

以上述べたように新しいバイオインダストリーとして余剰農産物のいかなる種類の澱粉からも砂糖代替の異性化糖が生産できるので、今後農産物の条件によって世界各地で異性化糖が生産されて砂糖と競合するであろう。

6. 将来の展望

異性化糖の製造技術は異性化酵素も既に第三世代の高力価で生産性が従来の10倍のものが出現して、次第にこれに変わりつつあり、品質その他の点でも完成された段階に来ている。しかし、遺伝子工学の目覚ましい発展も含めて、この分野の技術革新は終ることなく前進するであろう。

特に期待されるものとしては、その原料にセルロースを加水分解したぶどう糖を開発することで、所謂木材糖化は過去50年以上にわたり研究されて来たものであるが、近年セルロース分解酵素の研究は一段と拍車がかかっているから遠からず実現するものと思われる。

また果糖とぶどう糖を結合して砂糖にする研究も各種の方法が研究されており、果糖とぶどう糖が砂糖よりも安価につくられるようになった現在、人類に最も親しまれた砂糖が澱粉からつくられるのも興味のあることである。

先端技術バイオテクノロジー (その2)

農水省農蚕園芸局畑作振興課課長補佐 中村 文夫

バイオテクノロジーの農業への応用

前号ではバイオテクノロジーの主要技術を紹介したが、それらの技術の展開により、農林水産業の分野に画期的なブレイク・スルー（技術の飛躍的な進展）がもたらされるものと期待されている。（図1及び表1参照）

次にバイオテクノロジーが、農業、畜産それに食品工業などにどのように応用されるであろうかみてみることにする。

1 農 業

＜育 種＞

農作物としての植物や家畜としての動物あるいは発酵などに用いる微生物などの遺伝形質の改良については、人類は古くから経験的に良いものを選抜（淘汰）することにより進めてきた。

そして、メンデル以後、遺伝現象を理論的

にとらえ、育種（品種改良）を技術化した。

しかし、それらは、自然界で発生することをあくまで人為的に手を加え目的に合うようにしてきたといえる。

ところが、遺伝子組換えや細胞融合などのバイオテクノロジーは、これまでの育種技術では克服が困難であった障壁を超える可能性を拓いてくれた。

例えば、細胞融合によって、これまで人為的に交配不可能だった作物から新しい雑種植物を作出することを可能にした。

前号で述べたとおり、西ドイツのマックス・プランク研究所のメルヒャース博士が作出した「ポマト」はこの細胞融合を用いたものである。

また、我が国でも日本専売公社（現日本たばこ産業株式会社）の研究所では、タバコの

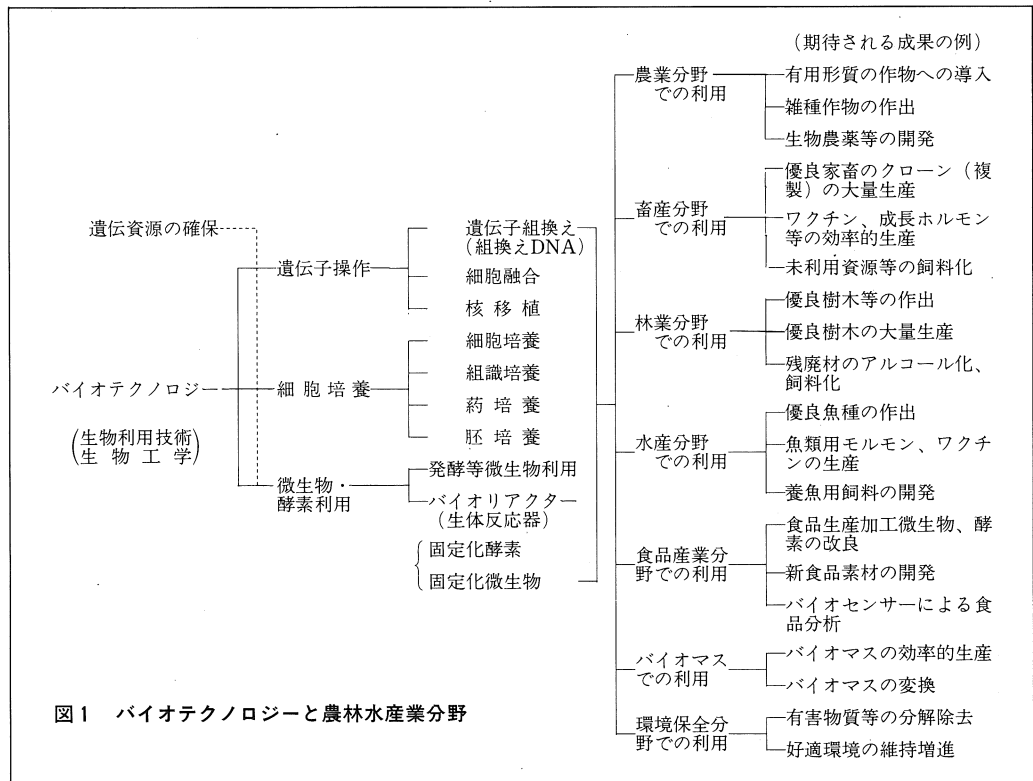


表1 農林水産分野におけるバイオテクノロジーの開発利用の展望

分 野 別		今 世 紀 中	2000 年 以 降
農 業	新品種等の作出	クローン植物種苗の大量生産(組培)、新作物の作出(薬培、胚培)、有用形質の作物への導入(ナス、アブラナ、セリ科等)(融合)	有用形質の作物への導入(イネ科等)(融合、組織)
	生物農薬等の開発	農業生産技術の革新(リアクタ)、天敵ウイルスの大量生産(組培)、改良微生物による生理活性物質等農薬生産の効率化(融合、組培)、天敵微生物の改良(組培)	天敵昆虫の改良(組織)
	窒素固定能の付与	藍藻類、細菌類の改良による作物への窒素供給(融合)、窒素固定菌の能力強化(融合、組培)	作物自体への窒素固定能の付与、(組培)
畜 産	優良家畜等の作出	受精卵移植、人工多胚技術による優良家畜の生産、クローン家畜の増産(核移植)	家畜等への優良形質の導入(組織)
	新ワクチン等の開発	微生物による成長ホルモン、ワクチンの生産(組培)	
	新飼料資源の開発	家畜疾病診断用モノクローナル抗体の作出(融合)、微生物による飼料添加必須アミノ酸生産の効率化(融合、組培)、微生物のたん白生産能の強化等未利用資源の飼料化(融合、組培)	飼料作物の新品種、新作物の作出(融合、組培)
林 業	優良樹木等の作出	優良樹木のクローン苗の大量生産(組培)	新食用きのこ等の作出(融合、組培)
	林産物利用の高度化	林産物の飼料化、アルコール化(リアクタ等)	劣悪環境生育樹木の作出(融合、組培)
	森林の環境保全機能の活用	他感物質利用による好適環境の維持	
水 産	優良品種等の作出	魚介類の優良品種の作出(融合)	魚介類への優良形質の導入(組培)
	魚類用医薬品の開発	優良海藻類の大量生産(組培)	
	養魚用飼料の開発	微生物によるワクチン、成長ホルモン等の生産(組培、組培)未利用、低利用資源の飼料化、クロレラ等藻類への優良形質の導入(融合)	
食 品 産 業	発酵、工程の効率化	微生物によるアミノ酸、糖類、核酸等の生産の効率化(融合、組培、リアクタ)	微生物等による未利用、低利用資源の新食品素材化(融合、組培)
	有用物質の生産の効率化	食用色素、香料等の生産の効率化(組培)	植物が生産する有用物質生産の効率化(融合、組培)
	品質評価等の技術向上	固定化酵素等を用いたバイオセンサーによる食品品質評価、管理技術の向上	

資料：農林水産省生物資源開発利用研究会「バイオテクノロジーによる生物資源の開発利用の推進について」(57年9月)により作成
注：表中(組培)とあるは組織培養、同様に(薬培)は薬培養、(胚培)は胚培養、(組培)は細胞培養、(融合)は細胞融合、(組培)はDNA、(核移植)は核移植、(リアクタ)はバイオリアクターの略である。

雑種植物の作出に成功しているほか、最近トマトの栽培種と野生種の細胞融合による雑種を作出し、しかも、その雑種植物に果実を実らせその種子から2代目の雑種植物を育成することも成功している。

さらに、昨年キッコーマンと農水省の果樹試験場では、共同研究でオレンジとカラタチの細胞融合による雑種植物（「オレタチ」）の作出に成功している。

ポマトの場合、地上部の実（トマト）と地下茎（ジャガイモ）の両方を充分に育てる（肥大させる）ことは困難といわれているが、細胞融合によりトマトにジャガイモの耐寒性を導入する可能性を拓いたといわれている。

また、専売公社のトマトの雑種やキッコーマンと果樹試験場のオレタチの場合、これらの植物種は交配によっても雑種植物を作出することも可能であるが、この細胞融合によって作出された雑種は交配したものとは異なり染色体（遺伝子）の数が2倍（ $4n$ ）になることや、異種の細胞質同志が入り混じることなどが遺伝的にどのような効果をあらわすか、注目されている。

一方、遺伝子組換えの植物育種への応用については、微生物のように実用化の域に達していないが、現在、TiプラスミッドとCAMV（カリフラワーモザイクウイルス）という二つの有力なベクター（遺伝子を別の植物細胞に組み入れるための担体）の研究が進められている。2年ほど前に外国でこの方法で感光性遺伝子の導入に成功したという報告もなされている。

ただ、植物の遺伝子については、その構造や発現機構などの基礎的な研究面で未解決なものが多く、これらの研究成果が待たれている。

この春の学会で、京都大学の研究者から葉緑体の遺伝子構造の解析に成功した旨の報告がされた。

遺伝子組換えは、耐病性や耐寒性などの有用な性質を導入する有力な手段として期待されている。

このほか、蒴培養、胚培養などの育種技術は育種年限の短縮化を可能にしており、イネや野菜の育種に活用されている。

胚培養では、すでに農林水産省の野菜試験場においてハクサイとカンラン（キャベツ）から「ハクラン」（すでに市場に出廻っている）の作出に成功している。

＜種苗の大量生産＞

植物には動物と異なり、一つの細胞から葉、茎や根が分化して、植物個体にまでなり得る性質を有している。

この性質を利用して、細胞を培養して組織（カルス）にし、さらにその組織を培養、分化させて、植物個体に成長させる組織（細胞）培養の技術が、最近特に注目されている。

この技術は、すでに洋ランやイチゴなどの生長点の細胞を培養してウィルスに侵されていないウィルスフリーの苗を生産するのに用いられているが、この技術は、大量の種苗が効率的に工場生産できることから、高価な花きや高品質の野菜を対象に活用されている。

さらに将来この培養技術は、人工種子（栄養分を含んだカプセルに胚を封入したもの）に用いる胚の生産にも使われるようなものとみられている。

＜薬効成分＞

現在、薬用ニンジン等の漢方薬の薬効成分（アルカロイド類）を得るのにニンジン等から抽出しているわけだが、その原料であるニ

ンジン等は農家はその圃場で、気象災害や病虫害から作物を保護し、かつ適切な肥培管理を行うことによって生産されている。

ところが、近年これらの植物の細胞とか組織の一部を切り出し、タンクの中で適当な栄養、酸素、湿度等を管理しながら培養し、その培養細胞から薬効成分を抽出することが実用化されつつある。

すでにあるプラントメーカーでは薬用ニンジンについて、その培養に成功しており、また化粧品メーカーではバイオ化粧品として口紅に紫根（ムラサキ）の培養細胞から得た色素を用いている。

また、前出の日本専売公社の中央研究所では「ユビキノン10」という心臓の薬をタバコの培養細胞から生産するのに成功しているほか、同研究所ではタバコの葉の細胞を大量に培養して、その培養細胞から水分を除去し乾燥しつつ、シート状に圧ぺんし、これを切りきざんでタバコの増量材に用いることも検討しているという。

＜生物農薬＞

かつてアメリカのレイチェル・カーソン女士の「サイレント・スプリング＝沈黙の春（邦題）」や有吉佐和子の「複合汚染」などで農薬公害が各方面から問われ、農薬の安全性や残留等が検討されてきた。

そこで注目され始めたのが、自然界の天敵の利用だった。しかし、この天敵利用も自然環境の変化や天敵の増殖などで今一つ普及に伸びなやんできた。

このほか、自然のメカニズムを巧く利用した防除が研究されている。

その一つは、昆虫のもつフェロモン（性誘引物質）を使って繁殖時に害虫をトラップで

大量捕獲しようというもので、そのフェロモンの生産にフェロモン分泌細胞の細胞培養や遺伝子組換えの活用が検討されている。

また、除虫菊等の自然界にある植物等がもつ殺虫成分の活用がある。これらの中にはすでに化学合成され、利用されているものもあるが、コスト等の面で組織培養等による生産も考えられている。

さらに近年、天敵生物のうち微生物（ウィルスを含む）の利用が検討されており、天敵微生物の発見と増殖の研究が進められ、一部には実用化が試みられている。

最後に、この分野では植物ワクチンの開発が挙げられる。人間や家畜の場合、ウィルス疾病を防ぐためにワクチン注射などを行い、その体内に抗体を生産させる方式がとられているが、この方法を植物にも応用できないかという着眼である。

植物には、ある種のウィルスの系統に侵されると他の系統のウィルスには感染しにくくなるという一種の干渉作用があるという。

そこで例えばトマトモザイク病のウィルスの中からトマトがあまり被害を受けない弱毒ウィルスを取り出し、これを予め健全なトマトの苗に接種しておけばモザイク病による被害を相当抑制できるというものである。

この弱毒ウィルスの生産に細胞培養や遺伝子組換えなどの技術の応用が考えられている。

＜窒素固定＞

植物は、窒素(N)、リン(P)、カリ(K)の3大肥料成分を吸収して光合成によって生育する。

特に窒素は植物体をつくる重要な肥料成分で、農家は多量の窒素肥料を田畑に施用している。

ところが、マメ科などの一部の植物は、そ

の根に共生する根粒バクテリアが固定した窒素を利用することができるため、比較的開拓地のような荒地でも生育できる。

そこで、この根粒バクテリアを他の植物の根に定着（共生）させるための研究が進められている。文部省の国立遺伝学研究所では、野生のイネの中から根粒バクテリアと共生するイネを見つけ出し、そのイネのもつ共生能力を細胞融合により栽培品種に導入するとともに、野生イネに共生する根粒バクテリアを遺伝子組換えにより、その窒素固定能を高める研究が進められている。

将来、この窒素固定能に関する遺伝子（nif 遺伝子）を遺伝子組換えにより、植物に直接導入することも考えられている。

このほか、土壌中の根の周辺に生息している微生物の中には、難溶性リンを分解する微生物が見つけれられており、農林水産省において、我が国では火山灰土壌のためリン欠乏現象が多くみられるので、これらの微生物を有効に利用する研究が進められている。

2 畜 産

<優良家畜の増殖と品種改良>

これまでに人類は、農作物同様に家畜についても野生動物を飼い馴らすとともに、その中から我々の目的に合った動物を選び出し、それらを交配することによって家畜の品種を作出してきた。そして、18世紀には優れた特質をもつ雄の遺伝的性質をできるだけ多くの雌に与えることによって優良な家畜を増殖するための人工授精技術を開発した。牛では世界的に凍結精液が普及している。

この技術は時間的、地理的な問題を解決し優れた特質をもつ家畜の生産に寄与してきた。

最近では、人間でいう「試験管ベビー」

に相当するいわゆる受精卵移植技術の実用化が進み、優良家畜の大量生産の見通しが高まっており、欧米では主に乳牛の品種改良に用いられているが、我が国ではむしろ乳牛や肉牛の生産拡大での利用が進められている。

その一つは、優良牛間の交配によって得られた受精卵をその分裂初期に二分割して、2頭の雌牛に移植（いわゆる「借り腹」）する方法で、いま一つは普通一産一仔である牛に、二つの受精卵を移植して人為的に双子を産ませようというものである。いずれも種畜牧場やその指導を受けた農家で成功している。

現在、優良な雌牛から多くの卵を排卵させる技術、受精卵を凍結させる技術、受精卵を分割する技術などさらに普及させるための技術開発が進められている。これらの技術は、家畜の系統作りにも大いに役立つと期待されている。また将来、家畜の育種ではすでにカエルなどの両生類で成功している核移植や遺伝子組換えを用いた優良家畜の改良が進められることになる。

<動物医薬>

すでに医学分野では、インターフェロンやワクチンの遺伝子組換えによる生産、モノクローナル抗体が用いたガン等の診断薬の生産などの研究開発が進められているところであるが、これらの研究成果はその多くが家畜衛生の分野で活用できるものである。

現にアメリカでは、一部の動物のワクチン（口蹄疫ワクチン）や抗生物質を遺伝子組換え等で生産し始めており、しかも今後その種類や量が確実に増えることが予想されていることや、すでに実用化されている細胞融合を用いて生産されたモノクローナル抗体の活用による家畜疾病の早期診断が普及しているな

どから、今後これまで大きな損害を出していた家畜疾病の予防が強化できるものと期待されている。さらに今後、遺伝子組換え等の技術を用いて家畜の遺伝、生理、病理等の基礎的な研究が進むほか、家畜の早期成長(肥育)を促進するための成長ホルモンの生産なども行われるようになるであろう。

＜飼料の開発＞

我が国では、粗飼料の一部や濃厚飼料（トウモロコシ、大麦、マイロ）の多くは外国からの輸入に依存している。

粗飼料については、反すう家畜である乳牛や肉牛にとってその確保が重要であるので、我が国では水田転換等で牧草や飼料作物の生産の拡大が進められている。

近年、この飼料生産に対して、ワラ等の農場副産物などの低利用、未利用のバイオマス資源を有効に利用するため、バイオテクノロジーが導入されようとしている。

すなわち、サイレージと同様にワラ等をある程度まで微生物に分解させ、家畜が消化しやすいようにするものである。

ここで、農林水産省が取り組んでいる「バイオマス変換計画」についてみると、ワラ等のほかシラカバやクマザサなどの生育が速く今まで十分有効に利用されていなかった地域に存在するバイオマス資源を、蒸煮爆砕したり、またキノコや微生物により家畜が消化できないリグニンなどを分解し、消化しやすくして、家畜の飼料に利用する研究開発が進められており、実験段階で成功している。

このほか、濃厚飼料に代わるものとして、未利用資源を栄養源にして微生物蛋白を生産しそれを飼料化する研究も進められている。

なお、SCPについて後述するが、東欧諸

国ではすでに家畜飼料として位置づけており、ソ連では年間70万トンのSCPが生産されているという。

＜SCP（微生物たん白）＞

かつて、SCP（シングルプロテイン＝微生物たん白）は、石油（ノルマルパラフィン）を炭素源として微生物をタンク内で培養したが、その中に発ガン性物質が含まれているということで、我が国では法的にその生産が規制されてきた。

しかし、SCPは、英国や西ドイツでは研究開発が進められ、メタノールなどを炭素源にする微生物が発見され、それらを遺伝子組換えによって効率的に増殖するように改良されているといわれている。このうち、英国ではすでに大型プラントでSCPの生産が進められているほか、東欧諸国へプラント輸出が行われている。また、同国のICI（インペリアル・ケミカル・インダストリー）社では、SCPは家畜や養魚用の濃厚蛋白飼料への利用を考えたとき、1980年代後半には年間100万トンの需要が見込まれると予測している。

一方、ソ連を初めとする東欧諸国では厳しい気候下で家畜の飼料を確保するため、SCPに注目しているといわれている。

我が国でも利用する微生物（菌体）や栄養源を十分考慮して、このSCPの生産を考え直す時期に来ているのではなかろうか。

3 食品工業

食品加工では、古代から酒、パンそれに味噌、しょう油などの食品に微生物が利用されてきたが、今後は遺伝子組換えや細胞融合により、これら発酵関連の微生物の能力を向上させ、効率的な食品加工が進められるようになる。

現に、糖やアミノ酸（調味料）などの多くは微生物を利用して生産されているが、食品メーカーでは、遺伝子組換えや細胞融合による微生物の品種改良に力を注いでいる。醸造メーカーでは酒の品質を低下させないようにキラー酵母の利用などの実用化も進めている。

さらに、異性化糖の生産のように固定化酵素を利用したバイオリアクター・システムが、この分野のバイオプロセス技術として積極的に開発されている。

農水省は、59年度から食品メーカーやプラントメーカーにより組織された「食品産業バイオリアクター技術研究組合」の共同研究開発に対して支援をしてきたが、同組合ではデンプン糖や食酢の連続生産システム等の成果を挙げている。

また、この固定化酵素を用いたバイオリアクターの応用例として、食品の成分分析に実用化されつつある「バイオセンサー」がある。

バイオセンサーは、特定の物質に反応する酵素を微小電極の先端に固定して、酵素反応を微小電流の変化としてとらえ、食品の鮮度や成分分析に利用しようというものである。

このほか、薬効成分と同じように組織培養による食用色素や香辛料の成分のタンク内生産についても研究が進められている。

4 エネルギーと環境

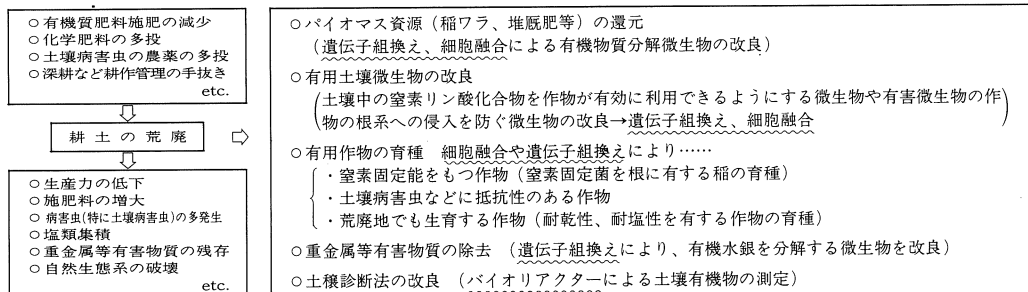
「バイオマス」という用語がある。これは植物が太陽エネルギーを光合成により固定して、無機物から有機物を生産するわけであるが、その植物体の量的集積をさし、生態学では「生物現存量」という訳が当てられている。

また、植物以外でも動物（その排泄物）や微生物が量的に集積されておれば、これをバイオマスと呼ぶ。因みに、石炭は植物バイオマスが、石油は微生物（プランクトン）が化石化したものといえる。さらに、このバイオマスは、別の見方をすれば生物の作り出した未利用、低利用の資源といえる。

さて、現在このバイオマスがバイオテクノロジーの進歩にともない、食糧、飼料、工業原料、それにエネルギーを生産する資源として、しかも再生産可能な資源として注目されている。

例えば、このバイオマス資源の一つであるサトウキビからアルコール発酵によりアルコールを年間 700 万キロリットル生産しているブラジルでは、このアルコールをガソリンに 20% 程度混入した「ガソホール」を実際に自動車の燃料として利用している。また、畜産廃棄物からメタン発酵によりメタンガスを取り、これを畜舎の暖房に利用しようという技術開発も進められているが、今後これを地域とか、畜産経営の中でどのように装置化、シ

図2 耕土の荒廃とバイオテクノロジー



システム化して利用するかが課題となろう。

地球上で年間17,000億トンのバイオマスが生産されているという。このバイオマス資源を積極的に活用するため、バイオリクターや微生物による効率的な変換技術の開発が進められている。

次いで環境についてみると、微生物のもつ有機物を分解する能力を遺伝子組換えにより

向上させ、廃棄物の分解や肥料化、さらには有機水銀の無機水銀化などが可能になるし、また富栄養化で問題になっている湖沼や養殖池などの浄化にも有力な手段となりうる。

最後に、近年問題となっている耕地荒廃にバイオテクノロジーが有力な手段になりうると考えられているが、試みに独断と偏見でその可能性を図2にまとめてみた。(次号に続く)

ポテト談義Q & A より

——第2回——

北海道大学農学部助教授 吉 田 稔

Ⅳ 生育

この項は生育全般を通じての生理生態的な質問だが、それらは研究に基く筆者独特の内容なので注目されたい。

でん粉価あるいはライマン価は馬鈴しょ生産者にとって最大の関心事でなければならない。生食用と加工食品用では14%以上、でん粉原料用では16%以上でなければならない(根拠は省略)。そして道内ではどの品種でも正常な栽培条件でこの価を超える。生食用で12%未満のものは出荷できず、でん粉原料用で14%未満のものは収量とみなされず、規格外の生食用で12%未満のものをでん粉工場に搬入するのは許されないことである。というような厳しさが現代農業では要求される。なぜかと興味をもてば、いもが肥大しながらでん粉が蓄積する仕組み、それに影響する各種要因、いもの内部のでん粉の分布、いもの大きさとでん粉の蓄積程度、それらの品種間差異など20年に及ぶ研究集積を披瀝できる。

「徒長抑制」とあるのは「7月に1mを超えて倒伏するのは良くない」と指摘したことに対する反応の一つで、第三者からみると

「多肥で過繁茂にしておいて倒伏防止の薬剤はないか」ということだから笑止というほかないだろうが、このような質問をする農家の大半は減肥をした上であることが分かった。農家は何年もかかって盛んな生育にし、実際に単収も上げてきたが、早期に倒伏して病害が蔓延しやすく、防除回数を年々ふやしていることに疑問をもつ者が多い。そこで減肥をするのだが、10aで8袋(1袋は20kg)を施肥した人が7袋へ、7袋が6袋へという減肥の程度ではほとんど差がないのである。筆者が開発した「生育診断技術」を利用すれば、道内の大半のは場は半分ないし3分の1に大量減肥できる。要領の一例をあげれば、40cmの茎長にあるべき第1花房が60cmの位置にあるようなら、半減しても十分である。それをコムギの徒長抑制剤に使う化学調整物質は効果があるか、ないのかという質問も出る。

馬鈴しょはどこまで穫れるのかという質問がある。これに対しては「現在の栽培方法で指摘したことを改善するだけで7.7tの単収になる」と「密植、肥大期間の延長、地力向上などで10tを超えるのも夢ではない」とい