

研究論文



中国乾燥地での腐植物質の葉面散布がダイズの生育と収量に及ぼす影響

宮内陽介¹⁾・磯田昭弘¹⁾・李治遠²⁾・王培武²⁾

(¹⁾ 千葉大学大学院園芸学研究科, (²⁾ 烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所)

要旨：乾燥地である中国新疆ウイグル自治区昌吉（2007 年，2008 年）と石河子（2008 年）において，発酵鶏糞由来の腐植物質を初生葉展開期から開花始期にダイズに葉面散布し，生育と収量に及ぼす影響について調査した．腐植物質の処理により主茎長，主茎節数および分枝数への影響は認められなかったが，子実収量はいずれの年次・地区とも 6～32% 増大した．処理によって総開花数は増加しなかったが，個体当たりの莢数が増加し結莢率が増加した．粒肥大始期（R5）～粒肥大盛期（R6）の葉面積指数，個体群成長速度および純同化率には大きな差異はなかったが，粒肥大盛期（R6）～成熟始期（R7）の個体群成長速度および莢乾物重増加速度は処理によって大きくなった．CO₂ 同化速度，光化学系 II の量子収量および SPAD 値について調査したが，腐植物質の葉面散布処理による効果はいずれの形質にも認められなかった．以上のことから，腐植物質に含まれる植物ホルモン様の物質により結莢数が増加し，粒肥大盛期以降，莢への同化産物の転流が促された結果，収量が増大したものと考えられた．腐植物質の葉面散布処理は，中国乾燥地におけるダイズの増収効果をもたらす技術であることが認められた．

キーワード：開花数，乾燥地，結莢率，子実収量，ダイズ，腐植物質．

試験を行った中国新疆ウイグル自治区昌吉市，石河子市は北にジュンガル砂漠，南に天山山脈がある北新疆に位置し，年間降水量約 200 mm，蒸散量約 1500 mm の乾燥地である．農地はすべてかんがいが行われ，かんがい水は天山山脈の雪解け水を利用している．土壌条件は有機物，土壌窒素が乏しいものの，太陽エネルギーが豊富なことから適切なかんがいを行うことにより高収量を望むことができる．石河子中亜干旱農業環境研究所（現 烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所）における点滴かんがいをういたダイズの栽培実験で，2002 年，2003 年，2004 年はそれぞれ 841, 838, 920 kg/10 a の超多収記録が得られたことが報告されている（Isoda ら 2006）．また同研究所では，有機質の少ない土壌条件を補うため石炭灰を用いた土壌改良材の施用，有機質肥料の多量施用等の試みがなされている（磯田ら 2005）．さらに同研究所では腐植物質の葉面散布による収量性の向上についても検討している．腐植物質は動植物が腐朽して生成されるもので，土壌の緩衝作用，イオン吸着作用，キレート作用によるアルミニウムの不活性化やリン酸の肥効を高め，植物の生理活性を向上させる効果があるとされている（Chen and Aviad 1990）．Brownell ら（1987）は，腐植物質の施用がトマト，ワタ，ブドウの生育を促進したことを，Xudan（1986）は，腐植物質の一種であるフルボ酸の散布により乾燥条件下のコメの収量が増加したことを報告している．生理的形質への影響として，腐植物質により栄養素の取り込みを高めたこと（Fernandez ら 1996，

Eyheraguibel ら 2008），オリーブの搾りかす由来の腐植物質の葉面散布はクロロフィル含量を高めたこと（Tejada and Gonzalez 2004）が報告されている．そこで本実験では，中国乾燥地において発酵鶏糞由来の腐植物質の葉面散布が，ダイズの生育と収量および光合成関連形質に及ぼす影響について調査し，腐植物質の施用が乾燥地におけるダイズの生産性向上に活用できる技術としての可能性について検討した．なお，測定器の都合により光合成関連形質の測定は，日本の千葉県松戸市で行った．

材料と方法

1. 圃場栽培実験

試験は，2007 年に中国新疆ウイグル自治区昌吉市の石河子中亜干旱農業環境研究所（現：烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所）の昌吉実験圃場（北緯 44 度，東経 87 度），2008 年には昌吉実験圃場および石河子実験圃場（北緯 44 度，東経 86 度）のコンクリート壁で区切られた枠圃場で行った．供試品種はトヨコマチを用い，2007 年 5 月 22 日（昌吉），2008 年 4 月 24 日（昌吉），2008 年 4 月 26 日（石河子）に播種した．栽植密度は 22.2 個体 m⁻²（60 cm と 30 cm の交互畝，株間 10 cm，1 本立て）とした．施肥はすべて有機質肥料を用い，10 a 当たり 1.5 t（成分量 N:P₂O₅:K₂O = 24:30:19.5 kg，C/N 比 7.9）を播種前に鋤込んだ．処理区は発酵鶏糞由来の腐植物質（商品名：源生，烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所）を 1000 倍，100 倍に希釈した液を葉面散布した

第1表 昌吉と石河子における播種日、開花日、成熟日および腐植物質葉面散布日.

腐植物質 処理区	年次・地区	播種日	開花日 (播種－開花)*	成熟日 (開花－成熟)**	腐植物質葉面散布日			
					1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
対照区	2007 年昌吉	5 月 22 日	7 月 1 日 (41)	9 月 13 日 (74)	6 月 8 日	6 月 15 日	7 月 22 日	7 月 29 日
1/1000 倍区		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
1/100 倍区		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
対照区	2008 年昌吉	4 月 24 日	6 月 5 日 (42)	8 月 23 日 (79)	5 月 20 日	5 月 27 日	6 月 3 日	6 月 10 日
1/1000 倍区		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
1/100 倍区		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
対照区	2008 年石河子	4 月 26 日	6 月 9 日 (44)	8 月 31 日 (83)	5 月 24 日	5 月 31 日	6 月 7 日	6 月 14 日
1/1000 倍区		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
1/100 倍区		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

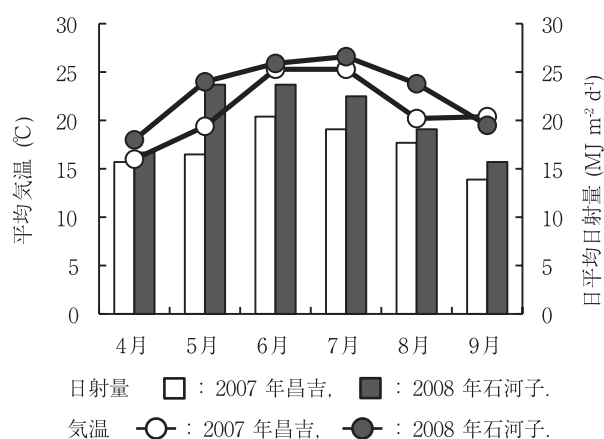
*: 播種から開花までの日数, **: 開花から成熟までの日数.

区(以降, 1/1000 倍区, 1/100 倍区)および水のみを葉面散布した区(以降, 対照区)を設け, 1 区当たりの面積は 40.5 m^2 ($5.4 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$) とした. 腐植物質の炭素, 水素, 窒素の割合はそれぞれ 0.20%, 11.8%, 0.16% であった. この値より対照区, 1/1000 倍区, 1/100 倍区とも同等の窒素含量となるように尿素で調整を行った(1 回当たり尿素量, 対照区: 9.50 mg m^{-2} , 1/1000 倍区: 8.75 mg m^{-2} , 1/100 倍区: 2.00 mg m^{-2}). 葉面散布は, 時期を変えて処理を行った予備実験で最も効果的であった初生葉展開後から開花始期まで 1 週間おきに合計 4 回行った(第 1 表). 試験区は, 腐植物質処理を主区, 年次・地区を副区とする分割区法を用い, 2007 年が 3 反復, 2008 年の昌吉, 石河子は 2 反復で行った. かん水は点滴かんがいにより適宜行った.

ダイズの生育は Fehr ら (1971) によって定義された生育ステージに従って生育調査を行い, 播種 2 ヶ月後より 2 週間おきに各区より中庸な 10 個体を採取し, 葉面積, 部位別乾物重を測定した. 同時に各区 4 個体 (2007 年は各区 3 個体) の上位 2 葉目の葉身について葉緑素計 (SPAD-502, コニカミノルタ製) を用いて SPAD 値を測定した. 開花数は, 2007 年昌吉が各区 9 個体, 2008 年石河子は各区 8 個体について測定し, 成熟期に開花数を測定した個体の莢数を数え結莢率を算出した. 2008 年昌吉では開花数の測定を行わなかった. 各区 1.98 m^2 ($1.8 \text{ m} \times 1.1 \text{ m}$) の植物体を採取し, 収量および収量構成要素を調査した.

2. 光合成関連形質の測定

2011 年に千葉県松戸市の千葉大学園芸学部実験圃場 (北緯 36 度, 東経 140 度) においてポット栽培を行った. 供試品種はフクユタカを用い, 1/2000 ワグネルポットに畑地土壌を充填し, 6 月 22 日に播種した. 施肥量は 1 ポット当たり $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=0.24:0.80:0.80 \text{ g}$ となるよう, 化成肥料を播種前に施用した. 発酵鶏糞由来の腐植物質 (源生, 烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所) を 1000 倍に希釈した液を葉面散布した区 (以降, 1/1000 倍区) および水のみ



第1図 昌吉と石河子における生育期間中の月別平均気温と日平均日射量の推移.

を葉面散布した区 (以降, 対照区) を設け, 各区 12 個体とし, 両区の窒素散布量が等しくなるように尿素で調整した. 葉面散布は初生葉展開後 (7 月 9 日) から開花 (7 月 29 日) まで 1 週間おきに合計 4 回行った.

各区 8 個体について完全展開した上位 2 葉目の葉身を対象に, 携帯光合成蒸散測定装置 (LI-6400, Li-COR 製) を用い CO_2 同化速度を, 葉緑素計により SPAD 値を 7 月 16 日から 10 月 1 日まで 10 回測定した. さらに, クロロフィル蛍光測定装置 (PAM-2000, Walz 製) を用いて光化学系 II (PS II) の量子収量を 8 月 12 日から 8 月 26 日まで 3 回測定した. 収量および収量構成要素は, 各区 9 個体について調査した.

結 果

1. 気象条件および生育状況

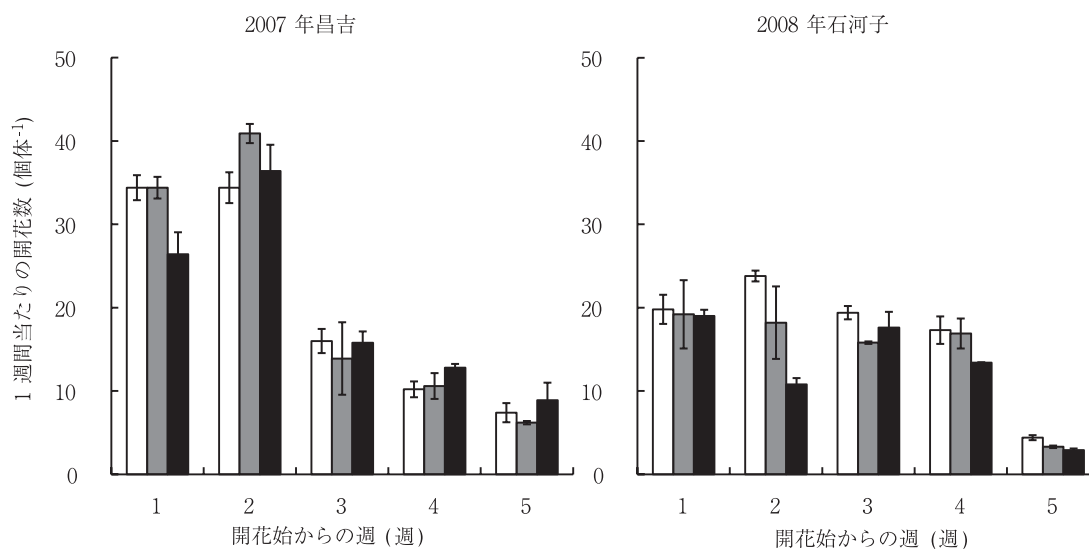
昌吉と石河子における月別平均気温と日平均日射量の推移を第 1 図に示した (2008 年昌吉のデータはなし). 気温は, 2008 年石河子が 2007 年昌吉より平均で 1.9°C 高く推移し, 日平均日射量も, 2008 年石河子が 2007 年昌吉より平均で $3.0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 高く推移した. 昌吉と石河子における播種日, 開花日, 成熟日および腐植物質葉面散布日を第 1 表に示し

第2表 昌吉と石河子における主茎長、主茎節数および分枝数。

腐植物質 処理区	年次・地区	主茎長 (cm)	主茎節数 (個体 ⁻¹)	分枝数 (個体 ⁻¹)
対照区	2007 年昌吉	48.7 a	9.7 a	4.8 a
1/1000 倍区		49.0 a	9.9 a	5.7 a
1/100 倍区		46.6 a	10.0 a	5.2 a
対照区	2008 年昌吉	41.7 b	10.0 a	4.3 ab
1/1000 倍区		45.4 a	10.6 a	5.1 a
1/100 倍区		42.9 b	10.4 a	3.9 b
対照区	2008 年石河子	43.6 b	8.9 a	4.4 ab
1/1000 倍区		47.4 a	9.1 a	3.5 b
1/100 倍区		44.3 b	9.0 a	5.0 a
年次間 (2007 年昌吉 × 2008 年昌吉)		ns	ns	ns
地域間 (2008 年昌吉 × 2008 年石河子)		ns	**	ns

各年次・地区において同一アルファベットを付した数値間には5%水準で有意差なし (Fisher's LSD)。

** : 1%水準で有意差あり, ns : 有意差なし。



□ : 対照区, ■ : 1/1000 倍区, ■ : 1/100 倍区

第2図 昌吉と石河子における開花数の推移。

縦棒は標準誤差を表す。

た。2007 年昌吉は、降雨の影響により通常より1ヶ月ほど遅い5月22日に播種を行った。開花日および成熟日は、年次と地域において処理区間に差はみられなかった。生育日数は2007 年昌吉が115日、2008 年昌吉は121日、石河子が127日であった。播種から開花までの日数は全処理区において約40日であったが、開花から成熟までの日数は播種日の遅かった2007 年が2008 年より少なかった。

2. 主茎長、主茎節数および分枝数

昌吉と石河子における主茎長、主茎節数、1 個体当たり分枝数を第2表に示した。主茎長は、2008 年昌吉、2008 年石河子の1/1000 倍区が長かったことを除き、いずれの

年次・地区においても腐植物質処理の影響は小さかった。主茎節数はいずれの年次・地区においても処理区間に有意な差異は認められなかった。1 個体当たり分枝数は2008 年昌吉の1/100 倍区、2008 年石河子の1/1000 倍区が少なかったが、処理による一定の影響はみられなかった。また、昌吉における2007 年と2008 年の年次間では主茎長、主茎節数および分枝数には有意な差異はなかった。2008 年の昌吉と石河子の間には、主茎長および分枝数には有意な差異はなかったが主茎節数に有意差がみられた。

3. 開花数と結莢率

昌吉と石河子における開花数の推移を第2図に、総開花

第3表 昌吉と石河子における総開花数と結莢率.

腐植物質 処理区	年次・地区	総開花数 (個体 ⁻¹)	結莢率 (%)
対照区	2007年昌吉	105.3 a	38.7 b
1/1000 倍区		106.7 a	46.2 a
1/100 倍区		104.0 a	40.7 b
対照区	2008年石河子	84.5 a	46.3 b
1/1000 倍区		73.1 b	55.4 a
1/100 倍区		63.5 c	58.5 a
有意差	年次間 (2007年昌吉 × 2008年石河子)	ns	*

各年次・地区において同一アルファベットを付した数値間には5%水準で有意差なし (Fisher's LSD).

*: 5%水準で有意差あり, ns: 有意差なし.

第4表 昌吉と石河子における粒肥大始期以降の平均葉面積指数 ($\overline{\text{LAI}}$), 個体群成長速度 (CGR), 純同化率 (NAR) および莢乾物重増加速度 (PGR).

腐植物質 処理区	年次・地区	R5 - R6 ¹⁾				R6 - R7 ¹⁾			
		$\overline{\text{LAI}}$	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NAR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	$\overline{\text{LAI}}$	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NAR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
対照区	2007年昌吉	6.9 b	18.5 a	2.7 a	12.6 b	6.6 a	13.5 b	2.1 a	14.1 b
1/1000 倍区		7.3 a	18.8 a	2.6 a	14.6 a	7.0 a	27.1 a	3.8 a	20.5 ab
1/100 倍区		7.6 a	18.1 a	2.4 a	13.2 ab	7.1 a	27.5 a	3.9 a	23.3 a
対照区	2008年昌吉	3.1 a	12.0 b	3.8 b	12.6 b	2.6 b	0.2 b	0.1 b	7.9 a
1/1000 倍区		3.3 a	21.5 a	6.4 a	18.0 a	3.1 a	5.9 a	2.1 a	7.6 a
1/100 倍区		3.3 a	5.7 c	1.8 c	12.0 b	2.8 b	8.1 a	3.1 a	11.5 a
対照区	2008年石河子	3.7 b	16.3 a	4.4 a	13.2 a	3.3 b	2.9 b	1.0 b	7.5 c
1/1000 倍区		3.4 c	15.2 a	4.5 a	11.8 a	3.2 b	15.7 a	5.4 a	19.2 a
1/100 倍区		3.9 a	12.7 a	3.3 a	13.2 a	3.6 a	10.7 a	3.2 b	11.9 b
	年次間 (2007年昌吉 × 2008年昌吉)	**	*	ns	ns	**	**	ns	**
有意差	地域間 (2008年昌吉 × 2008年石河子)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹⁾: Fehr ら (1971) の定義による生育ステージで, R5, R6, R7 はそれぞれ粒肥大始期, 粒肥大盛期, 成熟始期を表す.

各年次・地区において同一アルファベットを付した数値間には5%水準で有意差なし (Fisher's LSD).

*, **: 5%, 1%水準でそれぞれ有意差あり, ns: 有意差なし.

数および結莢率を第3表に示した. 開花期間は両地区のすべての処理区において34日と有意な差はなかった. 2007年昌吉では開花始から1, 2週目の開花数が多く, 1週目では1/100倍区が少なく2週目では1/1000倍区が多くなる傾向がみられた. 3週目以降は処理区間に大きな差異はみられなかった. 2008年石河子では1週目から4週目まで1個体当たり約20の開花数であった. 2週目と4週目の1/100倍区は少なく, 2週目の対照区が多い傾向があった. 総開花数は2007年昌吉では有意な差異がなく, 2008年石河子では対照区が1/1000倍区, 1/100倍区より有意に多かった. 結莢率は2007年昌吉の1/1000倍区が1/100倍区, 対照区より有意に高かった. 2008年石河子では1/1000倍区, 1/100倍区が対照区より有意に高くなった.

総開花数はすべての処理区において2007年昌吉が多く, 結莢率は逆に2008年石河子が高かったことから, 両地区における莢数には大きな違いがみられなかった.

4. 成長パラメータ

昌吉と石河子における粒肥大始期以降の平均葉面積指数 ($\overline{\text{LAI}}$), 個体群成長速度 (CGR), 純同化率 (NAR) および莢乾物重増加速度 (PGR) を第4表に示した. 粒肥大始期～粒肥大盛期 (R5-R6) において, 2008年昌吉の1/1000倍区はCGRおよびPGRが大きく, 同じく1/100倍区のCGRとNARが小さい傾向を示したが, その他の年次・地区における腐植物質処理の影響はいずれの成長パラメータでもほとんどみられなかった. 粒肥大盛期～成熟始期 (R6-

第5表 昌吉と石河子における収量および収量構成要素.

腐植物質 処理区	年次・地区	子実収量 (g m ⁻²)	莢数 (m ⁻²)	一莢粒数	100粒重 (g)
対照区	2007年昌吉	393.3 b	631 b	2.3 a	27.1 a
1/1000倍区		503.2 a	848 a	2.3 a	26.2 a
1/100倍区		486.1 a	839 a	2.2 a	26.1 a
対照区	2008年昌吉	414.6 b	673 b	2.2 a	27.5 a
1/1000倍区		535.6 a	844 a	2.3 a	28.0 a
1/100倍区		547.6 a	847 a	2.3 a	28.6 a
対照区	2008年石河子	487.6 b	710 b	2.3 a	29.5 a
1/1000倍区		551.5 a	800 a	2.3 a	29.5 a
1/100倍区		515.1 ab	753 ab	2.3 a	29.5 a
年次間 (2007年昌吉 × 2008年昌吉)		ns	ns	ns	*
有意差 地域間 (2008年昌吉 × 2008年石河子)		ns	ns	ns	ns

各年次・地区において同一アルファベットを付した数値間には5%水準で有意差なし (Fisher's LSD).

*: 5%水準で有意差あり, ns: 有意差なし.

R7) において, 2007年昌吉では対照区に比べ1/1000倍区ならびに1/100倍区のCGRおよびPGRが大きく, 2008年昌吉においても1/1000倍区ならびに1/100倍区のCGRが大きかった. さらに2008年石河子では対照区に比べ1/1000倍区ならびに1/100倍区のCGRおよびPGRが大きかった. 2007年昌吉の \overline{LAI} は2008年昌吉および石河子に比べて大きく推移したが, 両期間とも腐植物質処理間では大きな差異はなかった. 2007年昌吉の大きい \overline{LAI} は, 遅播きによる生育初期の高温のためと考えられた.

5. 収量および収量構成要素

昌吉と石河子における収量および収量構成要素を第5表に示した. 子実収量は, 2008年石河子の1/100倍区を除きいずれの年次・地区においても対照区に比べ1/1000倍区, 1/100倍区が有意に高かった. 2007年昌吉, 2008年昌吉および2008年石河子は対照区に比べて1/1000倍区がそれぞれ28%, 29%, 13%高く, 1/100倍区もそれぞれ24%, 32%, 6%高かった. 莢数も同様にいずれの年次・地区でも対照区に比べて1/1000倍区が有意に多く, 1/100倍区も2007年昌吉および2008年昌吉では対照区より多かった. 一莢粒数, 100粒重はいずれの年次・地区においても腐植物質処理区間に有意な差異がみられなかったことから, 子実収量の増大は莢数の増加によるものであった (両者の相関係数 $r=0.89^{**}$). また, 昌吉における年次間差および2008年での地区間差は, 昌吉における100粒重の年次間差を除きいずれの形質も有意ではなかった.

松戸における収量と収量構成要素を第6表に示した. 中国新疆と同様, 一莢粒数, 100粒重には有意な差異はみられなかったが, 莢数は腐植物質処理により有意に多くなり,

第6表 松戸における収量および収量構成要素.

腐植物質 処理区	子実収量 (g 個体 ⁻¹)	莢数 (個体 ⁻¹)	一莢粒数	100粒重 (g)
対照区	57.3	121	1.7	27.2
1/1000倍区	60.0	128	1.7	27.2
有意差	**	*	ns	ns

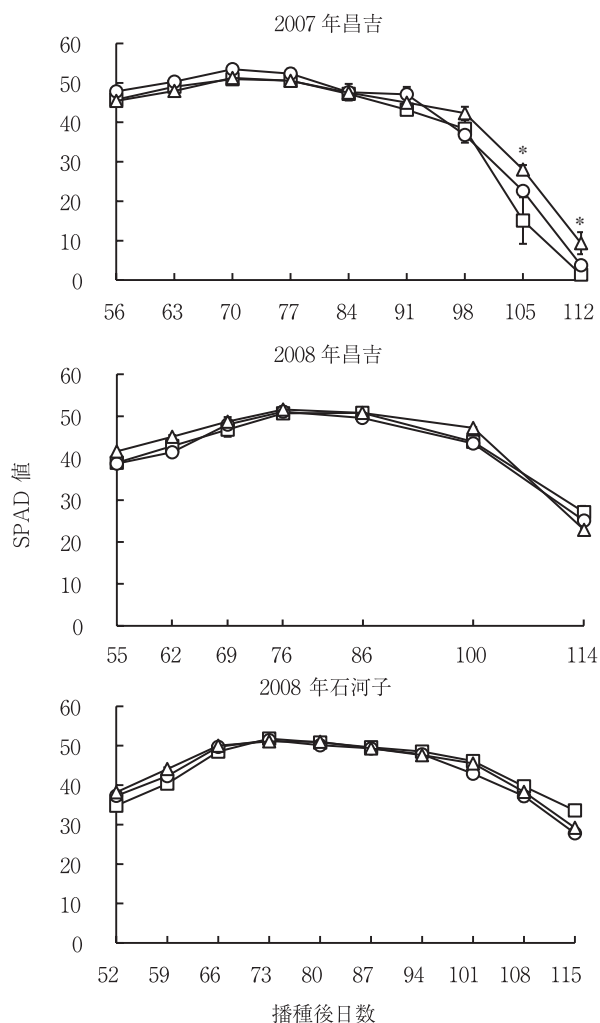
*, **: 5%, 1%水準でそれぞれ有意差あり, ns: 有意差なし.

子実収量にも有意な差異が認められた.

6. CO₂ 同化速度, SPAD 値および光化学系 II (PS II) の量子収量の推移

2007年昌吉, 2008年昌吉および2008年石河子におけるSPAD値の推移を第3図に示した. 2007年昌吉における成熟前に対照区の早い葉身の枯れ上がりの影響により処理区間に有意な差異がみられたことを除くと, いずれの年次・地区においても腐植物質処理の影響はみられなかった.

松戸におけるCO₂同化速度, SPAD値およびPS IIの量子収量の推移を第4図に示した. CO₂同化速度は, 両処理区とも7月16日が最も大きく, 減少, 増加を繰り返す推移を示したが, 調査期間を通じて腐植物質処理による同じ影響はみられなかった. SPAD値は7月16日から8月5日までの期間, 1/1000倍区が対照区より有意に高かったものの, それ以降は対照区が高く推移する傾向が見られた. PS IIの量子収量は1/1000倍区が大きい傾向がみられたものの, 処理区間に有意な差はみられなかった. 調査期間を通して, CO₂同化速度, SPAD値およびPS IIの量子収量の間には有意な相関関係はみられなかった.

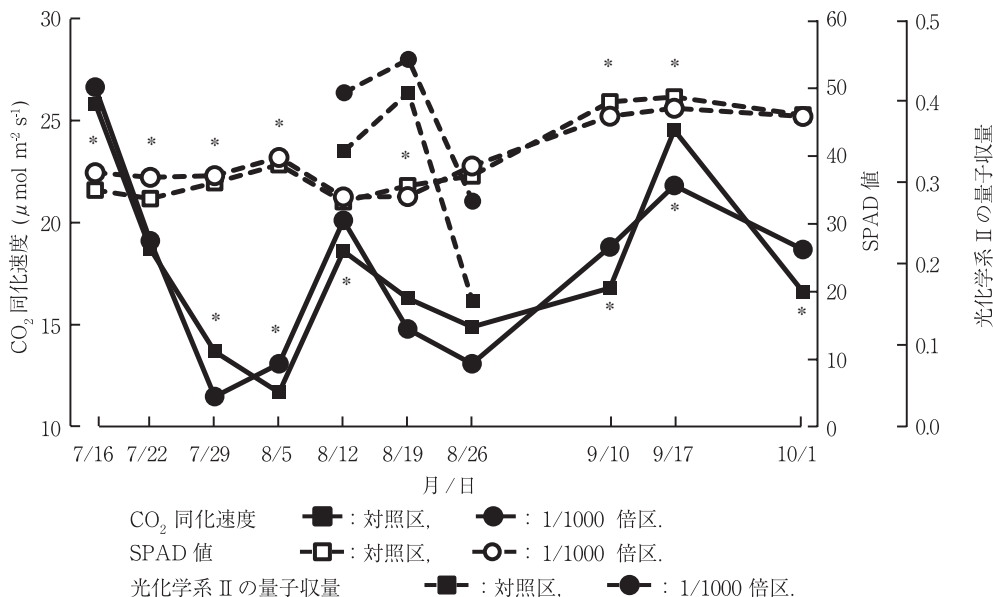


第3図 昌吉と石河子における SPAD 値の推移。

縦棒は標準誤差を表す。*: 5%で有意差あり。

考 察

本実験では中国乾燥地において腐植物質の葉面散布により、ダイズの子実収量が最大 32% 増大した (第5表)。葉面積指数は腐植物質処理区間で大きな差異がみられなかった (第4表) ことから、ソースの大きさが収量増大に関係していないことがうかがえる。一方、腐植物質処理により開花数には影響がないあるいは少なくなるものの (第2図, 第3表)、莢数が増加したことから落花・落莢が減少したものと考えられる。したがって、落花・落莢の減少による莢数の増加によりシンクが増大したこと、ならびに粒肥大盛期以降の莢乾物重増加速度が高い傾向を示した (第4表) ことから判断して、莢への同化産物の転流が大きくなったことが収量増大の原因としてあげられる。Vaughan ら (1985) は、腐植物質の植物に及ぼす影響として腐植物質がカチオンと錯体化して植物に吸収されやすくなり、養分吸収が増進されるといった間接的影響や、呼吸、核酸やタンパク質合成といった代謝への直接的影響を挙げている。茎葉への腐植物質の散布によりイネのクロロフィル含量が高まったこと (Tejada and Gonzalez 2004)、腐植物質からも製造される 5-アミノレブリン酸の施用によってポトスのクロロフィル含量と光合成能力が高くなったこと (Hotta ら 1997) が報告されている。しかし、日本における実験では腐植物質の葉面散布は CO_2 同化速度、SPAD 値および PS II の量子収量に明確な影響が認められず (第4図)、新疆においても SPAD 値には影響がみられなかった (第3図)。このことは、腐植物質の作用が葉緑素の増大による光合成の光化学反応、あるいは炭酸同化反応の促進ではないことを示しており、結莢率の増大と同化産物の転流に影響を及ぼしたと考えられる。同化産物の転流および結莢率への作用は

第4図 松戸における CO_2 同化速度、SPAD 値および光化学系 II の量子収量の推移。

*: 5%水準で有意差あり。

いくつかの植物調節物質で認められており, Tanner and Ahmed (1974) はアンチオーキシンの 2, 3, 5-triiodobenzoic acid (TIBA) をダイズの茎葉に散布したところ, 生殖成長部位への転流が高くなり増収したことを, Senoo and Isoda (2003) はジベレリン生合成阻害剤のパクロブトラゾールのラッカセイ茎葉への散布が茎葉の成長を抑制し, 開花期初期の莢への同化産物転流を高めた結果増収になったことを報告している。これらはいずれも栄養成長を抑制し, 同化産物の生殖器官への更なる転流を促したことから増収になったことを示している。しかし, 本実験では主茎長, 主茎節数, 分枝数 (第 3 表) および葉面積指数 (第 4 表) への影響はほとんどなく, 莢数が増大した結果増収した点が異なる。一方, 腐植物質は植物ホルモンと類似の作用を持つことが知られている (Vaughan and Malcom 1985, Nardi ら 1996)。ダイズにおいては, サイトカイニンが結莢に影響することが数多く報告されている (Crosby ら 1981, Dyer ら 1987, Nagel ら 2001, Yashima ら 2005, Nonokawa ら 2007)。したがって, 本実験で用いた腐植物質にはオーキシン, ジベレリン関連物質ではなく, 結莢を制御するサイトカイニン様の植物調節物質あるいはその前駆物質を含んでいる可能性が考えられる。予備実験より腐植物質の散布時期は開花前処理が最も収量に対し効果的であったことからこのことが推測される。今後は腐植物質の他作物への影響および他地域における効果を検証すると共に, 本実験で使用した腐植物質の成分分析と作用機構について解析を進めて行く予定である。

引用文献

- Brownell, J.R., G. Nordstrom, J. Marihart and G. Jounrgensen 1987. Crop response from two new leonardite extracts. *Sci. Total Environ.* 62 : 491–499.
- Chen, Y. and T. Aviad 1990. Effects of humic substances on plant growth. *Soil, Crop Sci.* : 161–186.
- Crosby, K.E., L.H. Aung and G.R. Buss 1981. Influence of 6-benzylaminopurine on fruit-set and seed development in two soybean, *Glycine max* (L.) Merr. genotypes. *Plant Physiol.* 68 : 985–988.
- Dyer, D.J., D.R. Carlson, C.D. Cotterman, J.A. Sikorski and S.L. Ditson 1987. Soybean pod set enhancement with synthetic cytokinin analogs. *Plant Physiol.* 84 : 240–243.
- Eyheraguibel, B., J. Silvestre, P. Morard 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Tec.* 99 : 4206–4212.
- Fehr, W.R., C.E. Caviness, D.T. Burmood and J.S. Penningto 1971. Stage of developmental descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11 : 929–931.
- Fernandez, E.R., M. Benlloch, D. Barranco, A. Duenas, G.A. Guterrez 1996. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *Sci. Hort.* 66 : 191–200.
- Hotta, Y., T. Tanaka, H. Takaoka, Y. Takeuchi and M. Konnai 1997. New physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants : The increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth. *Biosci. Biotech. Biochem.* 61 : 2025–2028.
- 磯田昭弘・高橋秀一・王培武・李治遠 2005. 中国乾燥地における有機質肥料及び土壌改良剤がダイズの生育に及ぼす影響. *日作関東支報* 20 : 80–81.
- Isoda, A., M. Mori, S. Mastumoto, Z. Li and P. Wang 2006. High yielding performance of soybean in northern Xinjiang, China. *Plant Prod. Sci.* 9 : 401–407.
- Nagel, L. R. Brewster, W.E. Riedell and R.N. Reese 2001. Cytokinin regulation of flower and pod set in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Ann. Bot.* 88 : 27–31.
- Nardi, S., G. Concheri, G. Dell'Agnola 1996. Biological activity of humic substances. In Piccolo, A. ed., *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier, Amsterdam. 361–406.
- Nonokawa, K., M. Kokubun, T. Nakajima, T. Nakamura and R. Yoshida 2007. Roles of auxin and cytokinin in soybean pod setting. *Plant Prod. Sci.* 10 : 199–206.
- Senoo, S. and A. Isoda 2003. Effects of paclobutrazol on podding and photosynthetic characteristics in peanut. *Plant Prod. Sci.*, 6 : 190–194.
- Tanner, J.W. and S. Ahmed 1974. Growth analysis of soybeans treated with TIBA. *Crop Sci.* 14 : 371–374.
- Tejada, M. and J.L. Gonzalez 2004. Effects of foliar application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on rice yield. *Eur. J. Agron.* 21 : 31–40.
- Vaughan, D. and R.E. Malcom 1985. Influence of humic substances on growth and physiological processes. In Vaughan, D. and R.E. Malcom eds., *Soil organic matter and biological activity*. Martinus Nijhoff/Junk W, Dordrecht. 37–75.
- Vaughan, D., R.E. Malcom and B.G. Ord 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In Vaughan, D. and R.E. Malcom eds., *Soil organic matter and biological activity*. Martinus Nijhoff/Junk W, Dordrecht. 77–108.
- Xudan, X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. *Aust. J. Agric. Res.* : 343–350.
- Yashima, Y., A. Kaihatsu, T. Nakajima and M. Kokubun 2005. Effects of source/sink ratio and cytokinin application on pod set in soybean. *Plant Prod. Sci.* 8 : 139–144.

Effects of Foliar Application of Humic Substance on Growth and Yield of Soybean in Arid Areas of Xinjiang, China : Yosuke MIYAUCHI¹⁾, Akihiro ISODA¹⁾, Zhiyuan LI²⁾ and Peiwu WANG²⁾ (¹⁾ *Graduate School of Horticulture, Chiba University, Matsudo 648, Matsudo city, Chiba 271-8510, Japan;* ²⁾ *Urumqi Agricultural and Environmental Institute for Arid Areas in Central Asia, Urumqi, Xinjiang, China*)

Abstract : Effects of a foliar spraying of humic substance on growth and yield of soybean were evaluated in Changji (2007, 2008) and Shihezi (2008), Xinjiang, China. The humic substance was applied during the time from the fully expansion of primary leaf to the start of flowering. The humic substance had no significant effect on stem length, node number and branch number, but improved seed yields by 6 to 32%. It increased pod number per plant by increasing pod setting, although there was no significant effect on cumulated flower number. The humic substance did not affect the mean leaf area indices, crop growth rates and net assimilation rates, but increased pod growth rates during the later pod filling period. It also did not affect the CO₂ assimilation rate, quantum yield of photosystem II or chlorophyll content. Thus, increasing pod number by plant hormone-like substances in the humic substance was considered to stimulate the translocation of assimilate toward pods, leading to an increase in seed yield. It was concluded that the foliar application of humic substance to soybean was effective in increasing seed yield in the arid areas of Xinjiang, China.

Key words : Arid area, Flower number, Humic substance, Pod setting, Seed yield, Soybean.
