

植	物	
防	疫	
講	座	

## 病害編-4

## イネばか苗病の発生生態と防除

公立大学法人 秋田県立大学生物資源科学部 ふじ藤しん晋 いち一

## はじめに

イネばか苗病は種子伝染性の糸状菌病で、病原菌の学名は *Fusarium fujikuroi* が現在の正式名称である。イネばか苗病菌は *Fusarium fujikuroi* (*Gibberella fujikuroi*) 複合種に属しており、以前 *Fusarium moniliforme* とされていた菌や完全時代の学名として使用されてきた *Gibberella fujikuroi* (植物病名目録記載) がこれに該当する。本病は主要農作物種子法 (平成30年4月1日廃止) では、種子生産圃場の審査において発生していないことが合格基準となっている重要病害である。本病は1980年代まで広く種子消毒剤として使用されてきたベノミル剤に対する耐性菌の発生、2000年代に入ってから温湯消毒や生物農薬の普及によって、たびたびその発生が深刻な問題となった。ここでは、ばか苗病の症状、発生生態、防除技術について解説する。

## I ばか苗病の症状

## 1 育苗期の症状

ばか苗病の発生は育苗期間から認められ、罹病種子を伝染源として育苗工程の浸種、催芽、出芽中に放出された病原菌による感染が主な原因である。感染した病原菌は主に子葉鞘基部で増殖し、菌の増殖とともにジベレリンを産生する。菌によって産生されたジベレリンの影響で植物体が徒長するのがばか苗病の典型的な症状である (図-1)。徒長苗は出芽1週間後の1葉期では第1本葉が健全苗の1.5~2倍に伸長、最も発生が顕著になる2葉期以降では葉、葉鞘が伸長する。一般的な徒長苗は全体に色が淡く、ひょろっと徒長し、葉身が大きく開いている。枯死苗は苗をかき分けると見分かれ、枯死苗の表面に白からピンク色 (淡紅色) の粉をふいたように分生子を多量に形成している。重度に感染している場合には不発芽、出芽直後に枯死となる場合もある。その場合は、籾や発芽直後の芽が白~ピンク色のカビに覆われて腐敗

している (図-1)。ただし、不発芽、出芽直後の枯死は、他の *Fusarium* 属菌や立枯病を引き起こす土壌伝染性の病原菌によるものもあり、徒長苗が見られない不発芽や出芽直後の枯死は、別の病原菌によるものと考えたほうがよい。

## 2 本田での症状

本田に持ち込まれた罹病苗は、早いもので移植後2週間ころから葉鞘や節間が徒長するとともに黄化する (図-2)。一般に分げつ数が少なく、節から不定根が発生するのも特徴である。発病株はやがて枯死に至るが、枯死株の株元の葉鞘には育苗期間中と同様に多量の分生子 (主に小型分生子) からなる淡紅色の粉状物が見られるようになる (図-2)。これら分生子は穂ばらみ期から出穂期に飛散して籾に付着、開花中の穎花の柱頭および葯から侵入、いわゆる花器感染により周辺のイネに感染する。侵入後の菌は子房内や種皮で増殖し稔実が悪くなる場合もあるが、多くは稔実して保菌籾となる。保菌籾では、しばしば籾の内穎と外穎の接合部に淡紅色の孢子塊 (スポロドキア) が形成される (図-2)。スポロドキアを形成した籾や罹病葉茎から脱穀の際に病原菌が飛散し、健全籾に付着することで汚染籾となり、翌年の伝染源となる。

## II ばか苗病の発生生態

発生生態については前章でも触れているが、種子伝染性病害であることは、逸見ら (1931) により報告されている。その後、様々な研究者によって研究がなされてきているが、本病に関する発生生態については、佐々木 (1987) が詳細な研究を報告している。本病の発生生態を知るうえで、極めて参考になる報告であるが、研究当時の育苗体系が苗代であることをはじめとして、現在の栽培体系とは異なる点がある。また、機械移植の普及に伴った育苗箱内における本病の発生の特徴については、渡部 (1980) が詳細な試験結果を報告している。これについても現在とは異なる育苗箱での試験であることから、上記研究報告を参考に追試験を含めて現在の栽培体系に合わせた発生生態を紹介する。

Ecology and Control of Rice Bakanae Disease. By Shin-ichi Fuji

(キーワード: イネばか苗病, 症状, 発生生態, 防除)

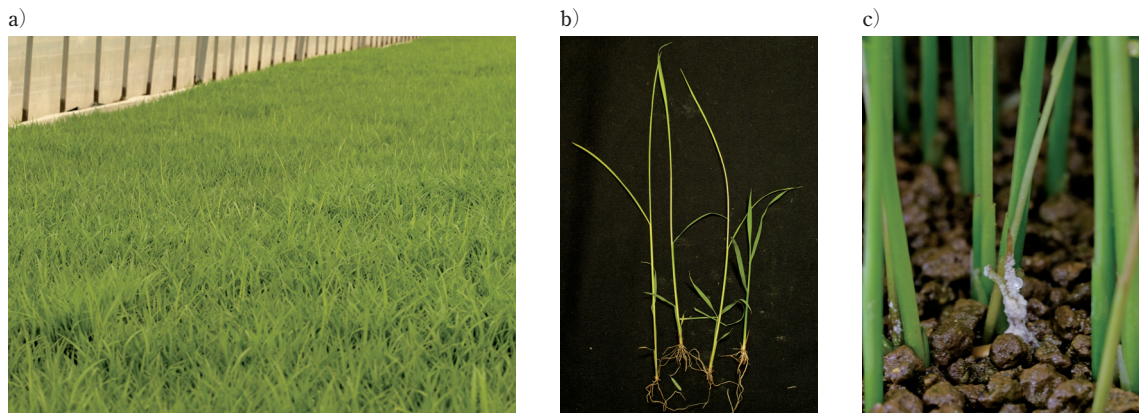


図-1 (a) 育苗期間中の発生様相, (b) 罹病苗 (一番右は健全苗), (c) 発芽直後の腐敗

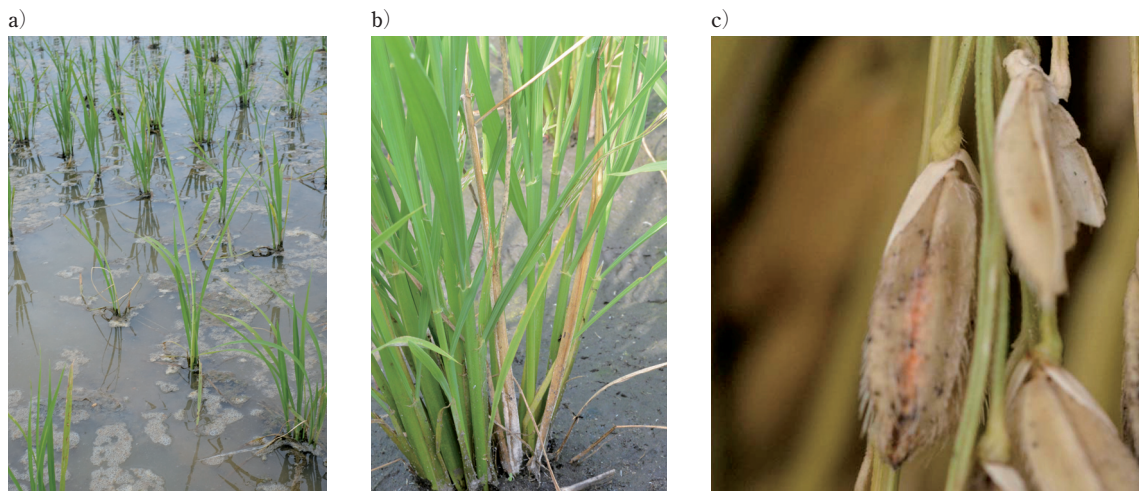


図-2 (a) 本田での発病様相, (b) 枯死株に形成された胞子塊, (c) 籾上に形成された胞子塊

## 1 育苗期の発生生態

苗代による育苗が主流であった時期は水苗代よりも畑苗代のほうが多発する傾向にあることや、現在の主要な育苗方法である箱育苗の普及に伴って本病が多発したことが報告されている。佐々木 (1987) は発芽した直後の本菌感染によって枯死した幼苗に形成された胞子が2次伝染を誘起する可能性を述べている。渡部 (1980) は、健全種子を播種した育苗箱中に人工的に胞子形成した培養籾あるいは胞子塊を形成した種子を置床したところ、播種後の健全籾が感染したことを報告している。一方で2次的な発病苗の発生や坪状での発生は、罹病苗から漏出したジベレリンを周辺の健全苗が吸収したことによることも考えられてきた。この2次伝染の可能性を明らかにするため、我々は、ハイグロマイシン耐性を付与した組み換え菌を作製、その胞子懸濁液を浸種液として、種子予措から育苗期間の本菌の動態を調査した (金田ら, 2011)。その結果、菌は浸種 (15℃) 開始6時間後では健全種子でも穎と玄米の間に侵入できるが、菌の主な侵

入行動は催芽処理時 (30℃ 24時間) に起こっていることを明らかにした。鈴木 (2017) は、浸種、催芽、出芽の期間に温湯消毒した健全種子に罹病種子が接触すると、感染することを報告している。一方、組み換え菌が感染した種子の近くに健全種子を播種しても、筆者らの実験では発病は見られていない。これらの結果から、種子予措中の伝染は浸種から催芽・出芽の時期に限られ、その後の育苗箱中の二次伝染やプール育苗による伝染は起こらないものと考えている。しかしながら、越智 (2017) は、育苗開始時から2.5葉期でも感染が生じることや本菌に感染した汚染土壌の上に出芽苗を置床した場合にも本病が発病する試験結果を報告している。これまでの報告から出芽直後の緑化していない時点であれば、感染するリスクはあるかもしれないが、緑化後の苗での感染のリスクは総合的に判断して低いものと考えられる。

## 2 本田での発生生態

本田での本病の発生は、10 a 当たり 20% の減収を引

き起こすとの報告もあるが、鈴木ら（1987）の研究によって減収率はそれよりも少ないことが明らかとなっている。したがって本病発生の問題は、翌年使用する種子に伝染することにより、都道府県では健全種子を確保するために、採種圃場周辺では発病苗の抜き取りなどによる物理的防除が行われている。

ばか苗病の本田での発病は、本菌に感染した苗が移植されることによって起こる。佐々木（1987）によれば、本田に移植された徒長苗は移植後10日ごろから枯死が始まり、漸次増加する。また外観健全苗を移植した場合の本田での徒長苗の発生は、移植後2週間までに増加し、以後発生が低下していると報告している。しかしながら、近年の発生消長は必ずしもこれに合致しないことから、2011年と2012年に自然感染種子などを用いて本田における発病推移を調査した（藤，2013）。その結果、移植直後の徒長苗の急激な増加は認められず、移植3週間後までに増加、枯死苗の発生は、移植およそ1か月後から認められるようになった（図-3）。加えて、菌株の違いが本田での発病推移に影響するかを明らかにするため、2014～16年にかけて、新たに6菌株を用いて試験を行った（藤・佐々木，2017）。その結果、菌株間で発病苗率には大きな違いが認められないものの、7月下旬での枯死苗率に大きな違いが認められた。この病原力の差異については、薬剤感受性への関連性はなかった。以上の調査結果を踏まえると、採種圃場周辺での本病発病有無の調査および発病株の抜き取りは、6月下旬に行うことが最も適切であると考えられる。

また、7月以降の幼穂形成期を迎えると草丈が高くなるため、徒長株の識別が困難になる。このような本田発病の遅れや見逃しが、近年、健全種子の確保を難しくし

ている原因の一つと考えられる。

分生子の飛散は、主に夜間に行われ、昼間でも1mm以上の降雨があれば飛散が起こるとされている（佐々木，1987）。感染時期については開花期が乳熟期よりも感染率が高く、開花後4週以降はほとんど感染せず、開花期に近いほど胚への侵入は深い。感染株における胞子の形成は幼穂形成期ごろから始まるが、出穂期が早い品種ほど感染しやすく、胚深くまで菌が侵入する。感染株の切り株には子嚢殻が形成される場合もあり、罹病株中に存在する菌糸により越冬できることも報告されている（Nyvall et al., 1968）。前年ばか苗病が多発した圃場で直播栽培を行った場合は感染リスクはあるものの、移植した苗には感染できないことから、土壌伝染の影響は考えなくてもよいであろう。

### III 防除技術

#### 1 健全種子の確保

前述したようにばか苗病は、その発病によって収量が著しく減少することがなく（鈴木ら，1987）、種子消毒剤が卓効を示したことにより、育苗期および本田での被害が見られなくなり、本田防除剤の開発は行われていない。そこで倉内ら（2011）および鈴木ら（2013）は本田防除剤としてフェリムゾン・フサライド水和剤をはじめとした薬剤の効果を調査した。試験によってはその効果が認められているものの、安定した効果が認められた薬剤は、現在までに見いだされていないのが現状である。そのため、健全種子を確保するための周辺圃場での発病苗の抜き取りが行われているが、抜き取り範囲は都道府県において個別に定められている。例えば、秋田県においては、ベノミル耐性ばか苗病菌の発生状況からその範

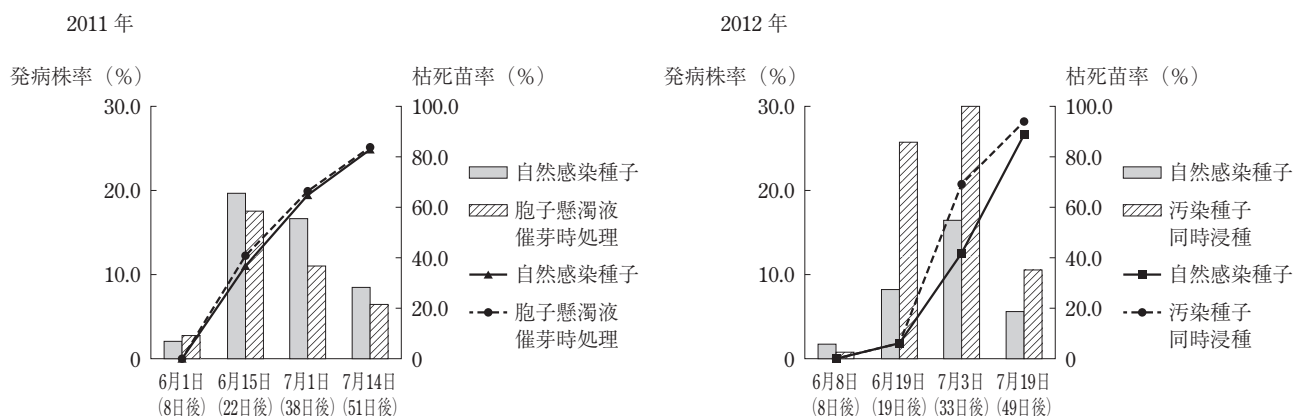


図-3 本田におけるばか苗病の発病推移

2011年は5月24日、2012年は5月31日に機械移植した。( )は移植後日数。

棒グラフは発病株率、折れ線グラフは発病株当たりの枯死苗率を示す。

胞子懸濁液催芽時処理は、 $5 \times 10^5$  個/mlの胞子懸濁液での催芽処理(30°C 24時間)により行った。

圃を 500 m と定めている。一方、孢子飛散距離については、畑中ら (2007) によれば種子への本菌の汚染は、多発圃場から 100 m までの間で急激な減少が見られること、伝染源が少ない場合の周囲株における保菌状況は、半径 2 m の間で大きく減少することを報告している。この結果から判断すると、孢子の飛散距離はそれほど長距離ではなく、伝染源が小規模の場合は、その影響は近接した範囲に限定されると考えられる。ばか苗病菌に感染した種子は塩水選によって選別できないことから (早坂, 2004)、健全種子を確保するためには、採種圃周辺には健全苗のみを移植し、もし周辺の本田で発病が見られた場合は、抜き取りによる物理的防除を徹底する以外に方法はない。

## 2 種子消毒

本病を発生させないためにも種子更新により健全種子を確保し、適切な種子消毒を行うことが極めて重要であり、ばか苗病の発生には種子消毒の変遷が大きく影響している。箱育苗が普及してばか苗病が全国的な問題となっていた 1970 年代に登場したベノミル剤は、いもち病に対して卓越な効果を示すだけでなく、ばか苗病に対しても高い効果を示した。ベノミル剤の普及に伴って、ばか苗病の発生はほとんど見られなくなったが、1980 年代に入ってから、ベノミル剤に耐性菌が各地で発生した (小川・諏訪, 1981; 北村ら, 1982)。その後エルゴステロール生合成阻害 (EBI) 系の化学合成農薬が登場することでばか苗病の発生は沈静化し、現在では最も安定した種子消毒効果が得られる技術となっている。一方で今から 20 年ほど前に減農薬や無農薬栽培に対応できる技術として、温湯消毒や生物農薬 (微生物防除資材) を利用した実用的な種子消毒技術 (早坂ら, 2001; 熊倉ら, 2003) が開発された。これら技術は、減農薬特別栽培や有機栽培を先駆的に取り入れた農家、グループ等に導入され、その後は一般の農家にも広く普及する結果となった。しかしながら、これら消毒技術の効果は、化学合成農薬に比べて不十分なため、しばしば、育苗施設において種子伝染性病害が多発し、大きな問題を引き起こした。当初は、病原菌に高度に汚染された自家採種種子の利用が原因である事例がそのほとんどであったが、種子更新を行っても発生する農家もあった。その後、その原因は後述する種子予措環境が大きく影響していることが明らかとなった。ここでは、各種子消毒法についてその実施方法を中心に解説する。

### (1) EBI 系化学合成農薬の利用

現在最も安定した防除効果が得られる種子消毒法であるが、その効果を十分に引き出すためには留意する点が

いくつかある。使用方法としては、浸漬、粉衣、塗沫といった処理方法があるが、いずれも種子に有効成分を十分に浸透させることが最も重要である。薬液は必ず水温 10~15℃ の水で調整し、編み目の粗い袋に種子を入れ、投入時にはよくゆすって、種子に薬液が行き渡るようにする。大量種子消毒器によって消毒された種子を使用する場合も、消毒後種子に浸透・付着した薬剤が浸種から催芽の間、持続的に効果を示すため、浸種開始から 3 日間は水交換をせず、その後も必要以上の水交換は極力控える (2~3 回程度) ことが重要である。

一方、これら製剤のうちプロクロラズ乳剤については、韓国において耐性菌が発生したとの報告がある (PARK et al., 2009)。耐性菌はプロクロラズを分解する能力を持つ菌で、他の EBI 剤に置き換わったことにより韓国における発生は沈静化しつつあるようである。また、EBI 系の薬剤は、ジベレリンの生合成を阻害することから、感染していてもばか苗病の特徴である徒長が顕著にならないことがある。これまでは育苗箱に発生した徒長苗を抜き取ることで、本田での発生を回避できたが、育苗期間中から本田にかけて、次々と発生し、抜き取っても、また発生する現象が多くなっている。この原因と前述した本田での発病株の発生が遅くなっている原因に EBI 系薬剤の普及が関与している可能性が考えられる。

### (2) 温湯消毒の利用

温湯消毒は 60℃ で 10 分間、種子を温湯に浸漬することで種子に存在する菌を死滅させる技術である。化学合成農薬は消毒後も浸透した薬剤によって持続的に殺菌が行われるが、温湯消毒には消毒後の残効性がなく、消毒後、ばか苗病菌に接触すると発病が著しく増加、無消毒の場合よりそのリスクは高くなる (鈴木, 2017)。また、病原菌に侵された種子では、菌が玄米まで侵入していることがあり、その場合は期待した効果を得ることができない。これらを守るため、ばか苗病菌に汚染されていない健全種子を利用することが重要である。また、消毒前に使用した容器、パレット等には病原菌が付着している可能性があるため、温湯消毒後の種子を戻さない。また温湯消毒種子では、水交換を頻繁に行い、病原菌が種子に接触する機会を極力少なくし、再感染のリスクを減らすことが極めて重要である。

### (3) 生物農薬の使用

病原菌よりも先に種子に定着することで、病原菌の侵入を抑えるのが主な効果発現メカニズムである。浸種~催芽時の浸漬処理が一般的であるが、有効成分となる微生物をきちんと定着させることが必要のために、催芽温度は 30~32℃ に保ち、ハト胸状態まできちんと催芽さ

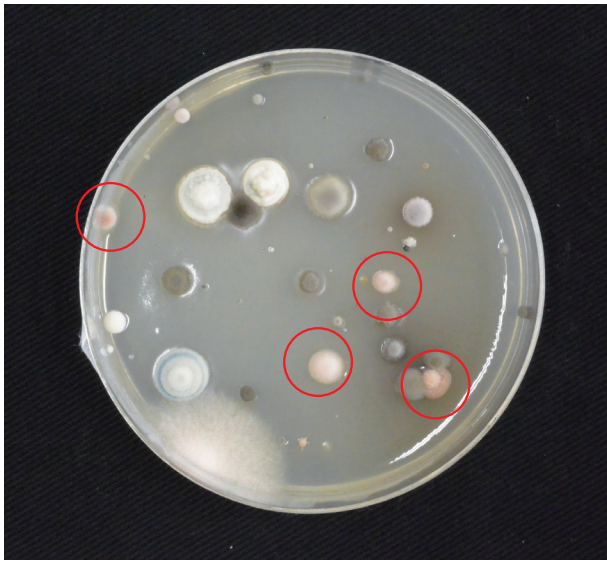


図-4 作業場で曝露した培地に形成した菌そう  
赤丸はばか苗病菌様の菌そうを示す。

せることが重要である。ビニールハウスなどに並べて出芽させる場合は、1週間程度で緑化期に移行できるような温度管理をして、有効成分である微生物を十分に増殖させることが重要である。

### 3 伝染源としての種子予措環境の汚染

本田でばか苗病を発生させた農家では、種子予措を行う作業場に存在する籾殻や乾燥調製後の籾すりで発生する米ぬかや粉じん等にばか苗病菌が存在することが明らかとなっている(図-4)(藤ら, 2015; 鈴木・宮野, 2017)。また、ばか苗病に汚染された施設では、化学合成農薬で消毒を行っても、施設内に存在する菌の侵入によって期待すべき効果が得られない場合も考えられる(藤・工藤, 2016)。したがって、ばか苗病を発生させないためには種子消毒だけでなく、種子予措を行う作業環境の衛生管理も重要である。また、育苗ハウスの土壌からは検出されていないが(鈴木・宮野, 2017)、育苗土の軽量化に

利用されている米ぬかやばか苗病菌が死滅しなかった未熟燻タンを使用すると、発病することがあるので使用にあたっては注意が必要である。

### おわりに

主要農作物種子法に基づいた健全種子の安定生産・供給は、水稻の種子伝染性病害の発生を未然に防ぐうえで非常に重要なことであった。本法律が平成30年4月1日をもって廃止されることで、水稻の種子供給に民間が参入することとなる。ばか苗病の発生は収量に大きく影響しないものの、ばか苗病菌の汚染の有無は、種子を評価するうえでのわかりやすい指標になるものと考えられる。ばか苗病の防除の視点だけでなく、健全種子がこれまでと同様に農家に安定供給されることは、水稻の安定生産においては極めて重要であるので、今後も安定した種子の供給体制が続くことを期待したい。

### 引用文献

- 1) 藤 晋一 (2013): 植物防疫 67: 223~227.
- 2) ————ら (2015): 秋田県大ウエブジャーナル B2: 181~186.
- 3) ————・工藤 学 (2016): 同上 3: 200~205.
- 4) ————・佐々木南海 (2017): 同上 B4: 153~157.
- 5) 畑中教子ら (2007): 北日本病虫研報 58: 25~29.
- 6) 早坂 剛ら (2001): 日植病報 67: 26~32.
- 7) ———— (2004): 北日本病虫研報 55: 43~44.
- 8) 逸見武雄ら (1931): 植物病害研究 1: 97~109.
- 9) 金田尚也ら (2011): 日植病報 77: 209 (講要).
- 10) 北村義男ら (1982): 同上 56: 134 (講要).
- 11) 熊倉和夫ら (2003): 同上 69: 393~402.
- 12) 倉内賢一ら (2011): 北日本病虫研報 62: 205 (講要).
- 13) NYVALL, R. F. et al. (1968): Phytopathology 58: 1704~1707.
- 14) 越智昭彦 (2017): 植物防疫 71: 443~447.
- 15) 小川勝美・諏訪正義 (1981): 北日本病虫研報 32: 160 (講要).
- 16) PARK, W. S. et al. (2009): Res. Plant Dis. 15: 94~100.
- 17) 佐々木次雄 (1987): 東北農試研報 74: 1~47.
- 18) 鈴木穂積ら (1987): 北日本病虫研報 38: 26~28.
- 19) 鈴木智貴ら (2013): 宮城古川農試報 11: 77~84.
- 20) ————・宮野法近 (2017): 同上 12: 67~72.
- 21) ———— (2017): 同上 12: 73~80.
- 22) 渡部 茂 (1980): 岩手農試研報 22: 31~54.