zankalon	39.5 ± 6.0 a	20.9 ± 3.9 ab	15.7 ± 1.9 b
Sakha	56.5 ± 5.6	30.5 ± 5.5 *	—

Same alphabetical letters in the upper row indicate the absence of significant differences at 5% level of Tukey's test.

* significant difference at 5% level of t-test in the lower row.

Each value indicates average ± s.e. n=3.

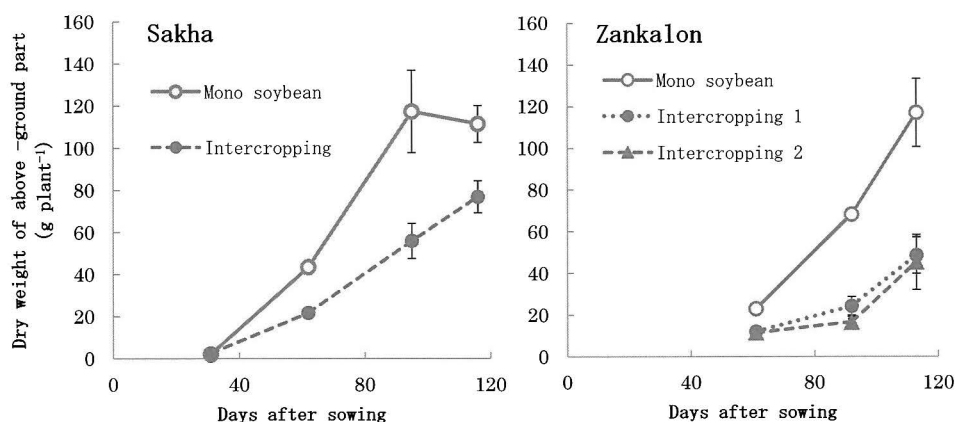


Fig. 3. Changes in dry weight of above-ground part of soybean. Vertical lines show s.e. n=3.

Table 3. SPAD values of maize and soybean at vegetative stage in Sakha field.

	Mono	Intercropping	
Maize	42.3 ± 0.9	39.2 ± 1.4	n.s.
Soybean	34.5 ± 1.2	35.0 ± 1.0	n.s.

n.s. absence of significant differences at 5 % level of t-test.

Each value indicates average ± s.e. n=10.

Table 4. SPAD values of maize and soybean at reproductive stage in Sakha field.

	Mono	Intercropping	
Maize	34.3 ± 2.8	44.0 ± 2.5	*
Soybean	43.4 ± 1.5	48.4 ± 0.6	*

* significant differences between monoculture and intercropping at 5 % level of t-test.

Each value indicates average ± s.e. n=10.

Table 5. Node numbers of maize and soybean plants at reproductive stage.

	Maize			Soybean		
	Mono	Intercropping		Mono	Intercropping	
Zankalon	18.0 ± 0.0	16.2 ± 0.2	**	18.8 ± 0.9	14.4 ± 1.3	*
Sakha	17.4 ± 0.4	16.2 ± 0.6	n.s.	18.6 ± 1.2	15.7 ± 0.7	n.s.

The values of intercropping in Zankalon field were measured in I-2 plots.

*, ** significant differences between monoculture and intercropping at 5 %, 1 % levels of t-test, respectively.

Each value indicates average ± s.e. n=5.

り (Fig. 2), 節数が少なくなるという現象は (Table 5), トウモロコシに遮光されることにより植物が光を受けようと主茎節間が伸長した結果であると考えられた (Liu ら, 2015). ダイズの葉数, 地上部乾物重が間作区において低かったのは (Table 2, Fig. 3), 間作区におけるダイズ植物体がトウモロコシによる遮光により, 十分な成長および乾物生産ができなかったためと考えられた. 生殖生長期の SPAD 値が両作物とも間作区で高かったことから (Table 4), 間作区は単作区と比較して成熟が遅いと考えられた.

光合成速度

栄養生長期の光-光合成曲線に差がみられなかったことから (Fig. 5), 栄養生長期では, 間作区は単作区と同様の光合成活性を示すと考えられた. しかし, Sakha 圃場での間作区のダイズにおいては, 生殖生長

期にかけて, トウモロコシが成長するに従い遮光度合いが高まることによる弱光に適応し, 強光条件下では高い光合成速度を示さなくなったと考えられた (Fig. 7). このことは, 間作下で光合成速度が低くなるという報告 (Prasad and Brook, 2005) と同様の結果となった. 一方, 単作区より間作区の方が成長・成熟が遅いため, 生殖生長期の後期に測定した Zankalon 圃場では, 単作区において成熟が進んだことにより光合成能力が衰えており, 間作区の方が相対的に光合成速度が高くなったと考えられた.

収量

LER が 1.29 (Zankalon 圃場 I-1), 1.35 (Zankalon 圃場 I-2), 1.79 (Sakha 圃場) を示したことから, 両圃場のいずれの様式においても, 間作による単位面積あたりの収量の向上があるものと考えた. これは本実験

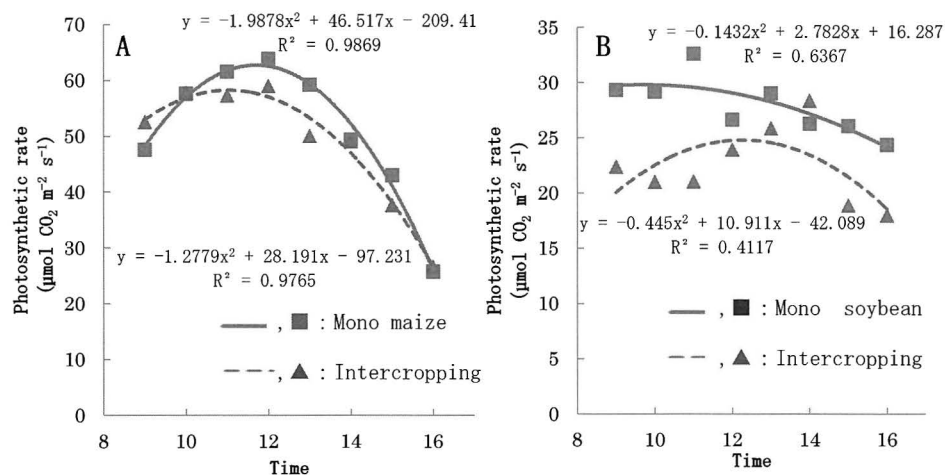


Fig. 4. Diurnal changes in photosynthetic rates of maize(A) and soybean(B) at vegetative stage in Zankalon field. n=4.

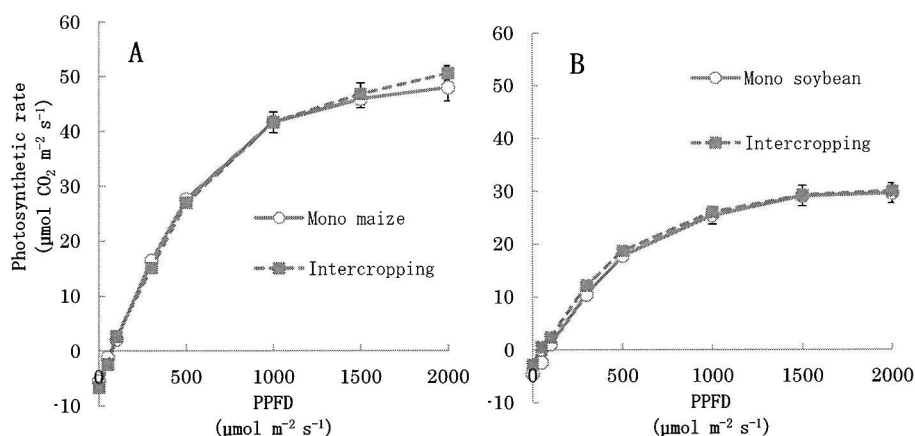


Fig. 5. Light curves of maize(A) and soybean(B) at vegetative stage in Sakha field. Vertical lines show s.e. n=4.

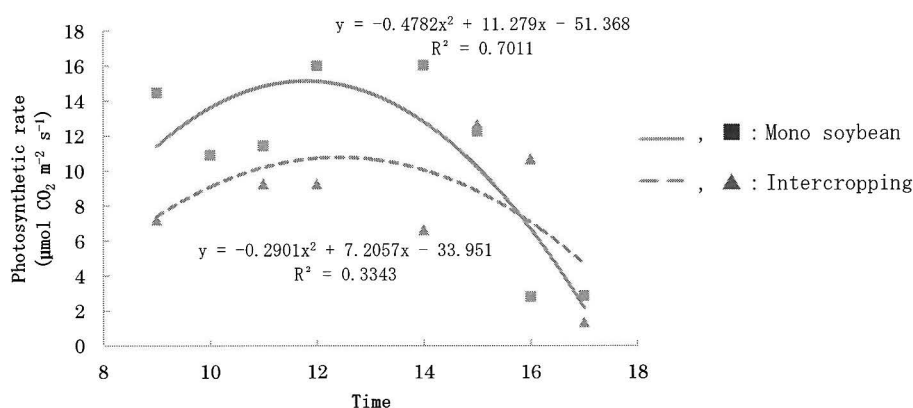


Fig. 6. Diurnal changes in photosynthetic rates of soybean at reproductive stage in Sakha field. n=5.

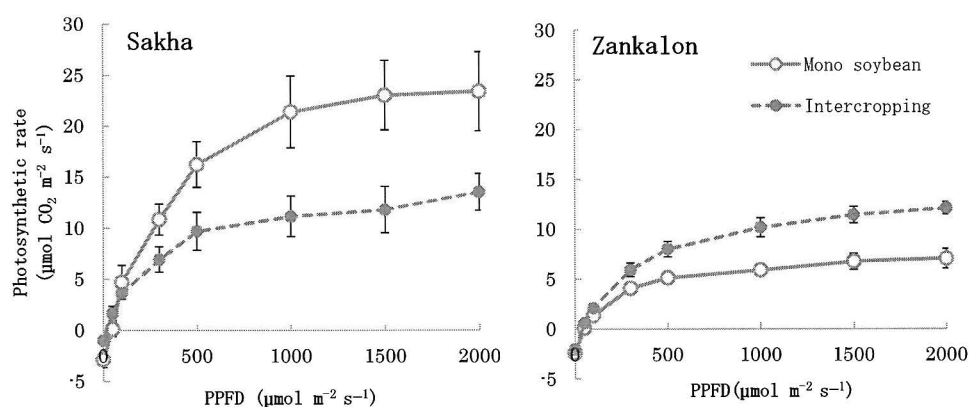


Fig. 7. Light curves of soybean at reproductive stage. Vertical lines show s.e. n=5.

栽培では、主作物のトウモロコシは副作物のダイズと条の畝における播種位置や作物の性質の違いから、根の分布範囲が異なり、また要求する養分などが競合しなかったことによると考えられた。また草高の低いダイズはトウモロコシの光合成を妨げず、収量に関わる乾物生産に悪影響を及ぼさなかったため、トウモロコシの収量が間作下でも単作区と同程度に保たれ、高いLERを示したと推察した。

副作物のダイズは間作区で単作に比べ収量が低下した。Zankalonで約60%, Sakhaで約40%減収したことは主作物のトウモロコシによる遮光が主たる原因であると考えた。LERを高めるためには、間作下での副作物の収量を高める栽培技術、他の作物、品種を用いた間作を試験することで、さらに高収量の間作の組み合わせを探ることが必要であり、今後の課題と考える。

Table 6. Comparison of yield and yield components between monoculture and intercropping in Zankalon field.

Treatment		Grain yield (g m ⁻²)	Number of seeds (m ⁻²)	100 seeds weight (g)
Maize	Mono	1001.3a	3209.5a	31.2a
	Intercropping 1	922.3a	2880.7a	32.0a
	Intercropping 2	953.7a	2944.7a	32.4a
Soybean	Mono	1117.3a	7376.4a	15.1a
	Intercropping 1	414.1b	2439.9b	17.0a
	Intercropping 2	439.5b	2901.4b	15.1a

Same alphabetical letters between treatments indicate the absence of significant differences at 5 % level of Tukey's test. n=3.

Table 7. Comparison of yield and yield components between monoculture and intercropping in Sakha field.

Treatment		Grain yield (g m ⁻²)	Number of seeds (m ⁻²)	100 seeds weight (g)	Number of ears/pods (m ⁻²)
Maize	Mono	1621 ± 197	5211 ± 545	31.1 ± 1.0	10.2 ± 0.6
	Intercropping	1946 ± 42	5383 ± 121	34.6 ± 1.0	10.2 ± 0.6
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Soybean	Mono	494.4 ± 32.4	2737 ± 158	17.5 ± 0.5	907 ± 53
	Intercropping	293.2 ± 19.3	1775 ± 143	16.7 ± 0.7	586 ± 47
		**	*	n.s.	*

*, ** significant differences between monoculture and intercropping at 5 %, 1 % levels of t-test, respectively. n.s. absence of significant differences at 5 % level of t-test.

Each value indicates average ± s.e. n=3.

謝 辞

本研究は、地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) 「ナイル流域における食糧・燃料の持続的生産」の一部として行われた。プロジェクトの関係者の皆様には、分野を超え様々な視点からのご助言を賜り、調整員の方々には渡航、滞在に関するご協力いただいた。また特に実験遂行に関する多大なるご助言をくださった丸山幸夫教授、実験に際してのご助言、ご激励や土壌調査などのご協力をいただいた久保田亜希研究員、エジプトで栽培管理をしてくださったプロジェクトアシスタントの Sayed El Behlak 氏、Hussein Nashaat Sabah Abo Al-Nadar 氏、Ahamed Yousef Darwish 氏、Hassan Mohamed Abd El.Baki 氏に感謝の意を表す。

引用文献

- Atta, Y. I. 2007. Improving Growth, Yield and Water Productivity of Some Maize Cultivars by New Planting Method. Egypt. J. Appl. Sci. 22(11): 1-16.
- Banik, P., A. Midya, B. K. Sarkar, and S. S. Ghose 2006. Wheat and Chickpea Intercropping Systems in an Additive Series Experiment: Advantages and Weed Smothering. Europ. J. Agron. 24: 325-332.
- Eskandari, H. 2012. Intercropping of Maize (*Zea mays*) with Cowpea (*Vigna sinensis*) and Mungbean (*Vigna radiata*): Effect of Complementarity of Intercrop Components of Resource Consumption, Dry Matter Production and Legumes Forage Quality. JBASR 2: 355-360.
- Field Crops Research Institute (FCRI), Agricultural Research Center 2014. Overview, and Future Prospects. pp.2-4, 21-22.
- Foroutan-pour, K., P. Dutilleul and D. L. Smith 2000. Effects of Plant Population Density and Intercropping with Soybean on the Fractal Dimension of Corn Plant Skeletal Images. J. Agron. Crop Sci. 184: 89-100.
- Ghanbari, A., M. Dahmardeh, B. A. Siahshar, and M. Ramroudi 2010. Effect of Maize (*Zea mays* L.) -Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Intercropping on Light Distribution, Soil Temperature and Soil Moisture in Arid Environment. J. Food, Agri. Environ. 8: 102-108.
- Lithourgidis, A. S., C. A. Dordas, C. A. Damalas, and D. N. Vlachostergios 2011. Annual Intercrops: an Alternative Pathway for Sustainable Agriculture. Aus. J. Crop Sci. 5: 396-410.
- Liu, W., J. Zou, J. Zhang, F. Yang, Y. Wan, and W. Yang 2015. Evaluation of Soybean (*Glycine max*) Stem Vining in Maize-Soybean Relay Strip Intercropping System. Plant Prod. Sci. 18: 69-75.
- Mudita, I. I., C. Chiduza, S. J. Richardson-Kageler, and F. S. Murungu 2008. Performance of Maize (*Zea mays* L.) and Soya Bean (*Glycine max* (L.) Merrill) Cultivars of Varying Growth Habit in Intercrop in Sub-Humid Environments of Zimbabwe. J. Agron. 7: 229-236.
- Muoneke, C. O., M. A. O. Ogwuche, and B. A. Kalu 2007. Effect of Maize Planting Density on the Performance of Maize/Soybean Intercropping System in a Guinea Savannah Agroecosystem. Afr. J. Agric. Res. 2: 667-677.
- Prasad, R. B. and R. M. Brook 2005. Effect of Varying Maize Densities on Intercropped Maize and Soybean in Nepal. Expl. Agric. 41: 365-382.
- Takim, F.O. 2012. Advantages of Maize-Cowpea Intercropping over Sole Cropping through Competition Indices. J. Agri. Biodivers. Res. 1: 53-59.
- UN 2012. World Population Prospects. [Online] http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm (2015 年 3 月 9 日 確認).
- Wiley, R. W. 1990. Resource Use in Intercropping Systems. Agric. Water Manage. 17: 215-231.