

ゴルフ場における農薬による環境汚染の防止に関する研究 (その1)

——グリーンに散布された農薬の吸着特性について——

千野 裕之 喜田 大三
辻 博和

A Study on Prevention of Pesticide Pollution at Golf Courses (Part 1)

——Adsorptive Characteristics of Pesticides Spread on Greens——

Hiroyuki Chino Daizo Kita
Hirokazu Tsuji

Abstract

In order to prevent pesticide pollution at golf courses, pot level experiments were conducted using on typical fungicide and an insecticide. The amounts of adsorption of these pesticides by leaves and thatches of bent grass and ground soil, and the amounts of outflow from periodical water sprinkling were investigated and the findings were as follows:

- ① From 30 to 80 % of the fungicide is adsorbed on leaves or thatches and 1 to 2 % flows out from the thatches, while the remainder is regarded as being decomposed by microorganisms or light.
- ② In case ground soil of about 20 to 40 mm in thickness exists underneath a thatch, the amount of pesticides running out from the soil is very little. A part of the pesticides running out from thatches is considered to be adsorbed and actively decomposed by microorganisms where suitable ground soil exists.
- ③ The adsorption capacity of a grass leaf is attributable to wax on the surface of the leaf, while that of a thatch is attributable to humus. In the latter case, the humus is considered not only to adsorb but also provide a place for decomposition of pesticides to occur.

概 要

ゴルフ場における農薬流出を防止するための技術を開発するために、ベント芝のグリーンを想定した室内試験によって、一定期間ごとに散布される典型的な殺菌剤および殺虫剤の葉面、サッチおよび床土への吸着量および散水による流出量を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 殺菌剤の場合、散布した農薬の多くは葉面およびサッチに吸着し、その吸着率は30～80%であり、残りの農薬の大部分は、光分解、微生物分解などを受けたものと考えられ、下部層への農薬の流出率は散布量の1～2%とわずかであった。同じく殺虫剤の場合、葉面およびサッチの吸着量は小さく、それより下部層への農薬の流出率は1%未満であり微生物分解などをより多く受けたものと考えられた。
- ② 20～40 mmの床土が存在する場合、それより下部への農薬の流出量はさらに微量となる。サッチより下部層に流出した一部の農薬も、適正な床土が存在することで農薬の吸着および土壌微生物による分解が促進されると推定される。
- ③ 葉面およびサッチの農薬の吸着能力は、葉面の場合、ワックス（蠟）成分が、サッチの場合、その腐植成分が原因となっており、後者の場合、吸着した農薬の微生物分解の場としても働いていると考えられる。

1. まえがき

我が国のゴルフ人口は1,500万人を越えるといわれており、ゴルフの大衆化・リゾート開発の進展などと相まって、ゴルフ場の開発が盛んに行なわれている。全国で既設のゴルフ場が1992年4月現在で約1,800コースあり、造成中・計画中のものを含めると、ゴルフ場は2,000コースを越えるとされている。各県におけるゴルフ場が占める面積比率も増加しており、関東・近畿圏ではすでに1%を越える県もある。

ところで、ゴルフ場では、良好なスポーツ環境を維持するために、殺菌剤・殺虫剤・除草剤などの農薬が使わ

れている。農薬は農薬取締法に基づいて、適切に使用するかぎり、人体さらには作物などに影響を与えることはない。しかし、最近その使用法の無謀さが指摘され、水質汚染・土壌汚染などによる周辺環境への悪影響が危惧されている。

一方、農業だけでなく芝草生育の分野においてもエコロジカルな環境にやさしい管理が叫ばれており、望まれている。

我々としては、農薬を使用する際はその作用機構や、特性などを十分理解したうえで、どうしても必要な場合に最小限を使用するように努力せねばならない。そして、最小限使用した農薬は環境にまったく影響がないように

対策を立てていくべきである。

本報告では、まず、当社におけるこの問題への取り組み状況の概略を紹介する。次に、降雨水・散布水に溶けてきた農薬の吸着・分解に関する技術を開発するために、ゴルフ場で最も多量に農薬が散布されるグリーンを対象とした室内試験を行なった。典型的な殺菌剤 TPN および殺虫剤ダイアジノンを一定期間ごとに繰り返し散布した場合の葉面あるいはサッチなどへの吸着量および吸着後の散水による流出、分解などによる経時的な低減の程度を明らかにした。また、葉面・サッチなどの農薬吸着の原因について若干の検討を行なった。その結果、農薬の吸着・分解を促進する技術を開発していくうえでの有用な情報を得た。

2. 対策方法の考え方

今後、エコロジカルなゴルフ場をめざしていくうえで、ゴルフ場での農薬散布は、限られたエリアでしか行なわず、また、散布した場合でも完全に無害化していくべきである。これらのことを念頭に、対策技術を考えていく必要がある。

一般に、病虫害防除対策として以下のような項目があげられる。

- ① 耕種的防除（品種の開発、施肥、灌水、健苗の育成など）
- ② 生物学的防除（天敵、弱毒ウイルスの利用など）
- ③ 物理的防除（熱、水蒸気、光線などによる殺菌、病害防止など）
- ④ 化学的防除（農薬散布、フェロモンの利用など）
- ⑤ 外科的治療（芝の張替え）
- ⑥ 総合防除（①～⑤の組み合わせ）

このうち、ゴルフ場では、④のうち農薬散布が、現状では主な対策となっている。今後は、①、②、③なども十分に考えていく必要がある。対策技術は、具体的には以下の内容に分類できよう。

- (1) 農薬の適切な施用技術 農薬の使用は前提とし

ながらも、卓効のある薬剤を適期に適量散布し、肥培管理を適切に行なうことによる使用量の低減

(2) 芝草の耐病虫害性向上技術 農薬代替資材、植物生長調節物質の利用、有機農法の導入さらに床土の物理性の改良などによって芝草を活性化し、あるいは病虫害抵抗性の大きい芝草品種の選抜、導入などによる農薬使用量の低減

(3) 降雨水・散布水に溶けてきた農薬の流出防止技術 やむを得ず農薬を使用した場合の床土、調整池などでの農薬の流出防止技術

(1)および(2)については、図-1 に考え方のフローを示す。これらについては、現在鋭意研究開発を進めており、今後報告していく予定である。(1)および(2)の技術をもってしても現状では完全な無農薬化は困難であるために、(3)の農薬の流出防止対策が必要となる。図-2 にゴルフ場における水および農薬の流れについて模式図を示す。ゴルフ場では主としてグリーンで農薬が散布される。

ゴルフ場における農薬の汚染を防止するうえで、どうしても農薬を使用せざるを得ない場合、系外へ農薬を流出させないことが要求される。そのために、散布された農薬を何らかの方法で吸着、分解し、無害化するのが有力な技術となりうる。その技術開発を進めるうえで、まず、ゴルフ場で実際に散布された農薬が芝面あるいはその下部のサッチにどの程度吸着し、時間とともに、どの程度流出するかを把握しておくことは極めて重要である。

3. 実験内容と方法

3.1 供試試料

芝草はゴルフ場のグリーンにもっとも一般的に使用されている寒地型芝草であるベントグラスの中の品種ベントクロスを使用した。条件の異なる以下の2箇所から入手したA、Bを用いた。

- A：十分サッチ層が形成されたもの。黒ぼく土に生育。
- B：半年程度でまだサッチ層が形成不十分なもの。サンドグリーンに生育。

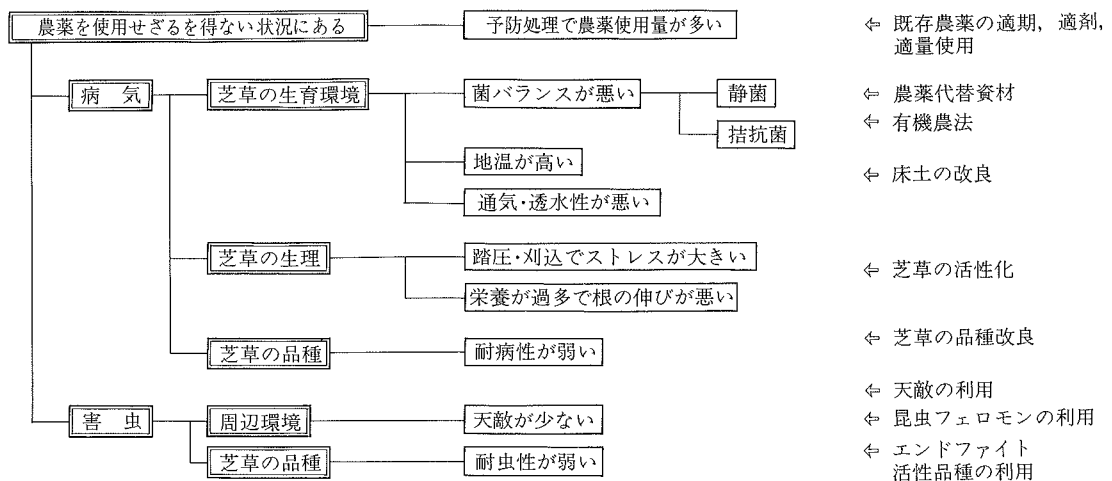


図-1 農薬の適切な施用技術と芝草の耐病性向上技術の考え方

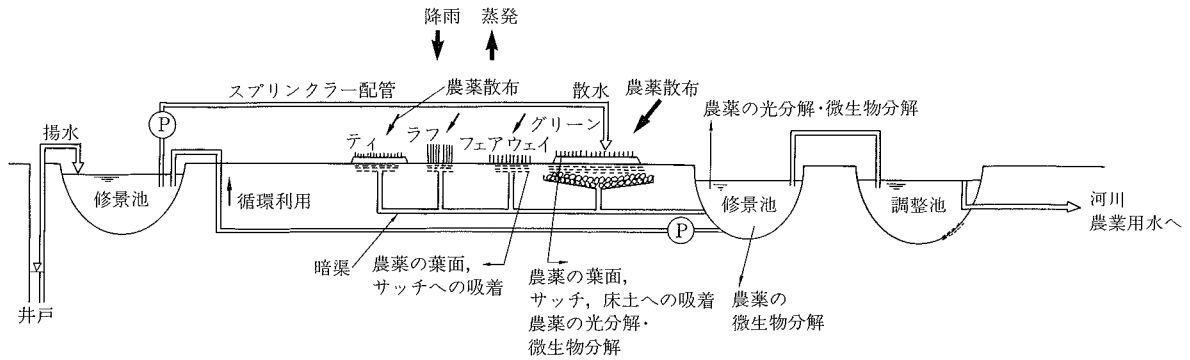


図-2 ゴルフ場における水および農薬の流れの模式図

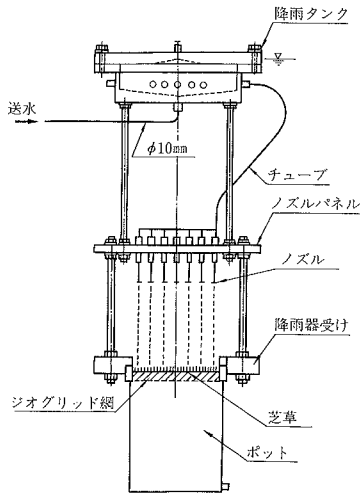


図-3 散水装置の概略

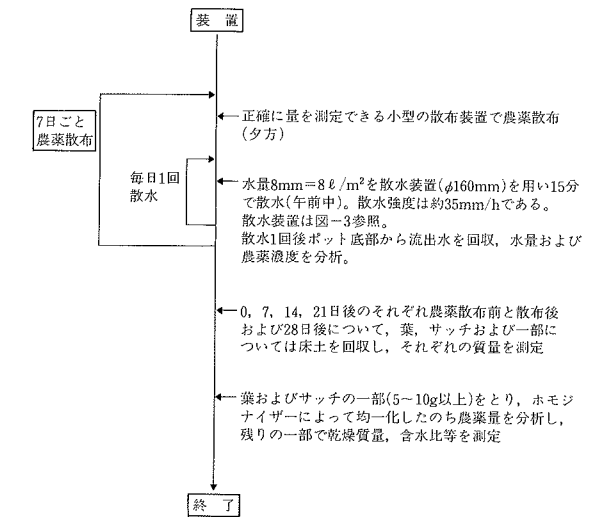


図-4 実験方法

農薬として殺菌剤は TPN (製品名ダコ1000) および殺虫剤ダイアジノン (製品名ダイアジノン乳剤) を用いた。これらは、ゴルフ場で使用される農薬の中でもポピュラーなものである。

・ TPN の場合

成分として 1.0 g/m² を 1 l/m² の水で散布。

・ ダイアジノンの場合

成分として 0.374 g/m² を 1 l/m² の水で散布。

展着剤は製品名グラミン S (非イオン系界面活性剤+陰イオン系界面活性剤) を散布液 1 lあたり 0.2 ml添加。

3.2 装置

図-3 に示すポットに芝草を植付けた。散水装置はロータリーポンプによって散水量をコントロール。

温室の温度条件は関東地方 5月の気温条件(平均気温 17~18°C)で実施。温室内は、光が十分に入る条件である。

芝草は、1/5,000a ポットの大きさに切り取り、葉の緑の部分高さを 4~5 mm に刈りそろえた。葉面付着の粘土分等を洗い流し、一部土付き試料は水洗せず、不攪乱状態にてそのまま植付けた。

3.3 試験の方法

図-4 のフローに示すとおりである。各試料の農薬散布および散水条件は図-5 に示すとおりである。

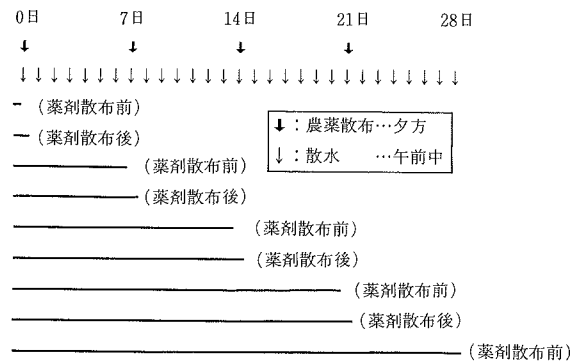


図-5 各試料の農薬散布および散水条件

なお、農薬の散布には専用の小型の噴霧器を用いており、ポット以外の場所への揮散はほとんどないと考えられる。所定の農薬散布および散水を終えた芝草試料は、葉、サッチ(地表面の未分解芝草有機物残渣)、および一部床土に切断して、それぞれ農薬量を測定した。

流出水については、散布 1日、2日、3日、5日、7日について流出量の時間変化を調べるとともに、個々の試料について流出総量も測定し、農薬の散布量に占める流出量の割合を求めた。

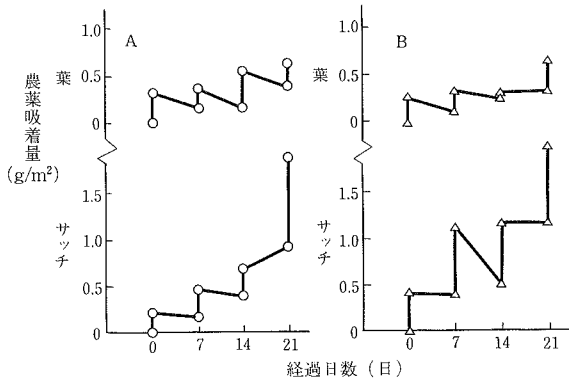


図-6 葉面およびサッチの農薬吸着量

農薬成分は残留農薬分析法²⁾にしたがって行なった。両農薬とも葉、サッチ、床土についてはアセトンで抽出した後、GC/MS(=MSD)法で分析した。また、下部への流出水についてはジクロロメタンで抽出後GC/MS法で分析した。

4. 試験結果と考察

4.1 経時的な葉面・サッチへの農薬吸着量の変化

TPN の場合、それぞれの試料について葉およびサッチに吸着した農薬量の時間変化を図-6 に示す。

散布した農薬の多くは葉面およびサッチに吸着する。葉面に吸着した農薬は散布7日後にはその半量程度に減り、その理由は分解あるいはサッチへ移動したためと考えられた。

この実験条件で吸着した農薬はわずかずつ蓄積していく傾向が認められる。農薬のサッチへの蓄積は葉面へのそれに比べて2~3倍と大きい。サッチに吸着した農薬は初期には減少したが、葉面からの農薬の移動もあり、14日以降むしろ増加する傾向が認められる。

A と B を比較すると、葉面の吸着量は同程度であり、サッチへの吸着量は B の方が若干多かった。これは、両者のサッチの厚さは同程度であったが、B はサッチ部分に吸着能を持つ目土成分を相当含んでおり、それらが農薬の吸着に関与したためと考えられる。

ダイアジノンの場合、図示しないが、TPN の場合に比べ A, B とも葉面およびサッチの吸着量は小さく、後述するように散布したものの大半が分解したことによると考えられた。

4.2 農薬の収支

散布した農薬は、まず、葉面に展着し、一部サッチおよび床土にも吸着し、さらに一部が下部に流出すると考えられる。収支を考える際、それぞれの部位に吸着した農薬および流出した農薬は定量しており、散布量からこれらを合計した量を除いた残りを分解した農薬量であると解釈した。

TPN の場合、散布した農薬のうち葉面あるいはサッチへ吸着した農薬は、図-7 のように A が30~70%、B が40~80%である。下部への流出率は2.5%未満である。

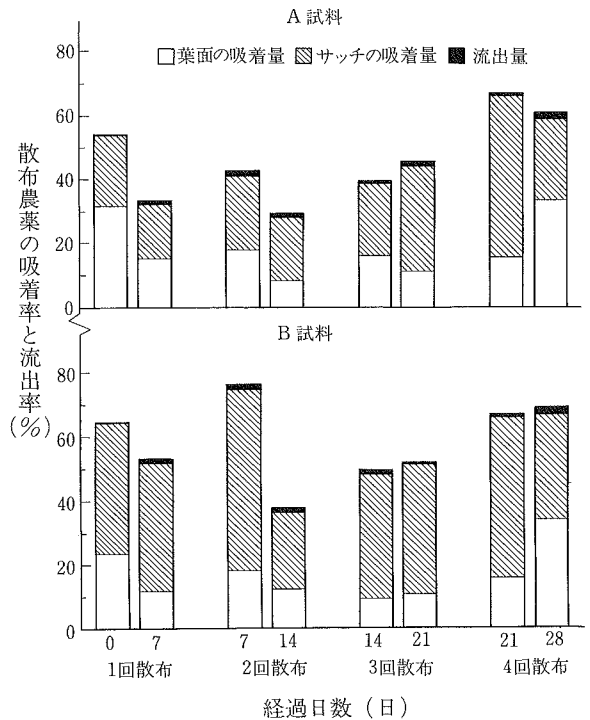


図-7 散布した農薬の収支 (TPN 床土なし)

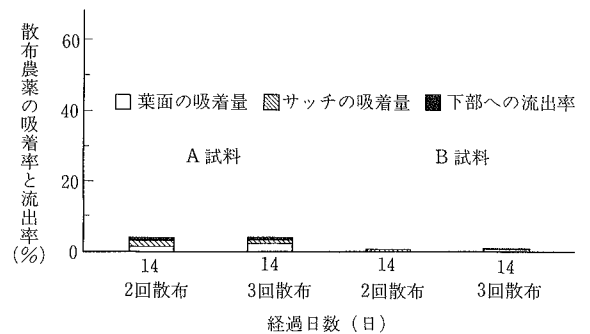


図-8 散布した農薬の収支 (ダイアジノン床土なし)

農薬散布時のポット外への飛散等による損失はあるものの、残りの約30~70%の大部分は光分解あるいは微生物分解したりものと考えられる。

一方、ダイアジノンの場合、図-8 に示すように A では散布した農薬のうち葉面あるいはサッチに吸着した農薬は数%未満であり、流出率も2%未満である。B の場合も同様、農薬の吸着量がわずかであるばかりでなく、その流出も1%未満とわずかである。ダイアジノンは4.5に後述するように水溶液中で化学的安定性が劣り、分解が速やかに進んだものと考えられた。

4.3 床土を含む条件での農薬の吸着

A および B の一部の試料については、床土がおよそ20~40 mm 存在する条件で、床土を除去せずに実験を行なった結果を図-9 および図-10 に示す。

TPN の場合、床土が存在する試料では、深さ20 mm 以下の部分には散布農薬の1%未満しか吸着していない。大部分は20 mm 未満の部分すなわちサッチ層に付着していることが明らかであった。床土への吸着割合と下部

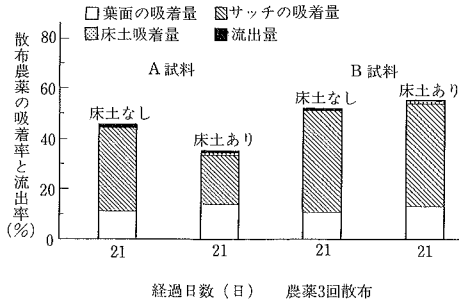


図-9 散布した農薬の収支 (TPN 床土あり)

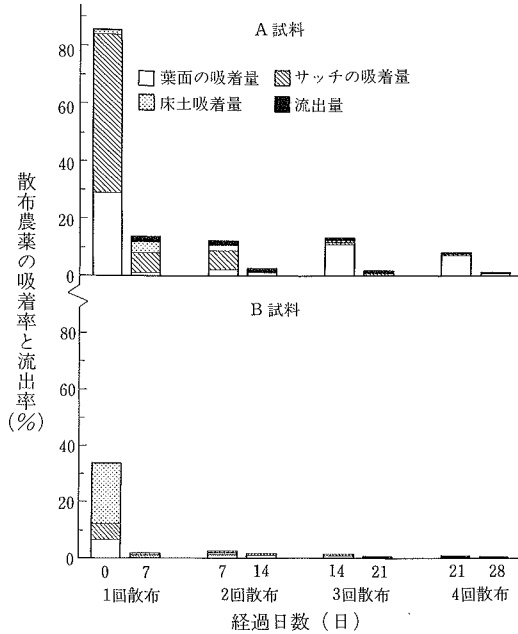


図-10 散布した農薬の収支 (ダイアジノン床土あり)

への流出割合の合計は、土のない試料の場合の流出割合とほぼ同等であり、土層の厚さがさらに大きければ、下部への流出率がさらに低下すると考えられる。AとBを比較した場合Aの方が下部への流出量は若干大きい。

一方、ダイアジノンの場合、流出はAで最大2%ほど認められたが、Bではほとんど認められなかった。

これはAの場合、間隙率が大きく土の亀裂が水みちとなって流出した可能性があり、Bの場合、土層厚が大きく、また砂質土とはいえ、ピートモス、ゼオライト、炭などの農薬の吸着能力を有し、微生物の担体となり得る各種資材を含有しており、これらが有効に働いたことなどによると考えられた。

4.4 葉面およびサッチの農薬吸着能力について

本試験から葉面およびサッチにかなりの割合の農薬が吸着することが明らかであり、この吸着能力の要因に関して考察してみた。

農薬はまず葉面に散布される。グリーンの場合、ほふく茎から葉が展開し、全面を覆っているため、農薬はまず葉面に吸着される。芝草の葉の農薬吸着能力を床土資材と比較した場合、図-11に示すように、ゼオライトの4倍以上の優れた吸着能をもっている。

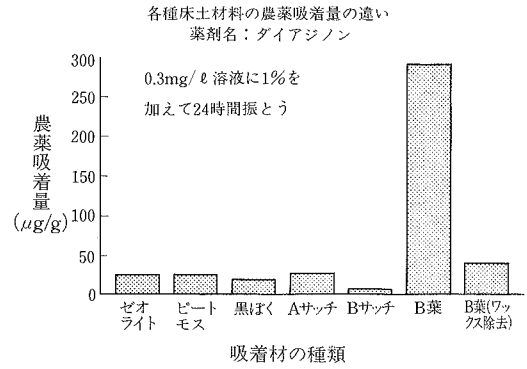


図-11 芝草および各種床土材料の農薬吸着量

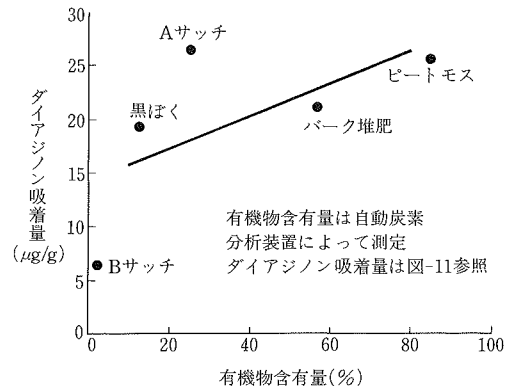


図-12 床土材料およびサッチの有機物含有量と農薬吸着量

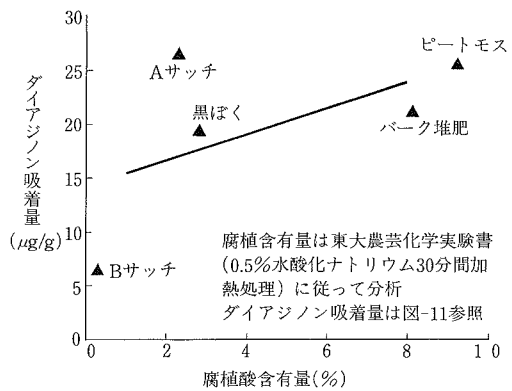


図-13 床土材料およびサッチの腐植酸含有量と農薬吸着量

植物葉面にはクチクラ層があり、機械的な保護および外部からの物質の透入の調整などを行なっている。このクチクラ層は、ワックス（蠟）成分（高級脂肪酸と高級アルコールの複合体）を主体に構成されている。本試験で扱っているものも含め、大部分の農薬は疎水性であり、このワックス成分と親和性が大きく、これが葉面の農薬吸着に大きく関与したと考えられる。芝草葉面にはワックス成分はA、Bとも0.2%ほど含まれている。このワックス成分を除去した葉は、図-11に示すように農薬の吸着量は激減することから、この成分が吸着の主たる原因であることが裏づけられる。

次に、サッチにも農薬が吸着されており、サッチ中の植物遺体が起源と考えられる有機物および腐植との関係について考察した。

A 試料のサッチには有機物が25%、腐植酸が2.3%含まれている。図-12に代表的床土材料を含め、有機物含有量と農薬吸着量との相関を示す。全体として有機物含有量の大きいものほど農薬吸着量が大きいといえる。

有機物の中で、腐植は土中の暗色無定形の高分子化合物であり、陽イオン交換能力が大きい。さらに腐植の主成分であり、酸に可溶、アルカリに不溶の腐植酸は吸着能力を持つことがわかっており、実際、図-13に示すように、腐植酸含有量の大きいものほど、農薬吸着量が大きくなる傾向が認められる。前述のワックス成分同様、腐植酸も農薬吸着に関与していると考えられる。

4.5 吸着した農薬の分解挙動について

本実験の結果、散布した農薬のうち、TPNの30~70%およびダイアジノンの90%以上が分解したと考えられた。これらの農薬の畑条件における半減期は、それぞれ畑条件で3~7日、3~14日とされており、比較的短い。これらの農薬は光分解、微生物分解を受けていると考えられる。

TPNの場合、非殺菌土壌に比べて殺菌土壌では分解速度が極めて遅くなることから⁵⁾、微生物分解がおおいに働いたと考えられる。

ダイアジノンの場合、特に土壌の水分含有量が大きいと分解がおこりやすく⁴⁾、植物体に浸透性があり、浸透したものは分解されやすい⁶⁾。TPNと同様微生物分解も行なわれる⁴⁾。本実験でダイアジノンの急速な分解が認められたのは、これらのことによると考えられる。

さて、本実験で散布した後、葉面、サッチあるいは床土に吸着した農薬は、環境中で分解消失できると考えられる。このことに関して若干の考察を行なった。

高木、和田らは³⁾TPNを単独で添加した連用圃場において、TPNが蓄積する傾向が認められるが⁷⁾、この系に堆肥を添加することで、分解が促進され蓄積しないことを明らかにしている。これは、間隙水中のTPN濃度を一定の低い状態に保ち、また微生物の栄養源を供給することによって、菌による分解が促進されたことを示している。一連の実験から、ゴルフ場のグリーンの場合、散布した農薬のうちサッチより下部へ流出する際に大量に高濃度で流出するものではなく、その濃度は非常に小さい。よって、床土中に間隙水中の農薬の濃度を一定の低いレベルに保つ吸着材および分解菌の栄養源を加えることによって、農薬を積極的に分解させ、無害化することが可能であると考えられる。

5. まとめ

ゴルフ場のベントグリーンを想定した室内実験によって、2箇所から入手した芝草を用いて、一定期間ごとに散布される殺菌剤TPNおよび殺虫剤ダイアジノンの葉

面、サッチおよび床土への吸着量、散水による流出量などを検討した結果、以下のことが明らかになった。

① TPNの場合、散布した農薬の多くは葉面およびサッチに吸着し、その吸着率は30~80%であり、残りの農薬の大部分は、光分解、微生物分解を受けたものと考えられ、下部層への流出率は1~2%とわずかである。同じくダイアジノンの場合、葉面およびサッチへの吸着量、下部層への流出率とも低く分解をより多く受けたものと考えられる。

② 吸着材、有機資材を含む20~40mmの厚さの床土が存在する場合、これらの農薬の床土より下部層への流出量はさらに微量であった。サッチより下部層へ流出した農薬も適正な床土が存在することによって農薬の吸着および土壤微生物による分解が促進されると考えられる。

③ 葉面およびサッチへのこれらの農薬の吸着は前者の場合、ワックス(蠟)成分が、後者の場合その腐植成分が吸着能力の原因として関与している。

6. あとがき

ベント芝に散布された殺菌剤TPNの葉、サッチへの吸着および分解等について検討したが、この成果をもとに、農薬の吸着・分解を積極的に行なうべく、高性能床土の検討を進めている。また、今回報告していないフェアウェイ、ラフなどの場合、農薬の雨水などによる表面流出を考慮しなければならない。この場合、水の流れをクローズドシステムとし、外部にまったく農薬が流出せぬようにすることが必須である。このようなトータルな散布農薬の無害化技術の開発を行なっていく予定である。

それとは別に、農薬使用量を低減すべく農薬代替資材の開発も行なっており、今後報告する予定である。

参考文献

- 1) 喜田, 辻, 千野: ゴルフ場からの農薬の吸着・分解に関する実験検討(その1) —ベント芝の葉面, サッチの農薬吸着実験—, 日本芝草学会創立20周年記念大会(平成3年度春季大会)講演要旨集, p. 97~98, (1991. 5)
- 2) 厚生省生活局食品化学課編: 残留農薬分析法, (株)日本食品衛生協会, p. 15~16, (1985)
- 3) K. Takagi, H. Wada: A Long-Term Change in Biodegradation of a Fungicide (Chlorothalonil: TPN) in Upland Soils, Proc. of the 9th Int. Symp. on Soil Biol. and Conserv. of the Biosphere, (1990)
- 4) 山本 出, 深見順一編: 農薬 ◀デザインと開発指針▶, ソフトサイエンス社, (1979)
- 5) 佐藤, 田中: 土壌中における殺菌剤グコニールの微生物的分解, 東北大農学研究報告, No. 37, p. 93~105, (1986)
- 6) (株)日本植物防疫協会編: 農薬ハンドブック, (1989)
- 7) 加藤, 豊田: TPN, パラコート圃場への連用が土壤微生物活性に及ぼす影響, 愛知県農業総合試験場研究報告, No. 22, p. 309~315, (1990)