砂丘畑におけるナガイモのムカゴ収穫機の開発に関する研究(第2報)

バケット式収穫機の開発とその性能

岩崎正美*・石原 昂*・小池正之**・大塚庄吾***

Study on the Development of the Bulblet Harvester of the Chinese Yam in Sand Dune Field (Part 2)

Development of a Bucket Type Harvester and its Field Performance

Masami IWASAKI *, Akira ISHIHARA *, Masayuki KOIKE ** and Shougo OTSUKA ***

1 緒 言

ムカゴの圃場における落下分布、形態、物性およびふるいによる砂の漏下実験結果¹⁾をもとに、自脱形コンバインの作業機部分を除いたクローラ走行部を利用して乗用ムカゴ収穫機を設計試作した。これは既存の収穫機の有する一般的機能すなわち、揺動掘取部、搬送部および収納部を備えた構造となっている。ナガイモ圃場での試運転の結果、乾砂層内での作用深さの調節や搬送部等に問題を生じ、連続運転に至らなかった。これらの経験から、駆動部分の極力少ない簡便な収穫機構開発の必要性を痛感した。

そこで、まず機構が極力簡単で、駆動部分が少ないことを設計の基本条件としたバケット方式による収穫機を想定し、室内においてモデル実験を実施した。続いて歩行トラクタのアタッチメント形式によるバケット式収穫機の設計試作とその現地栽培圃場での収穫性能試験を行った。

本研究の遂行にあたっては、鳥取大学乾燥地研究センター文部技官安藤茂雄氏および鳥取大学農

学部農用作業機械学研究室専攻生内田一彦、大石勝己、藤原幸治の各氏より協力を得た。なお、文部省科学研究費(試験研究2)の補助を得た。ここに記して謝意を表する。

2 実験装置および方法

1) バケット方式によるムカゴ収穫モデル実験

(1) 試作バケット 地表面のムカゴのすくい上げと同時に搬送と砂をふるいわけできるバケット形状を特定するため、3種類のバケットを試作した。そしてそれらの予備実験を通じて改良を行い、図1に示すバケットを本実験に供試した。ムカゴの平均球径をもとに線間の隙間は5mm、線径は4mmと設定した。このバケットを図2に示すようにアタッチメントチェーン(#40)に3ヶ取り付け、可変モータで駆動した。

土壌槽(長さ1.80×幅0.45×深さ0.43m)に前報¹⁾と同じ鳥取砂丘砂を充填しバケットを台車に取り付けた。そしてレール上を滑車を介してモータにより台車をけん引した。

(2) 実験方法 バケットの作用速度、作用深さ

平成4年2月20日受理

*鳥取大学農学部 〒680 鳥取市湖山町南4-101

**筑波大学農林工学系 〒305 つくば市天王台1-1-1

***(株)サンエー技術部 〒615 京都市右京区西院安塚町23

*Faculty of Agriculture, Tottori University, 4-101 Koyama-cho Minami, Tottori 680

**Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai Tsukuba, Ibaraki 305

***Dep. of Technique, Sanei Co. Ltd, 23 Sanin Ukyo, Kyoto, 615

図1 試作バケット
Fig.1 Bucket unit for trial use

図2 バケット(3ヶ)のアタッチメント
チェーンへの取り付け
Fig.2 Three buckets attached to
attachment-chain

図3 バケットとシュート
Fig.3 Trapezoidal bucket and chute

図4 バケット部
Fig. Bucket assembly

および土壌含水比が収穫精度におよぼす影響を知るため、作用幅0.17 m×作用距離0.8 mの範囲にムカゴ230 gをランダムに散布した。試験は、バケット速度0.11–0.22 m/s、作用深さ20–50 mm、土壌含水比0.2–3.3 % d.b.の範囲で変化させ、台車の走行速度は46 mm/sで一定とした。そして各実験毎にバケットで収穫したムカゴとバケット内に残った砂の量を測定した。

2) バケット式収穫機の設計試作

バケット方式によるムカゴ収穫でのモデル実験結果を得て、バケット式収穫機を設計試作した。設計にあたっては、1) 機構を簡単に、2) 駆動部分を少なく、3) 廉価で製作可能であることを目標とした。その結果、歩行トラクタのアタッチメント形式として、車軸から動力を取り出すことによって汎用性と機関の回転速度に影響されない機構を採用した。

(1) 走行部および機関 バインダ(サトー SGL-6B)の作業機部分を外して、その走行部と機関を利用した。搭載機関は空冷2サイクル2.2 kW/1700 rpmである。

(2) バケット部 図3にモデル実験に類似したバケットとステンレススチール板によるシュートを示す。バケットは線径3 mmのステンレス棒を用い、作用幅は400 mmで、隙間を6 mmとした。このバケット6個を図4に示すように直径550 mmの円周上に取り付けた。

ここでバケット先端の軌跡は、 x 、 y 軸の原点をバケットの回転軸とすると、次式で与えられる。

$$x = r \cdot \cos \{ (2\pi n/60) t \} + v \cdot t \quad (1)$$

$$y = -r \cdot \sin \{ (2\pi n/60) t \} \quad (2)$$

$$v = r' \cdot \pi (1 - S/100) n'/60 \text{ (m/s)} \quad (3)$$

ただし

v : トラクタ作業速度 (m/s)

図5 地表面付近のバケット先端の軌跡例
(滑り率10%, 作用深さ20mm)

Fig.5 Locus of trapezoidal bucket's reference point under the slippage 10% and the working depth 20mm

図7 収納部
Fig.7 Container assembly

図6 動力伝達模式図
Fig.6 Schematic diagram of power transmission unit

図8 試作ムカゴ収穫機
Fig.8 Construction drawing of the prototype of bulblet harvester

r : バケット先端の回転半径 (m)

n : バケットの回転速度 (rpm)

S : 滑り率 (%)

n' : 車輪の回転速度 (rpm)

r' : 車輪の直径 (m)

地表面付近のバケット先端の軌跡例を, $S = 10\%$, 作用深さ20mm, バケットと車軸の回転数比 2 : 1 の場合について図5に示す。

(3) 動力伝達部 バケットへの動力伝達は, 車軸よりチェーンで伝導した。図6に動力伝達の模式図を示す。バケットの周速度は, 車軸の回転速度と連動しており, スプロケットの歯数によって決まる。ここではバケットと車軸の回転数比を 2 : 1 とした。

(4) 収納部 図7においてバケットにすくい上げられたムカゴは, バケットが回転によって次第に上方に近づくにつれ, シュートに向かって少しずつ滑り始める。そしてシュートに至ったムカゴ

は, 収納部であるコンテナに向かってシュート上を滑り落ちる。

図8に試作機の全体図を示す。全長2.48m, 全幅0.95mである。作用深さの調節と安定をはかるため直径0.35mの前車輪を2箇装備した。図9に鳥取大学乾燥地研究センターのナガイモ圃場における試作機を示す。

図9 ナガイモ栽培圃場におけるムカゴ収穫機
Fig.9 The trial bulblet harvester of Chinese yam in the field

3) 試作バケット式収穫機の圃場試験

(1) 供試圃場 前報¹⁾と同じ鳥取大学乾燥地研究センターのナガイモ栽培圃場で性能試験を行った。ナガイモの植え付け間隔と条間の平均値は、それぞれ0.36mと0.60mであった。土壌の固相率は48-59%の範囲にあり、土壌含水比は地表面下0-50mmで全試験を通じて2.3-4.7% d.b.の範囲にあった。

(2) 実験方法 試作機の作業速度が収穫精度におよぼす影響を知るため、ナガイモの収穫跡地をロータベータによって耕うん後、乾砂層が形成された後、砂地表面にムカゴを無作為に散布して収穫実験を行った。次にナガイモの支柱や茎葉の除去作業後、(I) ムカゴの自然落下状態のままでの収穫、(II) ムカゴを手でレーキを用い条間約0.3mの幅に寄せ集めた後の収穫、の2種類の実験を行った。実験方法は条間に5mの試験区間を設けて、その間のムカゴ収穫量を測定した。収穫後、圃場に残ったムカゴを拾集し、その粒数、粒径、質量を測定した。

3 実験結果および考察

1) バケット方式によるムカゴ収穫のモデル実験

図10(a)(b)にバケット速度と収穫精度の関係を示す。ここで収穫精度は次式で求めた。

$$\text{収穫精度} = \left\{ \frac{\text{バケットによるムカゴの収穫量(g)}}{\text{ムカゴ分布量(g)}} \right\} \times 100(\%) \quad (4)$$

同図(a)は、土壌含水比0.2% d.b.のいわゆる乾砂層の土壌条件下におけるバケット速度と収穫精

図10 ムカゴの収穫精度とバケット速度の関係
Fig.10 Relation between harvesting efficiency and bucket speed

度の関係を作用深さ別に示す。同図より収穫精度はバケット速度 (0.11-0.22 m/s) の増加と共に高い相関関係を持って直線的に減少することが分かった。また、作用深さと収穫精度の関係をみると作用深さが20mmから50mmと深くなるにしたがって、収穫精度は著しく低下した。これは土壌が乾燥条件下であっても、作用深さが深くなるとバケットが砂中で作用している間、バケット内の砂が地表面に分布するムカゴを進行方向に押し出してバケットにすくい上げることができなくなるためである。

また同図(b)は作用深さを20mmと一定に設定した時の収穫精度を土壌含水比別に示したものである。土壌含水比0.2-1.3% d.b.の乾燥状態では、作用深さ20mmで90%以上の収穫精度を得た。このような乾燥状態では、バケットによるすくい上げと同時に砂の漏下が顕著であった。しかし土壌含水比2.2% d.b.以上では収穫精度は60%以下に低

図11 土壌含水比がバケットからの砂の漏下率におよぼす影響

Fig.11 Effect of the soil moisture content on the percentage of dune sand passed through trial bucket

下する。そして2.8% d.b.に達すると全く収穫不能となった。これはバケットのすくい上げ時にバケットから砂の漏下が円滑に行われなくなり、バケット内に砂が堆積したまま、バケットが地表面のムカゴを単に進行方向に押し出していることによる。このことは図11における土壌含水比と砂のバケットからの漏下率との関係からも明らかである。ここで砂の漏下率は次式によった。

$$\text{砂の漏下率} = \frac{(\text{バケットに入る砂の量(g)} - \text{バケットに残った砂の量(g)})}{\text{バケットに入る砂の量(g)}} \times 100(\%) \quad (5)$$

図11より土壌含水比1.5% d.b.以下では、ほぼ100%の砂の漏下がみられるが、土壌含水比2.2% d.b.では60%近くに低下し、2.8% d.b.ではまったく砂の漏下はない。このようにわずかな土壌含水比の変化が収穫精度に大きな影響を与える。したがって、本方式のような揺動機構を有さない簡易なムカゴ収穫機を考えるさいには、土壌含水比が2%以内の乾燥状態で処理することを前提にする必要がある。

2) 試作バケット式収穫機の圃場試験

まず、ロータリで耕うん後、砂地表面に乾砂層が形成された後の圃場条件下での収穫精度と作業速度の関係を図12に示した。ここで収穫精度は次式で求めた。

図12 耕うん後の平坦な圃場条件下での収穫精度と作業速度

Fig.12 Harvesting efficiency and working speed under flat surface condition

図13 試作機によるムカゴの収穫精度

Fig.13 Harvesting efficiency by trial bulblet harvester

I：例照区 Control plot

II：レーキ区 Plot of manually gathered by rake before harvesting

M.C.：土壌含水比(0-50mm深, % d.b.)

$$\text{収穫精度} = \frac{\text{収穫量(g)}}{(\text{収穫量} + \text{掘り残し量(g)})} \times 100(\%) \quad (6)$$

これから収穫精度は、トラクタの作業速度が0.2 m/sから0.4 m/sに増加するにしたがって、90%前後から60%前後にまで急速に低下することが分った。これは、バケットの回転方向に遠心力が働いて、バケットからシュートへのムカゴの滑りおよび、シュートからコンテナへの滑りが完了しないまま、シュート上のムカゴがそのまま再び地上に戻されたためと考えられる。このことから、試作機のシュート傾斜角を32度からより大きな値に設定する必要性が認められた。また、室内実験結果と同様、バケット周速度が早くなると、バケ

図14 シュートからコンテナへのムカゴの収穫状況
Fig.14 Harvesting scene of bulblet from chute to container

ット内にムカゴをすくいこまず、単に前方へ砂とムカゴを押し出すことも低水準な収穫精度が現れた一因であると考えられる。

図13にナガイモ収穫前に実施したムカゴ収穫の実験結果を示す。矢印の範囲は収穫精度を95%信頼区間で示したものである。同図より(I)の自然落下状態での収穫精度の範囲は、ほぼ55-75%の範囲にあった。10月29日における(I)において40%以下の低い値を示したのは、地上部に枯葉が多く落下したためと0-50mmの土壤含水比が4.7% d.b. と高く、乾砂層¹⁾がほとんど形成されていないことによる。枯葉のバケットへの混入によってバケットからの砂の漏下が妨げられ、ムカゴはシュートからコンテナに滑らずに再び圃場に落下した。また収穫末期のこの時期には作業者の圃場への出入りも頻繁で地表面の凹凸や、ムカゴの埋没なども影響していると思われる。なお、水掘法¹⁾によってナガイモを収穫した後、同様に収穫実験を行ったが、ナガイモの株付近の凹凸が大きく、1501/min 前後の多量の圧力水によって地表のムカゴが埋没するため収穫精度は18-25%と非常に低い値となった。図14はムカゴのシュートからコンテナへの収穫状況(10月15日:土壤含水比0.8% d.b.)を示したもので、枯葉が多く含まれているのが分る。図15にムカゴの平均粒径別の収穫結果を9月27日について示す。砂のバケットからの円滑な漏下を考慮して隙間を6mmとしたため5mm以下のムカゴは、ほとんど収穫されていない。なお、ムカゴは試験期間中も肥大し10月29日では、平均粒径20mm以上のムカゴが1640粒中39粒を数えた。

図15 ムカゴの粒径別収穫数(9月27日)
Fig.15 Number of harvested and unharvested bulblet

土壤含水比の影響についても室内実験と同様の傾向が見られ、乾砂層の発達している乾燥土壤条件下ではバケットから砂が円滑に漏下するが、湿った状態では漏下されずコンテナに砂が入る。

以上の実験結果から、本試作機は、乾砂層が十分に形成された平坦な圃場であれば90%前後の収穫精度を得ることがわかった。今後、シュートの傾斜角度や圃場条件にあわせた作用深さの調節を作業中併行して出来るようにするなどの改良を加えることによって、ムカゴにかぎらず地表面に落下もしくは散在する生産物の収穫や不要物の除去へも利用できるものと考えられる。

4 結 言

砂地表面に落下しているムカゴのような小さな物体の収穫に、構造の簡単なバケット方式による収穫機の適用可能性を見いだすため、まずバケットを試作し土壤槽においてモデル実験を行った。その結果、次のような知見が得られた。

1) 収穫精度は土壤含水比に最も大きな影響を受け、2% d.b. 前後を変曲点として急減し、2.8

% d.b. 以上では収穫できなかった。また、バケットの周速度0.11–0.22 m/s の範囲において、収穫精度は周速度の増加と共に低下する傾向がみられ、作用深さが20–50mmと深くなるにしたがってその減少傾向は更に顕著となった。

2) バケットからの砂の漏下率も、土壌含水比に大きく影響を受け、ムカゴの収穫精度と同じ傾向を示し、2 % d.b. 以上で漏下率は急速に低下、2.8 % d.b. では全く漏下しなかった。

3) 揺動機構を装備していないバケット方式では、作用深さでの土壌含水比が2 % d.b. 以下の圃場条件下で稼働する必要性が認められた。

続いて歩行用トラクタのアタッチメント形式によるバケット式収穫機の設計試作と現地栽培圃場での収穫性能試験を実施した。その結果、ムカゴの収穫精度は土壌含水比、地面の凹凸、枯葉などの圃場条件によって大きく影響されるが、乾砂層が形成された平坦な圃場条件下では、90 % 前後の収穫精度を得ることが分った。

参考文献

- 1) 岩崎正美, 石原 昂, 小池正之: 砂丘畑におけるナガイモのムカゴ収穫機の開発に関する研究 (第1報) ムカゴの物理性と砂丘砂のふるい実験, 農作業研究, 第27巻, 第2号, 125–131, 1992

Summary

Utilizing the experimental results reported before, the bulblet harvester of the Chinese yam has been fabricated and demonstrated to ascertain its field performance. Its design concept includes simplicity for structure, size reduction for power transmission unit and lower cost. This laboratory

experiments unveiled several findings as mentioned below.

1) The efficiency of harvest was greatly affected by the moisture content of dune sand exhibiting sharp decrease from 2% d.b. or so and unable to harvest at more than 2.8% d.b.. What is more, with the increase of peripheral speed under the limited range of 0.11 to 0.22 m/s, the harvesting efficiency decreases and accelerates this tendency further when setting the working depth greater, i. e. from 2 to 5 cm.

2) The percentage of dune sand passed through bucket is affected heavily by the moisture content of dune sand as well as the harvesting efficiency.

3) The moisture content of dune sand surface strata is desirable to keep less than 2% d.b. in terms of the stable operation unless forced oscillation of bucket type harvester is provided.

As a part of the subsequent studies following bucket type harvesting mechanism, the prototype being applicable in the form of attachment unit of a power tiller was designed and fabricated. Designing philosophy includes that the machine should be provided with simpler mechanism, less portion to be driven and reasonable cost.

The practicability of this machine was testified at the growing field of Chinese yam through performance test. Harvesting efficiency is heavily influenced by the undulating field surface, the amount of dead leaves and the moisture content of dune sand. Weather permitting, almost 90 % of harvesting efficiency may be obtained under flat field and drier dune sand conditions as well.