

# メキシコの半乾燥地における異なる有機物の施用効果

團 晴行\* Ramón Aguilar García\*\* 林 幸博\*\*\* 吾郷秀雄\*\*\*\* 足立忠司\*\*\*\*\*

## The Effect of Different Combinations of Corn Residues and Compost on Soil Moisture, Yield, and Harvest Index of Beans in a Semiarid Area of Mexico

Haruyuki DAN\*, Ramón Aguilar García\*\*, Yukihiro HAYASHI\*\*\*, Hideo AGO\*\*\*\*  
and Tadashi ADACHI\*\*\*\*\*

In semiarid areas of Mexico, lack of organic matter is a major constraint for production of corn and frijol beans, the main crops of the region. A multi-year experiment was carried out at the CENGUA Experiment Station, Guanajuato State, Mexico. Soil moisture was highest in the treatments with 100% or 67% of corn residues. Yields of frijol beans increased as the proportion of corn residues increased in all three years, but there was no significant difference between the treatment with all corn residues and the treatment with one-third reduction of corn residues in two of the three years. The harvest index was highest in the same two treatments with higher proportions of corn residues in the last years. These results suggest that corn residues can be reduced by one third in fertilization of corn-frijol bean systems while maintaining adequate frijol bean yields. This could assist in establishment of sustainable corn-frijol bean-cattle integrated agriculture in semi-arid areas of Mexico.

**Key words:** compost, corn residues, frijol beans, soil moisture

### 1 はじめに

世界の農用地面積の 80%以上は、天水に依存した農業を営んでおり、全農村人口の 60%以上がこの地域に居住しているといわれている（緑資源機構, 1994）。このような地域では、伝統的農法による生産性の低い農業の展開を余儀なくされており、土壌侵食などの土壌劣化現象により農地の肥沃度が低下している。農地の劣化は乾燥地、半乾燥地において最も進行しており、中南米の天水農業地域においては 65%が砂漠化している（環境庁, 1990）。地球環境問題の観点からも食糧生産において重要な役割を有する天水農業地域に対しては、土壌保全対

策を講じつつ、安定的かつ持続的な農業生産を実現させることが非常に重要な課題となっている。

この状況を踏まえて、緑資源機構は農林水産省の補助金を受け、1998年から3ヵ年にわたりメキシコ国立農牧林研究所グアナファト北部試験場（以下「CENGUA」という）と、共同研究を実施した。

本報では CENGUA と共同研究した農地保全技術のうち、異なるタイプの有機物の施用が基礎穀類の生産に及ぼす効果について考察する。これは、資金力の乏しい開発途上国においても適用可能な作物残さおよび家畜糞を最大限に利活用する方法を検討したものである。

#### 1.1 試験地の概要

本研究は、メキシコ国グアナファト州 CENGUA 内のほ場（北緯 21 度 6 分、西経 100 度 32 分）にて実施した（図 1）。メキシコ中央部に位置するグアナファト州北部は半乾燥気候で、かつ傾斜や起伏が多い地形にある。

\*独立行政法人緑資源機構海外事業部

\*\*メキシコ国立農牧林研究所

\*\*\*日本大学生物資源科学部

\*\*\*\*農林水産省中国四国農政局高瀬農地保全事業所

\*\*\*\*\*岡山大学環境理工学部

このような条件下、多くの小農が低生産性の天水農業を土壤侵食に悩まされながら取り組んでいる状況にある。

グアナファト州政府が発表したところによると、当該州ではメキシコ国の主作物であるトウモロコシとフリホール豆（インゲン豆の一種、Phaseolus spp.）を連作している農地のうち、天水農業の占める割合は99.0%であり、この地域において発展可能性があるとしている作物は、トウモロコシを第1位、以下フリホール豆、牧草、ソルガムの順としている（緑資源機構、1994）。

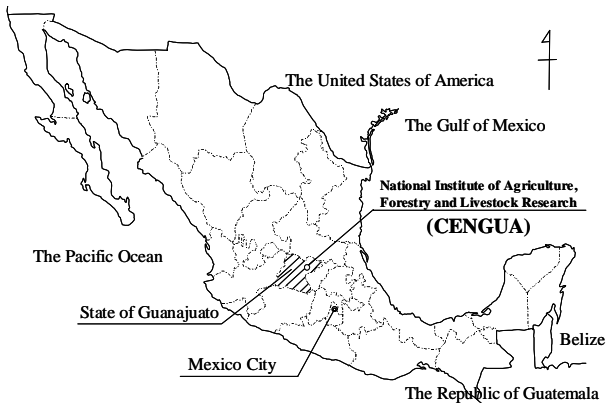


Fig.1 Location of the Experimental Farm

## 1.2 気象条件

CENGUA ほ場内には1985年に気象観測施設が設けられ、気象データが継続して計測されている。そこでこの気象データに基づいて、グアナファト州近郊の気候状況を概説する。

年間降雨量は'87年の250.6mmから'91年の648.0mm(15年平均437.5mm)と年次変動が大きい。年計器蒸発量は1,668.8~2,205.6mm(同1992.3mm)となっており、15ヶ年平均値での年降水量/年計器蒸発量は0.22となる。また降雨量の約86%が5月から10月の雨季に集中している。これらから当該試験場は、年間降雨量が500mm以下でかつ明瞭な乾・雨季をもつ半乾燥地域にあるといえる。

15年平均の年最高気温は24.5℃、年間平均16.8℃、年最低気温9.1℃となっており、年較差は15.4℃である。また冬期には最低気温が摂氏零度以下になる月もあり、霜害の発生が問題となる年も多い。

## 1.3 土壌の概要

CENGUAの土壌特性は下表のとおりである。本土壌は、FAO/UNESCOの分類ではFeozem hoplicoに相当する。

Table 1 The soil analysis of Experimental Farm

Depth (cm)	%				Fild Capacity(%)	Per. wil. Point (%)	ppm EffectiveP	Organic matter (%)
	pH(H <sub>2</sub> O)	Sand	Silt	Clay				
0-30	7.10	31.64	38.00	30.36	42.17	21.08	9.9	1.65
30-60	7.90	29.64	34.00	36.36	44.65	22.32	2.8	0.79
60-90	8.00	35.64	38.00	26.36	47.27	23.63	3.7	0.38

出典：緑資源機構、2001

土壌の化学的な肥沃度は概して低い。特に有機物含有量は、作土層でさえ2.0%以下であり、有効態リンも10ppm以下と低いために作物生産の大きな制限要因となっている。

不安定な降水分布環境下にあつて作物に安定した養分を供給するには、土壌の化学性はもとより物理性を改善することも肝要である。そのためには、有機物の施用により土壌の団粒化を促進することで土壌の保水力の増加を図ると同時に透水性の改善によって土壤侵食を抑制することが必要であると思われる。

## 1.4 営農状況

グアナファト州では一般的に粗放な農業を展開している。トウモロコシの生産性はかんがい地では6.0ton/haと高収量であるが、全作付面積の83%は天水地域において生産されており、世界平均3.8ton/ha (FAO, 1995) に対して1.8ton/haと低くなっている。一方、フリホール豆の場合は85%が天水地域での栽培で収量は0.5ton/haに満たず、かんがい地の3分の1以下の生産性である（国際農林業協力協会、1998）。

これは主に収奪的な営農により農地が劣化していることが一因として挙げられる。農地以外にも自然草地の植生が乏しいことから、家畜への飼料が恒常的に不足しており、作物残さを家畜飼料として供するため農地に還元することができず、土壌中の有機物は減少する一方である。

これらの条件から本研究では、ほ場から持ち出す作物残さの割合を段階的に減らし、その一部を家畜飼料とした場合は、代替としてそのほ場に家畜糞を投入する計画を策定した。植物性の有機質肥料は動物性有機物に比較して緩効的でありリン酸含有率がかなり低いことから（北海道農政部、2002）、窒素成分が尿酸態で速効的かつリン酸含有率が高い鶏糞などを成分的に補うこととした。また供試作物としてはメキシコ人の主食であるトウモロコシと、輪作体系として一般的であり、かつタンパク質を多く含むため栄養改善に資する可能性があり、根粒菌などによる窒素固定も期待できるフリホール豆に着目した研究を行った。なお本論文では、紙面の都合上、より顕著な傾向が認められたフリホール豆についてのみ記述し、トウモロコシについては別報にて報告する。

## 2 研究材料および方法

### 2.1 ほ場の履歴

対象となる土地の履歴は研究に与える影響を考えると、非常に重要な要因である。そこで、研究ほ場の経緯

を聞き取りにて整理した。

1987年～1995年 作付けしたり、しなかったりの一時的な耕作地

1995年～1999年 飼料作物としてトウモロコシ、フリホール豆等を作付け、堆厩肥をほ場全体に投入

1999年 本研究区画を設定

以上のように研究ほ場として選定した土地は過去に酷使された経緯がなく、本研究を始めるに当たって最適と考えられた。本ほ場では研究開始4年前からの堆厩肥の投入（累積投入量 11.5ton/ha）によって、ほ場の肥沃度が改善されつつある状態にあると考えられ、「畑地への有機物の投入量の違い」が比較的早い期間で有意な差となって現れる可能性があると思われた。

## 2.2 研究方法

土壌水分の測定にあたっては、米国のDelmhorst社製のKS-D1土壌水分測定器を用いて、15cm程度の作土層について1、2日おきに継続測定した。仮比重および間隙率については、100ccコアサンプラーにて乱さずに採土したものを供試土とし110℃炉乾燥法によって算出した。収穫量調査は1m×1m四方の木枠でのコドラード法による坪刈り調査を実施し、株数、莢数、粒数、粒重、茎葉重などを測定した。

## 2.3 処理区の設定

処理区の設定は以下のとおり決定した（図2）。

### (1) 処理内容

次の4段階に分けて次の施肥処理を作付け期ごとに施した。

- A) トウモロコシの残さ0%+コンポスト15.0ton/ha
- B) トウモロコシの残さ33%+コンポスト10.0ton/ha
- C) トウモロコシの残さ67%+コンポスト5.0ton/ha
- D) トウモロコシの残さ100%+コンポスト0.0ton/ha

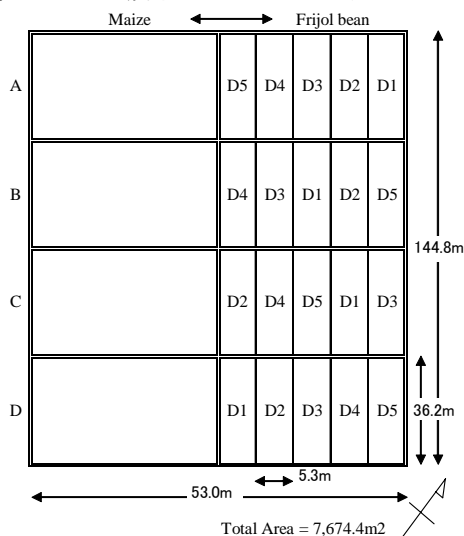


Fig.2 Treatment Plot on Experimental Farm

トウモロコシの残さは収穫後、子実、根株を除いた茎葉のほ場に放置した割合を示し、3年間の平均値は順に 3,383, 6,268, 8,126kg/ha であった。コンポストは概ねトウモロコシ残さ：フ

リホール残さ：家畜糞（鶏糞など）＝6：3：1の割合で堆厩肥は完熟したものを投入した。

### (2) 処理区数

処理区の大きさは 26.5×36.2m で、処理区数は上記4処理の2作物で合計8プロットとした。

### (3) 作付け作物

各々の処理区についても、現地の一時的な輪作体系を考慮して、トウモロコシ (Dr. Mora) とフリホール豆 (Flor de Mayo Bajo) を作付け、場所を1年おきに変えた。

## 3 結果および考察

### 3.1 仮比重および間隙率

下表のとおり、研究3年目のデータから異なる有機物の施用効果による仮比重および間隙率の変化はなかった。本研究のような方法による仮比重や間隙率の改善には一般的に10数年程度の長期間が必要であるとされており（日本熱帯農業学会、1999）、さらに施用し続けることで良好な土壌環境を得ることができる。と期待できる。

Table 2 Physical and chemical data on Experimental Farm

Treatment No.	Apparent-specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)
A	1.07	59.5
B	1.07	59.5
C	1.08	59.4
D	1.05	60.5

### 3.2 含水比

作物生育期間の含水比の推移をみるとD区からA区への順に長期にわたり、土壌水分を保持する傾向が示されており（図3）、土壌水分保持効果の面から作物残さを投入することの有効性が示された。

この傾向は、投入した動物性および植物性といった有機物タイプの違いによる分解性の難易、並びに土壌被覆の程度による影響が現れたと考えることができる。つまり短期的には、植物残さの繊維の吸水効果および土壌表面へのマルチング効果がD区の保水機能を促進したと思われる。一方、長期的にはA区においても多投された家畜糞が将来的に団粒構造の形成に寄与し土壌微生物を増加させることが期待できる。

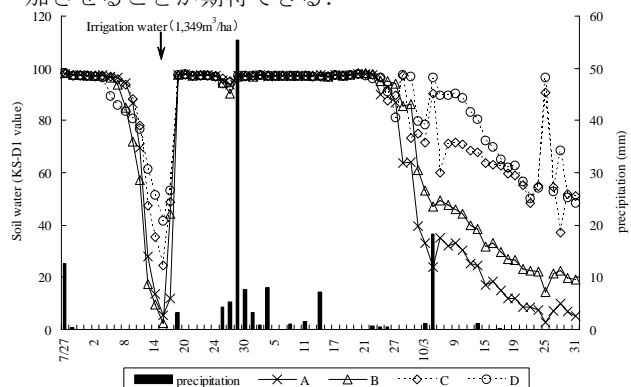


Fig.3 Transition of precipitation and soil water

この土壌水分保持の効果は、特に作物の生育初期に無降雨期間が続くことで全作物が枯死し、その年の収穫量がゼロとなる危険性を減少させるものであり、降雨分布が極めて不安定な半乾燥地においては非常に大きな利点があることを示す。この点からもC、D区の優位性が確認できた。

### 3.3 処理区別のフリホール豆収量比較

研究最終年において、1作物あたりの粒重を処理区により比較してみると、どの年においてもA処理区が小さく、概ねC,D処理区間に有意な差が認められた。次に経年変化を考察した場合、1999年度(初年度)に対する2001年度(3年目)の比率が大きかったのは、B区で1.48であった。植物性有機物を投入していないA区においては1.17であり、動物性有機物を投入していないD区においては1.37であった(図4)。

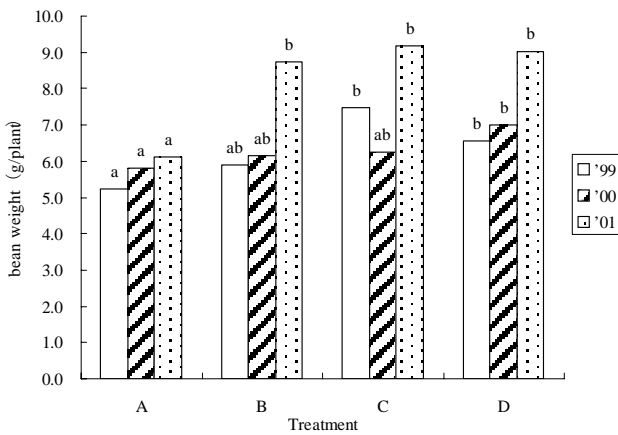


Fig.4 The weight of frijol beans

本研究期間内ではB、C区でより顕著に土壌生産力が向上し、収穫量が増加する傾向が認められたことから、異なるタイプの有機物を組み合わせて施用することの有効性が示された。

### 3.4 フリホール豆のバイオマス生産量の経年変化

生産される全バイオマス重に占める子実の割合の大きさを示す収穫指数(子実重/(茎葉重+子実重))の経年変化を表3に示す。これにより、投入量に対する得られた収穫量をあらかず効率性を判断することができ、処理区AからDの順に増加する傾向が観察できた(表3)。

Table 3 The annual change of the harvest index

Treatment	Harvest Index					
	1999		2000		2001	
A	0.669	a	0.697	ab	0.625	a
B	0.678	a	0.700	bc	0.626	a
C	0.683	a	0.712	c	0.640	b
D	0.673	a	0.685	a	0.665	c

※ 表中のアルファベットは Fisher の最小有意差法による統計的に有意のある差を示す ( $p < 0.05$ )。

つまり、生育初期の段階では、動物性有機物が速効性を示す肥料として有効であり茎葉の生長を促進させ、結実期においては、緩行性を示す残さの肥効により収穫量が増加したと考えられる。違うタイプの有機物を組み合わせることで畑地に投入することの必要性が示された。

収穫指数の経年変化については、気象条件の違いによるところが大きいと推察できるが、ここでは考察しない。

## 4 まとめ

1. 土壌理化学性を改善する観点として、植物性有機物が土壌水分を長期にわたって保持する効果が確認できた。マルチング被覆による土壌侵食軽減効果を調べることによって、本技術の有効性がさらに強調されると思われる。
2. 有機物の施用が作物収量に与える影響については、前作の残さを全て還元することが望ましいが、2/3程度をほ場に投入、1/3程度を家畜への飼料とする代わりに家畜糞を同時にほ場に投入しても、高い収量が得られることを提案できた。
3. 本研究の主目的であった「異なる有機物の施用法が基礎穀類の生産におよぼす効果」について、動物性および植物性有機物が持つ速効性、緩効性といった効用の違いを確認できた。

肥沃度の低い地域において安定した農業生産を営むためには、また、経済状態が低位にある地域において生産性向上対策を普及させるためには、農家の受け入れ性が良く取り組みやすいことが必要不可欠となる(團ら, 2003)。この点において、高度な技術を要せず、対策費用が廉価な、自然資源を活用した本技術は有望である。本研究の結果を踏まえて、限られた地域資源の循環型活用を目指し、家畜糞との組み合わせに着目した研究を今後も引き続き実施し、長期的に観察を継続する。

## 参考文献

- 團晴行ら(2004): ポリヴィア渓谷地域における土壌侵食防止対策の実施手法, 沙漠工学分科会 17 回講演会, 13-4, pp273~280
- 江柄勝雄ら(1999): ポリヴィア・サンタクルス県における畑地力増進技術, 日本熱帯農業学会 86 回講演会 vol.43, pp.31
- FAO (1995): Production Year Book 1995
- 北海道農政部農業改良課 (2002): 北海道における有機物肥料使用に当たっての当面の指導方針
- 環境庁(1990): 環境白書(総説)平成2年度版, p.86
- 国際農林業協力協会(1998): メキシコの農林業, pp.15
- 緑資源公団(現緑資源機構)(2001.3): 平成12年度 農地・土壌侵食防止対策実証調査報告書, p.234
- 農用地整備公団(現緑資源機構)(1994): 平成6年天水委員会 現地調査報告書, 年度末報告書 JALDA94-A-02, p.16~21
- 農用地整備公団(現緑資源機構)(1996): 平成8年 農地・土壌侵食防止対策基礎調査報告書, 年度末報告書 JALDA96-F-01, p.24~25