強酸性土壌での *Streptomyces acidiscabies* による ジャガイモそうか病の発生と病原菌の諸性質

佐賀県上場営農センター　田代暢哉（たしろ のぶや）

はじめに

ジャガイモそうか病は複数種の *Streptomyces* 属菌によって引き起こされ（Tashiro et al., 1990 ; Takeuchi et al., 1996；Loria et al., 1997；竹内，2001；田中，2001；西ら，2007），塊茎の外観を大きく損ねて経済的被害を生じる防除困難な土壌病害である。複数種の病原菌の中でも広く分布している *Streptomyces scabiei*（Lambert and Loria, 1989 a）は弱酸性から弱アルカリ性の土壌で激しく発病するが，pH が 5.2 以下の強酸性土壌での発生は少ない。このため，本病の防除法として石灰資材の投入を控え，収量に悪影響を及ぼさない程度にまで土壌 pH を低く保つ栽培法が古くから行われてきた。ところが，一部のジャガイモ産地ではこのような強酸性の土壌においても本病の発生が増加しており，実被害を生じているところがある。

本稿では，強酸性土壌で被害を及ぼすそうか病の発生実態と病原菌に関する知見について概説し，参考に供したい。

I　強酸性土壌における発生実態

1　発生状況と土壌 pH との関係

佐賀県の畑作地帯である上場地域（唐津市鎮西町，同肥前町，東松浦郡玄海町）は古くからのジャガイモ産地である。このため，連作に伴うそうか病の発生が以前から問題になっていたが，土壌への石灰資材などの投入を控え，土壌 pH を 5.0 程度に保つことで本病の発生を回避していた。ところが，1980 年ころからこのような酸性土壌においても本病の発生を抑制できていないとの指摘があがり始めた。

そこで，本病の発生状況と土壌 pH（H_2O）との関係を 1981 年秋作から 1985 年秋作まで 5 か年間，延べ 9 作にわたって調査した。このうち発生が少なかった春作の 3 事例を除いた 6 作の結果を示した（図−1）。

本病は強酸性土壌から弱アルカリ性土壌までの幅広い pH 域で発生していたが，各作ともに pH5.2 以下の強酸性土壌の畑でも多発事例が多数認められた。なかには，pH4.2 という強酸性土壌でも発病塊茎割合が 52％という多発事例があり，さらに pH4.5 で同 78％，pH4.6 で同 94％などの激発事例もあった。

以上のように，これまで本病が実用上問題となることはないとされてきた pH5.2 以下の強酸性土壌においても本病は激しく発生している実態が明らかになった。

2　強酸性土壌で発生した罹病塊茎から分離される *Streptomyces* 属菌

1985 年の春作に調査した 28 箇所の畑の中で，pH5.2 以下の強酸性土壌の畑が 15 箇所あり，そのうち発病が認められたのは 7 箇所であった。この中で，発病塊茎割合が 18.6 ～ 43.4％と強酸性土壌条件にもかかわらず中程度～やや多発していた 3 箇所の畑で採取した罹病塊茎から分離され，ポット試験によって病原性を確認できた *Streptomyces* 属菌は 71 菌株であった。これらの菌株は胞子鎖の形態が直～波状の 61 菌株とらせん状の 10 菌株に大別された（表−1；口絵①）。

一方，発病塊茎割合が 0.6 ～ 2.8％と極めて発生が少ない 4 箇所の畑の罹病塊茎から分離され，病原性が確認された *Streptomyces* 属菌 44 菌株のうち，43 菌株の胞子鎖はらせん状であった。

以上のように，強酸性土壌で発生して被害を及ぼしているそうか病の罹病塊茎から分離される病原菌の大部分は胞子鎖の形態が直～波状の菌株であった。

II　病原菌の同定

1　諸外国における強酸性土壌での発生と病原菌

強酸性土壌における本病の発生については Bonde and McIntyre（1968）によって uncommon scab として最初に報告されており，その病原菌については胞子鎖の形態が直～波状の *Streptomyces* 属菌であることが記載されている。その後，Manzer et al.（1977）によって強酸性土壌で発生するそうか病菌は強酸性土壌では病原性を発揮することのできない普通のそうか病菌（*S. scabiei*）と比較して色素産生，ラフィノースの利用能，胞子鎖の形態，低 pH に対する耐性の面で異なっていること，また，Hughes et al.（1971）により菌体タンパク質の電気泳動

Severe Incidence of Potato Scab in Strongly Acidic Soils and its Causal Pathogen ; *Streptomyces acidiscabies*.　　By Nobuya Tashiro

（キーワード：ジャガイモ，そうか病，強酸性土壌，*Streptomyces acidiscabies*）

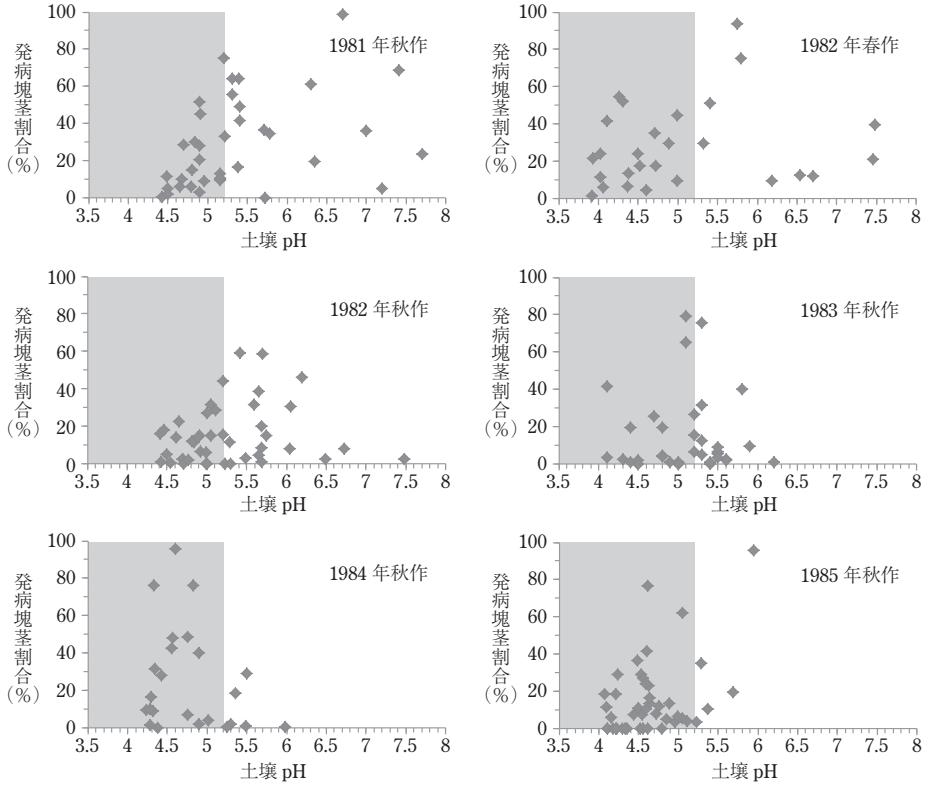

図-1　ジャガイモそうか病の発生と土壌 pH（H_2O）との関係
網掛け部分は pH（H_2O）5.2 以下の領域を示している.

表-1　強酸性土壌で発生したジャガイモそうか病の病斑部から分離される *Streptomyces* 属菌の胞子鎖の形態

畑地番号	土壌 pH（H_2O）	発病割合（%）	胞子鎖の形態別病原菌株数	
			らせん状	直～波状
Y-1	4.3	0.6	4	0
Y-2	4.2	2.8	26	1
Y-3	4.2	0.6	5	0
A-3	4.5	1.3	8	0
		合計	43	1
A-1	5.1	43.4	8	22
T-1	4.5	18.6	2	23
T-2	4.3	21.3	0	16
		合計	10	61

像も両者の間に差が見られることがそれぞれ報告されている。このように，強酸性土壌でそうか病を引き起こす病原菌は普通のそうか病菌とは形態・性質等の点で異なることがすでに知られていた。さらに，強酸性土壌で発生するそうか病はアメリカ北東部の多くの地域で見られることが Loria et al.（1986）によって報告され，その病原菌として *Streptomyces acidiscabies* が提案された（Lambert and Loria, 1989 b）。

本菌はその後，世界各地で見いだされており，最近では英国（Thwaites et al., 2010），中国（Zhao et al., 2010）でも報告されている。

2　強酸性土壌で発生するそうか病菌の同定

佐賀県上場地域の罹病塊茎から分離された胞子鎖の形態が直～波状の菌株群とらせん状の菌株群の胞子の色調と菌そうの形態はそれぞれの群で類似していた。また，種々の生理的性質についても菌株群でほぼ同様の傾向を示し，それぞれの菌株群を代表する菌株の DNA 相同値は低く，別種であると考えられた（Tashiro et al., 1990）。

そこで，それぞれの菌株群の代表菌株の 16SrDNA の塩基配列を決定し，分子系統解析の結果（図-2）から，胞子鎖が直～波状の菌株（S-51，S-173）は *S. acidiscabies*，胞子鎖がらせん状の菌株（S-851）は *S. scabiei* であると同定された（Tashiro et al., 2012；口絵②）。このことから，我が国においても強酸性土壌で発生するそうか病を引き起こしている病原菌は *S. acidiscabies* であることが明らかになった。

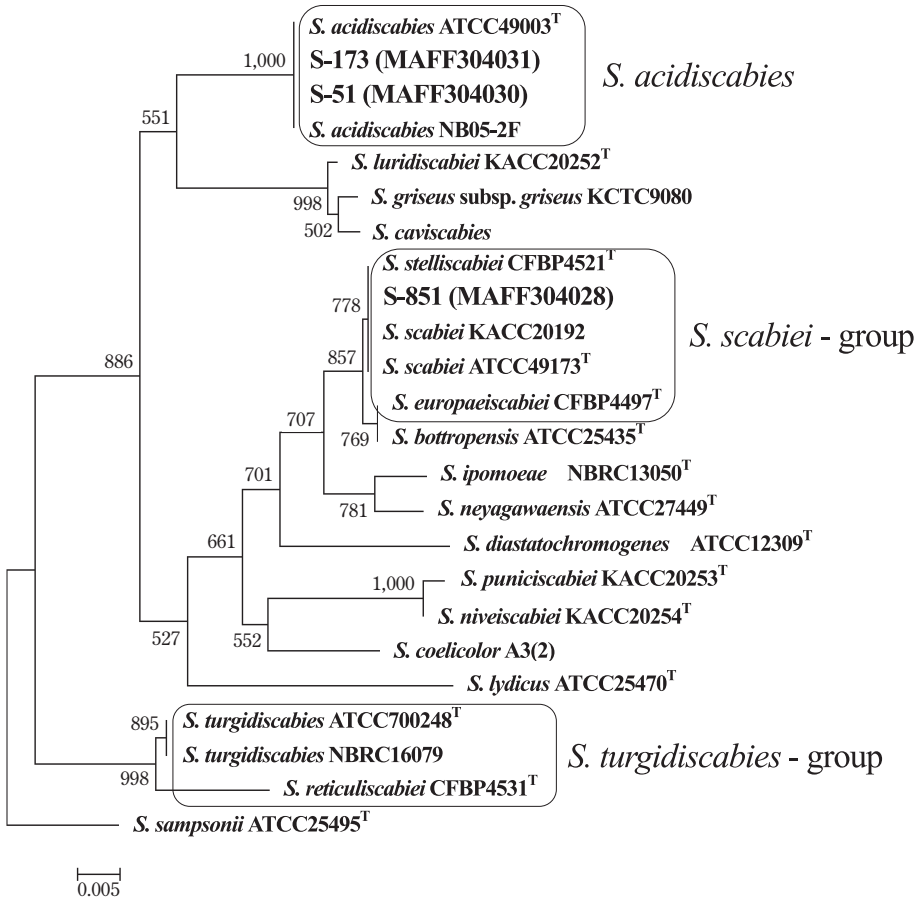

図-2　ジャガイモそうか病を引き起こす各種 *Streptomyces* 属菌および近縁種の 16S rDNA の塩基配列に基づいた系統樹

S-51（MAFF304030），S-173（MAFF304031）および S-851（MAFF304028）を除いた各菌株の 16S rDNA の塩基配列は DDBJ のデータベースから入手した．各枝の数字はブーツストラップ確率を示す．

S. acidiscabies を含むこれまでに報告されている各種そうか病菌の形態および生理的性質の特徴を表-2 に示した。本表からわかるように，胞子の色調，胞子鎖の形態，pH3.5 ～ 4.0 での生育の有無，食塩（5%）とクリスタルバイオレットおよびストレプトマイシンに対する感受性を調べることで，菌種を大別できる。ただし，*S. scabiei* グループおよび *S. turgidiscabies* グループではこれらの形質がグループ内でよく似ているので，種の区別は困難である。

III　*S. acidiscabies* による強酸性土壌でのそうか病の発生

1　*S. scabiei* と *S. acidiscabies* の pH に対する反応

S. scabiei は培地 pH が 5.5 の場合にはすべての菌株が生育したが，pH5.0 では約半数の菌株が，さらに pH4.5 以下ではすべての菌株が生育できなかった。これに対して，*S. acidiscabies* では大部分の菌株で pH4.5 まで，約 8 割の菌株で pH4.0 まで菌体の生育が認められた（図-3）。

さらに，両菌の pH に対する反応を量的に解析するために培養菌体中の ATP 生成量を調べたところ，*S. scabiei* では培地 pH が 4.0 ～ 5.0 と低い場合にはその生成は少ないが，pH5.5 になると急に増加し，pH6.0 で最高となり，それ以上の pH 域では pH8.0 までゆるやかに減少した。これに対して，*S. acidiscabies* では培地 pH が 4.0 および 4.5 と強酸性条件下であっても最適値である pH5.0 のそれぞれ約 30% および約 65% が生成されていた。最も高まるのは pH5.0 で，pH5.5 から 6.0 で減少し，それ以上の pH 域では pH8.0 まで同程度で，pH5.0 の場

表-2　各種ジャガイモそうか病菌の形態的特徴と生理的性質の比較[a, b, c]

形態および生理的性質	*S.acid*	*S. luri*	*S. cavi*	*S. scab*	*S. stel*	*S. euro*	*S. puni*	*S. nive*	*S. turg*	*S. reti*
胞子の色調	白色	黄白色	白色	灰色	灰色	灰色	淡橙黄色	白色	灰色	淡灰色
胞子鎖の形態	直～波状	直～波状	直～波状	らせん状	らせん状	らせん状	直～波状	直～波状	直～波状	直～波状
メラニンの生成[d]	－[e]	＋	－	＋	＋	＋	＋	－	＋	－
低 pH 域での生育										
3.5 ～ 4.0	＋	－	ND	－	ND	ND	＋	＋	－	ND
4.5	＋	＋	－	－	ND	ND	＋	＋	＋	ND
5.0	＋	＋	ND	V	ND	ND	＋	＋	＋	ND
各種生育阻害物質存在下での生育										
食塩（5%）	＋	－	ND	＋	－	ND	＋	－	－	－
タリウム（10 μg/ml）	＋	＋	＋	－	ND	ND	－	－	－	ND
クリスタルバイオレット（0.5 μg/ml）	＋	＋	V	＋	－	－	＋	－	－	－
ペニシリン（10 IU/ml）	＋	＋	＋	V	＋	＋	＋	＋	＋	＋
オレアンドマイシン（25 μg/ml）	＋	－	ND	V	＋	＋	＋	－	＋	＋
ストレプトマイシン（20 μg/ml）	＋	－	＋	V	－	－	－	－	－	－

[a] 形態と生理的性質の特徴は Bouchek-Mechiche et al.（2000）；Goyer et al.（1996）；Lambert and Loria（1989 a）；Lambert and Loria（1989 b）；Miyajima et al.（1998）；Park et al.（2003）；Tashiro et al.（2012）による．

[b] *S. acid* ; *S. acidiscabies*, *S. luri* ; *S. luridiscabiei*, *S. cavi* ; *S. caviscabies*, *S. scab* ; *S. scabiei*, *S. stel* ; *S. stelliscabiei*, *S. euro* ; *S. europaeiscabiei*, *S. puni* ; *S. puniciscabiei*, *S. nive* ; *S. niveiscabiei*, *S. turg* ; *S. turgidiscabies*, *S. reti* ; *S. reticuliscabiei*.

[c] *S. scabiei* グループ（*S. scab*, *S. stel* ; *S. euro*）, *S. turgidiscabies* グループ（*S. turg* ; *S. reti*）

[d] ペプトン・イースト・鉄寒天培地（PYIA；ISP 培地 No.6）での生成.

[e] ＋ , 生育する；－ , 生育しない；V, 菌株によって反応が異なる；ND, 未調査.

合の約 60%であった（図-4）。

以上のように，*S. acidiscabies* は *S. scabiei* とは異なる ATP 生成パターンを示し，強酸性域での生育は *S. scabiei* に比べて明らかに優っていた。

2　pH 調整土壌への菌接種による発病の実証

開畑直後からジャガイモを栽培して 3 か年を経過してもそうか病の発生を認めていない畑を供試した。念のためにクロルピクリンによる土壌消毒を実施した後に，土壌 pH を強酸性（pH4.4 ～ 4.6）および微酸性（pH6.5）に調整した区画を設け，*S. scabiei* および *S. acidiscabies* を土壌接種し，種いも消毒済みのジャガイモを植え付けた。

初作目になる秋作では，*S. scabiei* を接種した場合，pH6.5 の微酸性条件下では発病割合が 37.5%で中程度の発生であった。一方，pH4.6 の強酸性土壌では同 5.9%と極めて少ない発生で，土壌を低 pH 条件下に保つことで発病が抑制されていた。これに対して，*S. acidiscabies* を接種した場合には，pH6.5 および pH4.4 の土壌のいずれにおいても発病割合は 56%前後と多発しており，その程度も高かった。その後，2 作目の春作における発病は全体的に少なかったが，病原菌と土壌 pH の関係については前作と同様の傾向が認められた（表-3；図-5）。

以上のように，*S. acidiscabies* は pH4.4 という強酸性土壌でも pH6.5 の場合と同程度の強い病原性を示すことが示された。これまで，*S. acidiscabies* がそうか病斑から分離された報告はいくつかあるものの，pH に対する病原菌の反応の解析，そして強酸性土壌での接種試験による発病確認の事例はなく，ここで紹介した一連の試験結果は *S. acidiscabies* が強酸性土壌でも激しい発病を引き起こすことを明確に示したものである（田代ら，1999）。

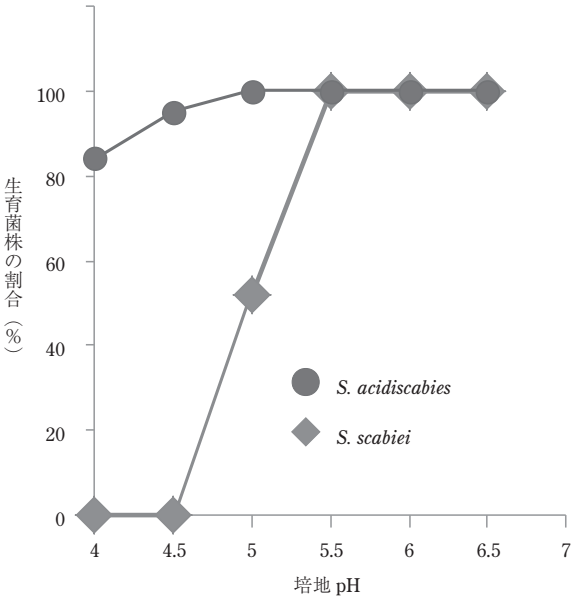

図-3　2種のジャガイモそうか病菌 *S. acidiscabies* と *S. scabiei* の生育に及ぼす培地 pH の影響
S. acidiscabies は59菌株，*S. scabiei* は106菌株をそれぞれ供試.

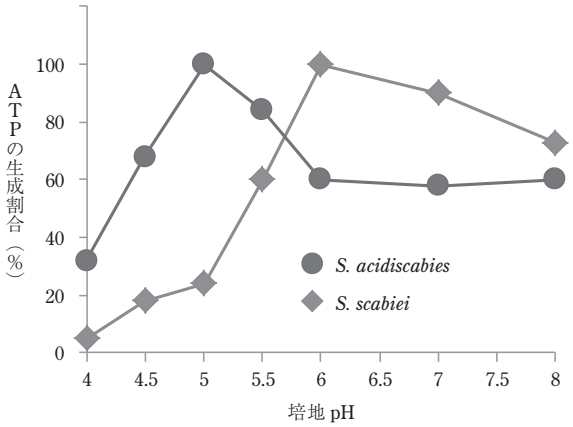

図-4　2種のジャガイモそうか病菌 *S. acidiscabies* と *S. scabiei* の ATP 生成に及ぼす培地 pH の影響
最も良好に生成された pH 値における ATP 生成量を100として，他の pH 値における生成量を相対値として表示.

3　連作条件下での *S. acidiscabies* によるそうか病の衰退

前述の試験をその後も継続したところ，*S. scabiei* 接種区では土壌接種後約1年を経過した3作目の秋作においても初作目である前年の秋作と同程度の発病が見られており，土壌pHに対する反応も前作までと同様であった。

これに対して *S. acidiscabies* 接種区では3作目の秋作になると，強酸性土壌区での発病塊茎割合は19.0%，微酸性区では同25.0%で，ともに初作目よりも発生が大幅に減少した。本作はクロルピクリン消毒から1年を経過しており，土壌微生物相は十分に回復していると思われる。このため，*S. scabiei* よりも *S. acidiscabies* のほうが土壌中の各種微生物による影響を受けやすく，そのために発病が初作目に比べて抑制されているのではないかと考えられた。

Manzer et al.（1977）は強酸性土壌で発生するそうか病菌の土壌中での生存能力は比較的弱いにもかかわらず，毎作発生するのは，種いもを経由した病原菌の新たな持ち込みであると指摘している。

本病に対する種いも消毒の効果は高いので（田代・松尾，1986；植松・片山，1990），畑への病原菌の持込みを防ぐことは，強酸性土壌で問題になるそうか病の有効な抑制手段になるものと考えられる。

Ⅳ　*S. acidiscabies* の宿主範囲

S. acidiscabies の宿主範囲は，ダイコン，ハツカダイコン，カブ，ニンジン，テンサイ等にもそうか病を引き起こす *S. scabiei* に比べると狭いようである（Goyer and Beaulieu, 1997）。著者も *S. acidiscabies* が激発した畑にダイコン，カブ，ニンジン，ゴボウを栽培してもこれらの作物の根茎部にそうか病斑が形成されないことを確認している。

Ⅴ　病原菌による病斑形状の違い

ジャガイモ塊茎上の病斑の形状は栽培品種，土壌条件，病原菌の違いによって異なることが指摘されている（高橋ら，1997）。しかし，大まかな傾向としては *S. scabiei* と *S. turgidiscabies* は隆起型または陥没型の病斑を形成し，*S. acidiscabies* は表面型の病斑を形成するという報告が多い（Thwaites et al., 2010；Zhao et al., 2010；Tashiro et al., 2012）。品種‘デジマ’を用いた接種試験でこの傾向は明らかで，*S. acidiscabies* による病斑は *S. scabiei* に比べて明らかに浅い（図-6）。このため，罹病塊茎の病斑の形状から *S. acidiscabies* に起因しているそうか病かどうかの識別が可能である（Tashiro et al., 2012）。このような病斑型の違いには，各種病原菌が生成する毒素（Natsume et al., 1998）が影響していることも考えられる。

表-3　*S. acidiscabies* および *S. scabiei* を強酸性土壌および弱酸性土壌に接種した場合の発病状況の推移

接種病原菌	秋作（1986）			春作（1987）			秋作（1987）		
	土壌 pH	発病割合（%）	発病度	土壌 pH	発病割合（%）	発病度	土壌 pH	発病割合（%）	発病度
S. scabiei	4.6	5.9	2.0	4.7	1.0	0.3	4.6	6.0	1.7
	6.5	37.5	15.9	6.3	13.0	3.4	6.0	41.4	13.0
S. acidiscabies	4.4	56.5	24.3	4.6	12.0	3.5	4.5	19.0	5.5
	6.5	55.5	26.2	6.4	6.0	2.2	6.0	25.0	6.6

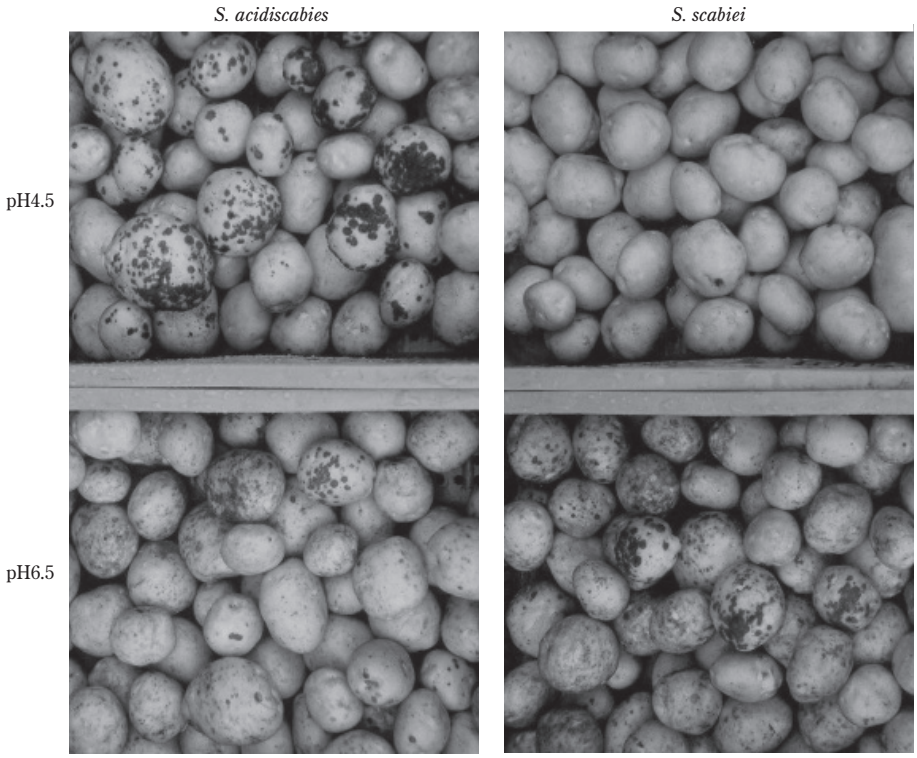

図-5　*S. acidiscabies* および *S. scabiei* を強酸性土壌および弱酸性土壌に接種した場合の発病状況

お　わ　り　に

我が国に分布しているそうか病の病原菌は *S. scabiei*, *S. turgidiscabies*（Miyajima et al, 1998），*S. acidiscabies* の3種である。この中でも *S. scabiei* と *S. turgidiscabies* の分離頻度が高いようである（西ら，2007；菊池ら，2008；田川ら，2008）。

しかし，本稿で示しているように *S. acidiscabies* によるそうか病は土壌の酸性化による制御が難しいという問題がある。一方で，本菌の土壌中での生存能力は *S. scabiei* に比べると低いようで，土壌中への病原菌の新たな持ち込みがなければ，発病は徐々に衰退していくことが期待される。このためにも，土壌中への病原菌の持込みを遮断する種いも消毒は重要であり，その徹底が望まれる。このことは *S. scabiei* や *S. turgidiscabies* によるそうか病の場合も同様である。

なお，pH5.2 以下の強酸性土壌でも *S. scabiei* は生存しており，低い割合ではあるがそうか病を引き起こす。このため，石灰資材などの施用によって土壌 pH が急に上昇した場合には発病が急増する恐れがあり，注意が必要である。

本稿を取りまとめるにあたって *S. turgidiscabies* による発病塊茎を提供いただいた鹿児島県農業開発総合センター西　八束氏に厚くお礼申し上げる。

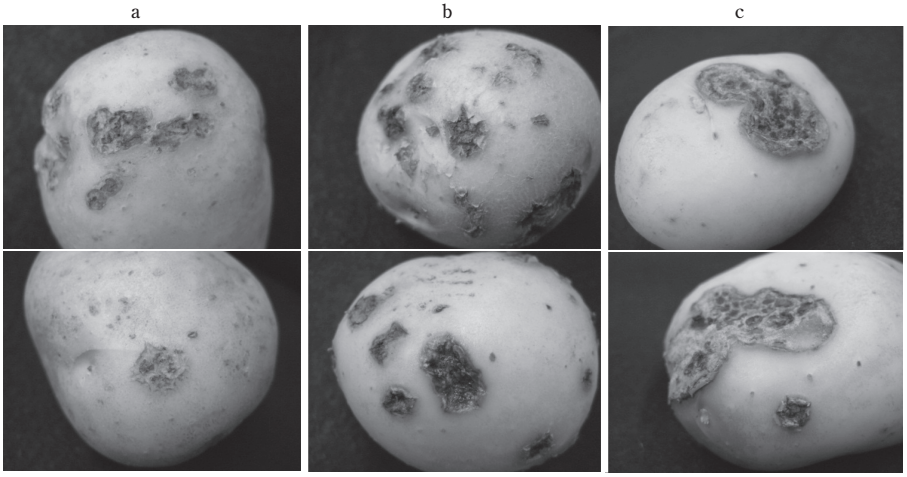

図-6　ジャガイモ塊茎に各種そうか病菌を接種して形成された病斑
a：*S. acidiscabies*，b：*S. scabiei*，c：*S. turgidiscabies*

引　用　文　献

1）Bonde, M. R. and G. A. McIntyre（1968）: Am. Potato J. **45** : 273 ～ 278.
2）Bouchek-Mechiche, K. et al.（2000）: Int. J. Sys. Evol. Microbiol. **50** : 91 ～ 99.
3）Goyer, C. et al.（1996）: Int. J. Syst. Bacteriol. **46** : 635 ～ 639.
4）――― and C. Beaulieu（1997）: Plant Dis. **81** : 901 ～ 904.
5）Hughes, C. et al.（1971）: Am. Potato J. **48** : 206 ～ 213.
6）菊池健太郎ら（2008）: 日植病報 **74** : 264（講要）.
7）Lambert, D. H. and R. Loria（1989 a）: Int. J. Syst. Bacteriol. **39** : 387 ～ 392.
8）――― ・ ―――（1989 b）: ibid. **39** : 393 ～ 396.
9）Loria, R. et al.（1986）: Am. Potato J. **63** : 440.
10）――― et al.（1997）: Plant Dis. **81** : 836 ～ 846.
11）Manzer, F. E. et al.（1977）: Maine Life Sci. Agric. Stn. Bull. **85** : 1 ～ 24.
12）Miyajima, K. et al.（1998）: Int. J. Syst. Bacteriol. **48** : 495 ～ 502.
13）Natsume, M. et al.（1998）: Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. **64** : 202 ～ 204.
14）西　八束ら（2007）: 日植病報 **73** : 277（講要）.
15）Park, D. H. et al.（2003）: Int. J. Sys. Evol. Microbiol. **53** : 2049 ～ 2054.
16）田川雅弘ら（2008）: 日本微生物生態学会講演要旨集（**24**）: 111（講要）.
17）高橋賢司ら（1997）: 北日本病虫研報 **48** : 59 ～ 62.
18）Takeuchi, T. et al.（1996）: Int. J. Syst. Bacteriol. **46** : 476 ～ 479.
19）竹内　徹（2001）: 第 21 回植物細菌病談話会講演要旨集：21 ～ 32.
20）田中文夫（2001）: 北海道立農試研報 **96** : 1 ～ 66.
21）田代暢哉・松尾良満（1986）: 九病虫研会報 **32** : 24 ～ 27.
22）―――ら（1999）: 日植病報 **65** : 197 ～ 203.
23）Tashiro, N. et al.（1990）: Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. **56** : 73 ～ 82.
24）――― et al.（2012）: J. Gen. Plant Pathol. **78** : 353 ～ 359.
25）Thwaites, R. et al.（2010）: Plant Pathol. **59** : 804.
26）植松　勉・片山克己（1990）: 長崎総農試研報 **18** : 61 ～ 115.
27）Zhao, W. Q. et al.（2010）: Plant Pathol. **59** : 40.

農林水産省プレスリリース（25.1.16 ～ 25.2.15）

農林水産省プレスリリースから，病害虫関連の情報を紹介します。
http://www.maff.go.jp/j/press/syouan の後に該当のアドレスを追加してご覧下さい。

◆**「平成 24 年度 病害虫発生予報第 10 号」の発表について**　　/syokubo/130214.html
（2/14）