

特集 ウイルスとたたかう農畜水産**植物ウイルスを知れば利用してみたくなる！**

北海道大学大学院農学研究院

増田 税

コロナウイルスの世界的なパンデミックによってウイルス病の恐ろしさを我々は知ることになった。それと同時に、「ウイルスなるもの」について、具体的なイメージを各人が持つようになったのではなからうか。ならば、「植物にもウイルスがいる」と聞いた時に、いったい何を想像するのだろうか。このウィズコロナの時期に、植物ウイルスの話をするのは、人間のウイルスとの対比の上で、植物ウイルスを知ってもらいたいチャンスだと筆者は考えている。

植物においても、ウイルスはやはり一義的には悪玉である。農作物のウイルス病は時として、大きな減収をもたらし、収穫物の品質を劣化させる。感染植物は、萎縮し、葉や花は奇形となり、ほとんど果実をつけないか、つけたとしても売り物にならない。一方、ほとんど病徴を出さないウイルス感染もあり、その場合は、普通に気づかれないままスーパーの棚に並んでいる。例えば、ニンニク、アスパラガス、イチゴやジャガイモなどの栄養繁殖性作物には外見上強い病徴を出さないウイルスが入っていることは普通である。ブドウや柑橘類などの果樹もまた同様である。そうしてみると、我々は日常的に植物ウイルスの潜んだ農作物を口にしているわけで、植物ウイルスは動物ウイルス以上に身近な存在と言えよう。

作物の苗にわざわざ病徴を出さないウイルス（弱毒ウイルス）をあらかじめ人為的に接種しておく場合がある。そもそも弱毒ウイルスとは、いわゆる「弱いウイルス」ではなく、病気をほとんど出さずに植物に感染するもので、感染植物体中で相当量増殖する。干渉効果という人間のワクチンによる免疫誘導のような現象によって、強毒ウイルスの感染を防ぐ目的で農業上実際に利用されている。これをわざわざ苗に「植物ワクチン」として接種して野菜を生産するケースもあり、例えば、買ってきたトマトやピーマン、さらにはウリ科作物に弱毒ウイルスが含まれていることも珍しくない。

弱毒ウイルスが病気を出さないといえども植物体内で増殖する以上は、植物に何かデメリットがあるだろうと普通は想像する。しかし、現実には感染植物が耐冷性などのストレス耐性を獲得することも多く、さらには植物に含まれる栄養素や機能性成分の向上がしばしば観察される。つまり、その植物を食べる人間にもメリットがある。例えば、弱毒ウイルスに感染したトマトはビタミン C 含量が上がる。ナガイモにいる弱毒ウイルスは、ねばねば成分をあげて「とろろ」をおいしくしてくれる。では、弱毒ウイルスはなぜ弱毒なのか。実は、弱毒ウイルスでは RNA サイレンシングサプレッサー (RSS) が壊れているのだ。植物のウイルス抵抗性の主役である RNA サイレンシングに対抗するために、多くのウイルスは RSS を生産する。

しかし弱毒ウイルスは、欠陥 RSS を持つために感染植物で強い病気をださないまま、増殖する生き残り戦略を見つけ出したのだ。

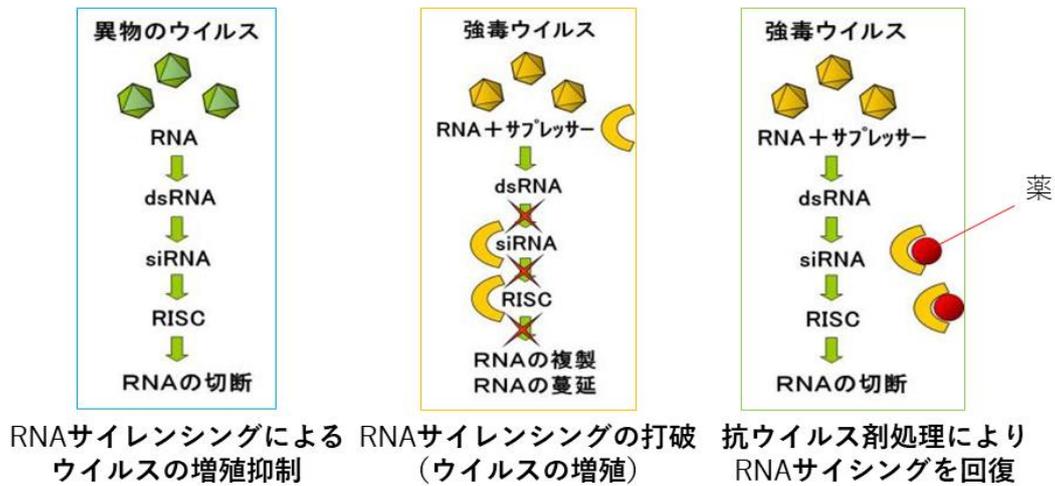


図 1 強毒ウイルスの RNA サイレンシングサプレッサー (RSS) を標的とする薬剤を探索
RNA サイレンシングサプレッサーに薬が結合して、siRNA に RSS が結合するのを阻害する。

筆者は、植物ウイルスの抗ウイルス剤を開発しようとして、RSS に目をつけた。RSS に結合する化合物をみつけて植物に与えれば、強毒ウイルスは弱毒ウイルスに変身するのではないかと考えた (図 1)。数千種の化合物をスクリーニングした結果、多くのウイルスの RSS に結合する化合物をいくつか見いだした。その中にあったのが、ビタミン C にそっくりな化合物で、いっそのことビタミン C そのものが抗ウイルス剤にならないかと考え、それを検証する研究を行った (図 2)。ビタミン C は昔から風邪に効くという話があり、抗ウイルス剤として農薬にできるかもしれないと期待をかけた。その後、圃場に散布する抗ウイルス剤として開発できないか研究を積み重ねたが、野外での散布には降雨や気温などの影響が大きく、効力に限界があり、農薬としての実用化までには至らなかった (安全なビタミン C をわざわざ農薬にする必要もないのだが)。しかし、ウイルス感染植物からウイルスを除去する常套手段の茎頂培養という技術には、農薬としてではなく培地成分の一つの試薬として、ビタミン C は使える。また、ビタミン C は茎頂組織の成長そのものにもプラスに働くことがわかり、現在は、茎頂培養によるウイルスフリー化に実用化されている。では、ビタミン C の内在性含量が多い植物が、ウイルス抵抗性の程度が高いという証拠はあるのだ

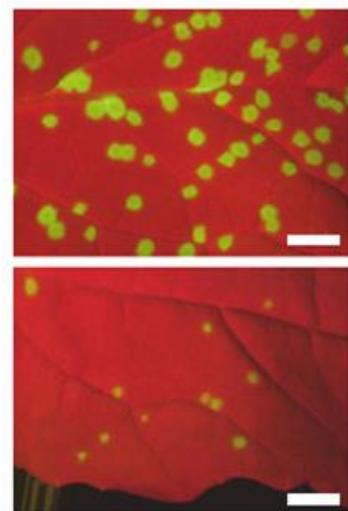
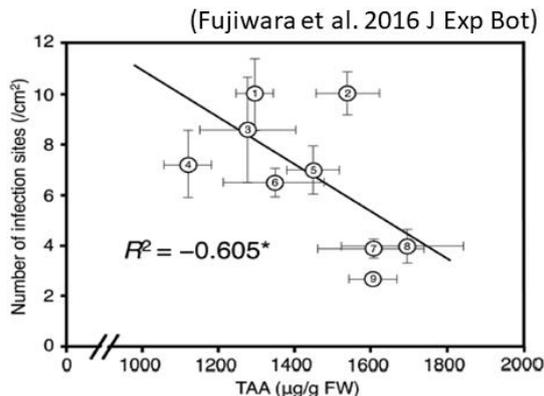


図 2 カブモザイクウイルスに対
するビタミン C 処理の効果
無処理のカブの葉 (上) と処理した葉 (下)。緑色の斑点がウイルスの感染点。

ろうか。実際に、カブのいくつかの品種の内蔵性ビタミンC含量とカブモザイクウイルス抵抗性との関係を調べたところ、高い負の相関が見出され、ウイルスに対して宿主植物はビタミンCを有効に利用している可能性が示唆された (図 3)。

茎頂培養によってウイルスフリーになった植物の成長は旺盛で、ニンニクなどでは収量が著しく向上し (図 4)、糖度が上がる。一方、ウイルスに感染したニンニクは小球になり、糖度は下がるもののアリシン (アリン) などの機能性成分が驚くほど上昇する (図 5)。すなわち、病徴の弱いウイルスに感染していたほうがその作物の栄養価が高い場合もある。滋養強壮のための機能性成分をニンニクから摂取するならば、ウイルス感染のものがよいということになる。一方、アリシン含量が高いニンニクは、辛く、食べた後に強いニンニク臭を放つ原因になることから、生産者の収益や消費者が美味しく食すことを考えれば、ウイルスフリーニンニクにメリットがある。ならば、人間は、植物ウイルスの性質を知りつくし、それをうまく利用することこそ食生活を豊かにできる道である。



(TuMV-YFPを接種)



総AsA量 (µg/gFW)	京の雪	雪姫かぶ	早生大蕪
	1280	1438	1603

図 3 カブ品種の内蔵性ビタミン C 量とウイルス抵抗性との関係

各丸印は品種 (上図)。カブモザイクウイルスの感染点は緑色のスポット (下図)。



図 4 ウイルスフリーニング (右) と感染ニンニク (左) の比較

ニンニクのアリシン含量

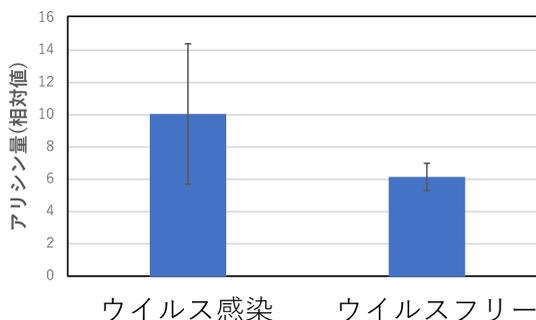


図 5 ウイルス感染ニンニクのアリシン含量は高い

最後に、茎頂培養によるウイルスフリー化について紹介する。ビタミン C 処理はウイルスを殺すことはできない。ウイルスの RSS に結合してその機能を抑制するだけである。前述のように筆者らは、ビタミン C を茎頂培養時に処理することによってウイルス除去の確率をあげることを考え、茎頂培養によるウイルスフリー化に応用することにした。茎頂培養は植物の成長点部分を 0.5 mm 以下で切り出して、組織培養する方法で、ウイルスフリー個体が高頻度に得られる。これは、茎頂部に侵入しているウイルス濃度が宿主の RNA サイレncing によって低レベルに抑えられているからである。ここに、ウイルスの RSS の阻害剤であるビタミン C を処理することは有効である。ビタミン C は多くのウイルスの RSS に結合できると考えられるため、様々なウイルスに対する汎用性も高い。図 6 にビタミン C のニンニク茎頂への処理方法の例を示した。また、図 7 にリーキ黄色条斑ウイルス (LYSV) に対する効果を判定するために行った定量 PCR の結果を示す。

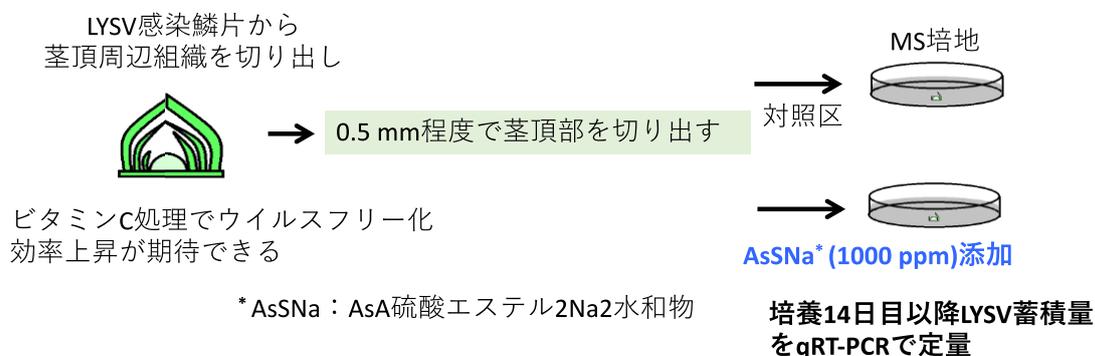


図 6 ニンニク茎頂断片へのビタミン C 処理の流れ

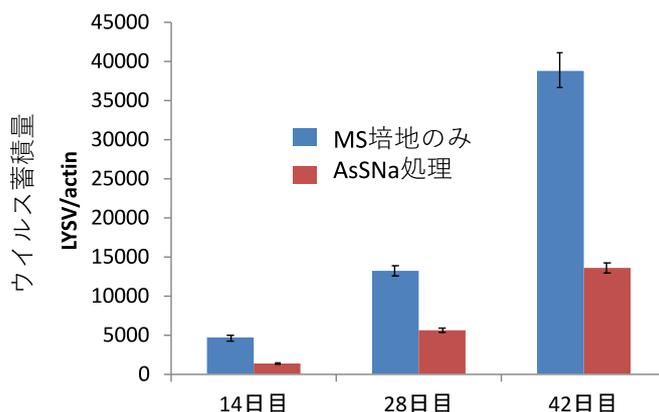


図 7 ビタミン C の茎頂処理による LYSV の阻害

日本のある食品会社は、トマトの苗に弱毒ウイルスをあらかじめ接種して、ウイルス感染予防のために、契約栽培のトマト農家に提供している。また、この苗は「ウイルスワクチン接種済み」と銘打ってホームセンターなどでも家庭菜園用に購入できる。このトマトは強毒ウイルスに感染しなくなるだけでなく、ビタミン C の蓄積含量が 1.5 倍～2 倍上がる

報告されている。これは単純な偶然なのだろうか。おそらく、植物は、自らビタミン C 含量を上げて、ウイルスに対抗する手段をもっているのではないか。我々は、植物が既にやっていることに学んで、ウイルスに対抗する手段を見つけることこそ最も賢いウイルス病対策の構築につながるのではなかろうか。