Development of Biodegradable Seedling Pot using Konjac By-product of Industrial Waste

WAKAKO Lina^{a,*}, MATSUOKA Toshio^b, MATSUMOTO Yo-ichi^c,
AZUMA Yoshiaki^d, TAKEUCHI Yasuharu^d

^a Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

^b Mie Prefecture Industrial Research Institute, Yokkaichi branch, 1-30 Shiohama, Yokkaichi, Mie 510-0851, Japan

^c Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

^d OHKAWA Co., LTD., 1-1 Tochimoto Shimoichi-cho, Yoshino, Nara 638-0031, Japan

Received 10 May 2013; accepted for publication 28 May 2013

Abstract

In recent years, global warming, the depletion of petroleum resources, and the reduction of carbon dioxide emission have become significant worldwide. Environmental considerations have been indispensable to the development and manufacturing industries. Considering this background, we aim to develop new and environment-friendly agricultural materials using Konjac by-products of industrial waste.

Konjac by-products are a natural raw material sourced from the plants of the *Amorphophalus* family and are nutritious. Availing these advantages, we investigated the development of a novel biodegradable seedling pot manufactured from Konjac by-products, “Tobiko” in Japanese. The results are as follows: (1) The Tobiko seedling pot is able to be simply produced by molding of Tobiko gel which is composed of Tobiko powder and water; (2) The Tobiko seedling pots can maintain stable soil condition concerning sunlight and moisture, because the pot has a water absorbency of an amount almost equal to its own weight, and a light-resistance of 20 days; (3) The Tobiko seedling pot is biodegraded in only 27 days; therefore, the pots have excellent biodegradability compared with conventional biodegradable seedling pots. Therefore, in terms of time base, it is expected that Tobiko will be effectively used in manufacturing biodegradable seedling pots. And we believe to be a new and unique application for Konjac by-products.

Key Words: Konjac glucomannan, Tobiko, Industrial waste, Seedling pot, Biodegradability

廃棄コンニャク・グルコマンナンを活用した 生分解性種苗育成用ポットの開発

若子倫菜^{a,*}, 松岡敏生^b, 松本陽一^c, 東 義昭^d, 竹内康治^d

^a 金沢大学理工研究域, ^b 三重県工業研究所, ^c 信州大学繊維学部, ^d オーカワ(株)

1. 緒 言

近年では、地球温暖化や化石燃料の枯渇危機などの背景から、製品開発などのものづくりにおいても地球環境への配慮が極めて重要視されている。われわれは、廃棄コンニャク・

グルコマンナンを対象として、環境調和型繊維製品の開発を検討している [1,2]。

コンニャク・グルコマンナン (Konjac Glucomannan, 以下 KG と表す) は、サトイモ科の植物であるコンニャク芋から精製される物質である。さらに、粒子の大きさによって精粉と飛粉 (とびこ) に大別され、精粉を用いて製造されたゲル

* 連絡先: 金沢大学理工研究域機械工学系 920-1192 金沢市角間町,
E-mail: linawakako@se.kanazawa-u.ac.jp, Tel: +81-76-234-4693, Fax: +81-76-234-4693

状食品がコンニャクである。コンニャク食品は、その特有の風合いと食感が古くから日本人の間で広く賞味されている伝統食品のひとつであり、現在はダイエット食品や健康食品として大きく注目されている。精粉は大粒子であることからコンニャク食品の原料や工業的な表面処理剤などに用いられている。その80%が食品用に、20%が工業用に利用されている。一方で、飛粉は非常に微小な粒子であるためにコンニャク製造には使用できず、また、デンプンや不純物などを多く含み刺激臭をはなつために、家畜の飼料としてわずかに利用される以外はほとんどが産業廃棄物として処理されている。廃棄KGの廃棄量は毎年約4,000~5,000tにもものぼる [3]。

しかしながら、KGが天然植物原料であることから、廃棄KGは環境調和型の農業用資材としての利用が大いに期待できる [4,5]。すなわち、農業用資材の一つである種苗育成用ポットとしての利活用を考える。種苗育成用ポットは、作物体の生育の初期に、病虫害や不良環境などに対しての抵抗力が弱いために、ビニールハウスなどの環境を管理できる設備において利用される。種苗育成用ポットは、この期間における作物体の管理や取扱い、運搬などを容易にするための土壌と種（あるいは苗など）の入れ物である。現在市販されている種苗育成用ポットにおいて主流となっているものは、塩化ビニルやポリエチレン等を原料として製造されたものである [6,7]。これらの種苗育成用ポットは、育成した苗を種苗育成用ポットから取り出して本畑に定植する際に、廃棄物として多量に処理されている。また、種苗育成用ポットから苗を取り出す手間を必要とすること、さらにはこの作業によって苗の根を傷める危険性があることが問題になっており [7]、改善が求められている。

また、廃棄KGはコンニャク芋の皮などの不純物やデンプンを多く含んでいることから、約50%が炭水化物、約24%がタンパク質でそのうちの約4%が窒素であり、さらに約8%が灰分でカリウムやリンを豊富に含んでおり [8-10]、栄養学的観点においても優れた特性をもつ。一般に、窒素・リン酸・カリウムは、植物の育成において特に重要な要素であり、「肥料の三要素」といわれている。これらの三要素は、作物が多量に吸収するために、土壌において不足しないように補給しなければならないものである。したがって、廃棄KGから作製された農業用資材が土壌中で生分解されれば、作物の肥料としての寄与も期待できるであろう。

そこで本研究では、産業廃棄物である廃棄KGの有効利用を目的として、廃棄KG（以下飛粉と表す）を用いた生分解性種苗育成用ポットの開発について検討した。

2. 実験材料と方法

2.1 実験材料

原料には Fig. 1 に示す飛粉と水道水を用いた。飛粉と水道水との混合物は、飛粉の濃度が増加すると液体状、ゲル状、固体状へと変化することから、成型に適したゲル状を形成できる濃度でゲル状飛粉を作製した。すなわち、50 ml の水道

(a) Konjac potato and flower

(b) Seiko

(c) Tobiko

Fig. 1 Photographs of konjac potato and glucomannan powder.

水に対して 35 wt% の飛粉を加えて、自転公転式攪拌脱泡機 (THINKY 製 ARE-250) を用いて 40 分間の攪拌と回転数 2,200 rpm で 20 分間の脱泡を行った。攪拌・脱泡の条件は、目視レベルで混合物が均一に混合され、気泡のない状態になるまでとした。ただし、攪拌操作によって混合物の温度が上昇してしまうことから、攪拌 20 分毎に冷凍庫内でゲル状飛粉を 15 分間冷却した。調製したゲル状飛粉を用いて、飛粉ポットと飛粉プレートを作製した。

飛粉ポットは、ゲル状飛粉を、試作成型装置を用いてポット形状に成型することによって作製した。Fig. 2(a) は試作成型装置と飛粉ポットの成型方法を示す。テフロンシートで内面を覆った雌型内に約 75 ml のゲル状飛粉を入れ、テフロン

Fig. 2 Brief method and process of molding.

シートで外面を覆った雄型を垂直にスライドさせた。試作成型装置の上部から 20 kgf の荷重を加えて試料の厚さが 3 mm になるまで加圧し、ポット形状に成型した。その後、試作成型装置の上部の荷重を取り除き、さらに雌型と雄型ならびにテフロンシートを慎重に取り外して成型ポットを得た。カッターを用いてポットの高さが一定になるように整形して、整形ポットを作製した。続いて、整形ポットはオープン (YAMATO 製, DP-33) を用いて乾燥処理した。整形ポットは、外面をテフロンシートで覆った雄型を整形ポットの中心と一致するように設置して、300 gf の荷重を負荷した状態でオープン内のワイヤーネット上に設置した。これを温度 110°C で重量の変動がなくなるまでのおよそ 3 日間留置して乾燥させた。その後オープンから取り出し、雄型などを取り除いて、飛粉ポット試料を作製した。

飛粉プレートは、飛粉ポットの作製方法と同様の方法で作製した。Fig. 2(b) は試作成型装置と飛粉プレートの成型方法を示す。試作成型装置を用いたシート形状の作製方法は次のとおりである。すなわち、テフロンシートで表面を覆った 2 枚の板の間に約 45 ml のゲル状飛粉を入れ、試作成型装置の上部から 90 kgf の荷重を加えて厚さ 3 mm のシート形状に成型した。その後、カッターを用いて 40 mm × 40 mm の寸法に注意深く切り離して、整形プレートを作製した。さらに、整形プレートはオープンを用いて乾燥処理した。整形プレートは、2 枚のワイヤーネットで挟み、さらにその上部から 500 gf (ワイヤーネットの重量も含む) の荷重を負荷した状態でオープン内に設置した。これを温度 110°C で 3 日間留置して乾燥させて飛粉プレートを作製した。

2.2 実験方法

作物体の生長には、安定した土壌と肥料の他に水分と日光が欠かせない。種苗育成用ポットは、育苗期間において、水やりや土壌中の水分、日光にさらされながらもポット形状を維持して土壌を安定した状態に保てることが最重要と考える。また、種苗育成用ポットを用いた育苗では土壌の量が限られるために水分が不足しやすくなることから、適度な水分量の維持も重要になる。さらに、苗を種苗育成用ポットとともに本畑に定植した後は、苗の根の生長を妨げないために、種苗育成用ポットは速やかに生分解される必要がある。そこで、試作した飛粉ポットおよび飛粉プレートについて、これらの種苗育成用ポットとして必要な性能と生分解性を調べた。

なお、作物の種類によって播種から苗を本畑へ定植するまでの育苗期間は異なる。同様に、苗の根の生長速度も異なることから、生長速度が速い種類の作物を参考にして、播種から苗を本畑へ定植するまでの育苗期間を 20 日間、苗を本畑へ定植した直後から完全に生分解されるまでの期間を 10 日間とした。これらの期間を目標値として設定し、各種性能を調べた。

2.2.1 吸水性試験

Fig. 3(a) は吸水性試験の概略図を表す。水道水 600 ml が入ったビーカー内に飛粉ポットを浸漬させて、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$ R.H. の環境に留置した。カビの増殖を防ぐために、5 日に 1 回、ビーカー内の水を慎重に交換した。そして、播種から苗を定植するまでの育苗期間である 20 日間が経過した後に、飛粉ポットをビーカーから取り出し、吸水紙 (日本製紙クレシア製 ティッシュ 100-S) を用いて飛粉ポットの表面に付着した水分を取り除いて、その外観を観察した。また、ノギス (Mitutoyo 製 530-101 N15) を用いて飛粉ポットの上端における直径、高さ、ならびに厚さを 4 か所についてそれぞれに測定し、平均値を求めた。さらに、飛粉ポットの重量を、電子天秤 (Sartorius 製 TE124S) を用いて測定した。繰り返しの実験回数は 10 回とし、平均値を求めた。なお、吸水率 WAR [%] は次式(1)によって求めた。

$$WAR = 100 \times \frac{(A' - A)}{A}, \quad (1)$$

ただし、 A は標準状態 (温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$ R.H.) での重量 [gf]、 A' は試験後の重量 [gf] である。

2.2.2 耐光性試験

Fig. 3(b), (c) は耐光性試験機 (スガ試験機製テーブルサン XT1-15) の内部と飛粉プレートの配置を表す。試料には飛粉プレートを 10 枚用いた。試験条件は、1 年のうち日照時間が最も長く全天日射量が最も多い 5 月を想定して、放射強度 180 W/m^2 (波長範囲 300~700 nm)、播種から苗を本

(c) Front view of sample stand in light-resistance testing instrument

Fig. 3 Schematic illustration of various testings.

畑へ定植するまでの育苗期間である 20 日間に相当する放射時間 131 時間とした。また、試料台の回転速度は 1 rpm とし、これらの試験は温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$ R.H.の環境室内にて実施した。

試験終了後には、飛粉プレートの外観を観察し、電子天秤 (Sartorius 製 TE124S) を用いて重量を測定した。また、ノギスを用いて飛粉プレートの 4 辺の長さ、角部 4 か所および中央部 1 か所の合計 5 か所の厚さを測定し、それぞれの平均値を求めた。

2.2.3 生分解性試験

Fig. 3(d)は生分解性試験の概要図を表す。試料には飛粉プレートを 10 枚用いた。ガラス製容器の中に腐葉土を入れ、飛粉プレート 5 枚は鉛直方向に、残りの 5 枚は水平方向に完全に埋没するように設置した。そして、夏場の土壌温度を想定した温度 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $75 \pm 5\%$ R.H.の恒温室 (エスベック製 TBE-4HA6PX) 中に放置した。放置期間は 5 日間、10 日間、15 日間ならびに 20 日間の 4 条件とした。なお、試験期間中には、土壌の乾燥を防ぐために小型霧吹き器を用いて 24 時間毎に 1 ml の水道水を加えた。

試験終了後には、土壌中から取り出した飛粉プレートの外観を観察し、また、電子天秤を用いて重量を測定した。生分解率 B [%] は次式(2)によって求め、平均値にまとめた。

$$B = 100 \times \frac{(G - G')}{G}, \quad (2)$$

ただし、 G は試験前の絶乾重量 [gf]、 G' は試験後の絶乾重量 [gf] である。

3. 結果と考察

3.1 吸水性試験

Fig. 4 は吸水性試験の前後における飛粉ポットの外観を表す。飛粉ポットの正面および側面を観察したところ、亀裂やひびなどは観察されなかった。また、Table 1 は吸水性試験の前後における飛粉ポットの寸法および重量の測定結果を表す。厚さや高さの寸法においても、やや増加したものの大きな変化はなく、ポット形状も維持できていた。この結果から、飛粉ポットは、播種から苗を本畑へ定植するまでの育苗期間である 20 日間において、水やりや土壌に含まれる水分などによる湿潤によって土壌が流出したり乾燥しやすくなることのない安定した土壌環境を維持できるものと考えられる。加えて、飛粉ポットの吸水率は 103% であり、自重とほぼ同量の水分を吸水するという高い吸水性を有していることもわかった。飛粉ポットの保水性や土壌との間の水分移動特性にも影響を受けるが、この土壌に接しているポットに多量に水分を取り込める性能は、少なくとも従来の塩化ビニルやポリエチレン等を原料とする吸水性をもたない種苗育成用ポットと比較して、土壌の適度な水分量の維持に有効であるものと考えられる。特に小型の種苗育成用ポットでは、土壌が少量

Fig. 4 Tobiko seedling pots before and after water absorbency testing.

Table 1 Size and weight of Tobiko pot in water absorbency testing.

	Before	After 20 days
Thickness [mm]	2	3
SD	1	1
Diameter [mm]	59	61
SD	1	1
Height [mm]	35	42
SD	1	1
Weight [g]	13.4	27.2

SD: standard deviation

であるために水分量がより不足しやすくなるが、飛粉ポットを用いることによって、より効果的に適度な水分量を維持できるものと考えられる。また、水分量を維持しやすくなれば、水やりの手間の軽減効果も期待できる。さらに、土壌中の水分の過剰な状態が続くと苗の根が根腐りする危険性が生じるが、飛粉ポットの吸水性は過剰な水分の調整にも効果的と考えられる。

3.2 耐光性試験

Table 2 は耐光性試験の前後における飛粉プレートの寸法の測定結果を表す。育苗期間である 20 日間に至る 5 日間、10 日間および 15 日間の測定結果も併せて示した。全ての期間において亀裂やひびは観察されなかった。また、飛粉プレートの辺の長さ、厚さおよび重量は、全ての期間において試験の前後での大きな変化はなく、有意水準 $p > 0.05$ で有意な差は認められなかった。飛粉プレートへの光照射量が最大（すなわち、飛粉プレート面が光入射方向に対して垂直）

Table 2 Size of Tobiko plate in light-resistance testing.

		5 days	10 days	15 days	20 days
Before	Length of side [mm]	34.9	34.0	34.9	34.8
	SD	0.7	0.6	0.7	1.8
	Thickness [mm]	2.5	2.0	1.9	1.9
	SD	0.4	0.2	0.6	0.4
After	Length of side [mm]	34.9	34.0	34.9	34.8
	SD	0.6	0.6	0.7	1.8
	Thickness [mm]	2.6	2.0	2.0	1.9
	SD	0.4	0.2	0.5	0.4

SD: standard deviation

になる試料設置条件下で、播種から苗を本畑へ定植するまでの育苗期間である 20 日間の光照射を受けてもプレートの形状を維持できたことから、ポット形状の場合においても十分な耐光性をもつものと推測される。したがって、飛粉ポットは、日光にさらされることによって土壌が乾燥させられたり流出しやすくなることもなく、さらに、崩壊部からの日光の侵入によって苗の根の健全な生長が妨げられることのない安定した土壌環境を維持できるものと考えられる。

3.3 生分解性試験

Fig. 5 および Table 3 は生分解性試験の前後における飛粉プレートの外観と生分解率について表す。埋没後の日数が増加するにつれて飛粉プレートの表面は変色し、形状が崩れていることもわかった。また埋没後 20 日間では、プレートが原型を維持できないほどに分解されていた。生分解率においては埋没後の日数の増加とともに増加していた。Fig. 6 にお 34.8 ける ▲ マーカによるプロットは埋没後の日数と生分解率

Fig. 5 Progress of biodegradation on Tobiko plate.

Table 3 Biodegradability of Tobiko plate.

Biodegradability [%]	Before	After			
		5 day	10 days	15 days	20 days
	0	20	38	47	68

との関係を表す。飛粉プレートの生分解率は埋没後の日数と直線関係にあった。そこで、最小二乗法を用いて近似直線を求め、生分解率が100%に達するまでに必要な埋没日数を計算したところ、約30日間であることが推測された。一方で、飛粉ポットを用いて育苗している期間にも、飛粉ポットはポット内の土壌に生息する微生物によって生分解される。播種から苗を本畑へ定植するまでの育苗期間である20日間における飛粉ポットの生分解率を計算によって推測した。すなわち、埋没後20日間における生分解性試験の結果から、腐葉土の単位重量当たりの生分解量は約0.06 gfであった。試作した飛粉ポットを十分に満たすために必要な土壌の量は、飛粉ポットの容量と実験で使った腐葉土の密度から換算すると約27 gfであり、飛粉ポットの埋没後20日間での生分解量から生分解率を計算するとおよそ10%であった。この育苗期間中の生分解率を、定植後(埋没後)の日数と生分解率との関係に加算した結果がFig. 6における■マークによるプロットである。この関係式から、育苗期間を通して定植後

に生分解率が100%に達するまでの期間を求めたところ、約27日間であると推測される。

現在市販されている生分解性をもつ種苗育成用ポットには、竹、ココヤシ、羊毛、ポリ乳酸などを原料に作製されたものがある。これらの種苗育成用ポットにおいて生分解率が100%に達するまでには数か月から数年が必要とされる。このような他製品との生分解性の比較では統一された実験条件下での比較検討が重要であるが、ここでは単純に時間軸のみで比較するものとする。飛粉ポットは生分解の速度が極めて早く、非常に優れた生分解性をもつことがわかった。したがって、飛粉ポットは、生長速度が速い種類の作物への利用が十分に期待できる。

5. 結 言

産業廃棄物である廃棄KG(飛粉)の有効利用を目指して、飛粉を用いた生分解性の種苗育成用ポットの開発について検討した。その結果は次のとおりである。(1) 飛粉ポットは、飛粉を水でゲル化して加圧成型することによって簡単に作製できる。(2) 自重とおおよそ等倍もの吸水性と20日間の耐光性が認められ、水分と日光に対しての安定した土壌環境を維持できる。(3) 約27日間の短い生分解期間が認められ、時間軸での比較において、従来製品と比較して優れた生分解性がある。したがって、生分解性種苗育成用ポットとしての利用が十分に期待できる。

今後の課題：種苗育成用ポットの利用においては、苗を本畑へ定植した後は苗の根の生長を妨げないことも重要である。試作した飛粉ポットは、苗を本畑へ定植した後に生分解率が100%に達するまでの所要日数が約27日間必要であるため、さらなる生分解速度の制御について検討する必要がある。したがって、飛粉ポットにおける飛粉量調整による生分解速度の制御や試作飛粉ポットを用いた実際の種苗育成試験を検証する必要がある。また、これらの性能について、統一された条件下での既製の生分解性種苗育成用ポットとの比較・検証も必要と考える。

Fig. 6 Relationship between biodegradability and time from planting.

References

- [1] Honda T, Matsumoto Y, Wakako L, Azuma Y, Takeuchi Y (2011) J Text Eng, **57**, 107–113
- [2] Matsumoto Y, Okawa Co., Ltd (2007) Japanese Patent 3927061
- [3] Okimasu S (1993) “Science of Konjac”, pp244–245, Keisuishsha
- [4] Shimaji K, Sudo S, Harada H (1976) “Mokuzai no Sosiki”, p47, p49, Morikita Publishing
- [5] Sakurai N, Yamamoto R, Kato Y (1991) “Syokubutsusaibouheki to Tatorui”, pp33–37, 115–117, 170, Baifukan
- [6] Maki H, Iwata H, Ooshio T (2002) Bull Hyogo Pre Agri Inst (Agriculture), **50**, 29–32
- [7] Nishi Y, Takemure M, Tabuo H, Yokoyama M (2012) Plant Prot, **66**, 687–691
- [8] Kihara Y, Tada S (1957) J Util Agric Prod, **4**, 38–40
- [9] Kimura T, Sasaki H, Kameda K, Sugahara T (2001) J Integr Stud Diet Habits, **12**, 160–166
- [10] Niwa T, Maekawa K, Etoh H, Shimizu A, Shimizu Y, Kato K (2001) Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **48**, 943–947