

実用的な多年性コムギ作出へ向けて

Towards the production of commercial perennial wheat

岸 井 正 浩

(横浜市立大学木原生物学研究所)

はじめに — 多年性穀物の可能性 —

蓮沼先生記念号にあたり、先生が以前から研究を行なっているバイオマスとの関係が幾らかあることで、多年性コムギについての最近の知見や今後の展望について簡単に述べたいと思う。

三大穀物（イネ、コムギ、トウモロコシ）は全て一年生植物であるが、栽培イネ（*Oriza sativa*）はもともと多年性種（*O. rufipogon*）から分化したものであるし（Khush, 1997年）、トウモロコシ祖先種の近縁にも多年性種が存在する。このことは、穀物の栽培には一年生という形質が多年性形質より向いているということを示唆している。つまり、一年生植物が種子成熟期に殆ど全ての資源・栄養を種子生産に使用できることにより種子収量を稼げる一方、多年性である場合養分を根組織の維持やまたそこに蓄え次年度成長のためにまわす必要がある、それが多年性植物においての種子収量の減少に繋がると考えられる。また、多年性であるためには長期にわたり病害虫に対処しなければならず、一般的に多年性植物は一年生植物と比べてストレス抵抗性が広く高い反面、そのために利用される資源も無視できないのではと考えられる。多くのストレス抵抗性遺伝子の発現はアブシジン酸によって誘導されることが知られているが、アブシジン酸は一方で成長阻害を引き起こす。これらのことは、多年性穀物は一年生穀物を収量の点では凌駕できないという宿命を連想させるのに十分である。

しかしながら、多年性穀物が全く無価値であるとの見解も些か早計と思われる。人口増加に対して人類は穀物の生産性と耕地面積増加で対応してきているが、耕地面積に関しては今後新規に開墾可能な土地は殆ど無く、またその少ない土地も耕作困難な場所が多い（図1）。山間部は残された開墾可能な土地の一部だが、山地の開発は土壌流出による土地の荒廃に繋がってしまう。多年性植物は根を常時発達させているので（Gloverら、2010年）、多年性穀物を育成した場合土壌流出の被害は軽減されると予想される。また、アメリカ等では、平坦な土地でも一年生穀物収穫後、土壌が剥き出しになり引き起こされる土壌流出が大きな問題となっており、一年中根を土中に張り、またその長さや密度が高い多年性作物はその

問題点を克服できる方法とも考えられている (Gloverら、2007年)。一年性穀物に収量の点に関しては及ばなくとも、多年性穀物には活用できる場所が多くあると考えられる。



図1. 傾斜斜面でのトウモロコシ栽培 (メキシコ、ポサリカ付近)

バイオマス燃料への可能性

また、近年バイオマス燃料が注目を集めてきているが、多年性コムギをバイオマス燃料に利用することも考えられる。バイオマス燃料への変換効率は植物種によって違っており、現在までのところサトウキビの廃糖蜜やトウモロコシの種子でのみ市場的に採算がとれるバイオマス燃料が生産されているが、将来のバイオマス燃料として茎や葉等に存在するセルロースからバイオマス燃料を生産する技術が研究されている。穀物畑に目を向けてみると、コムギは世界各国で栽培されており、その際でてくる収穫後の残さは膨大な量にのぼる。また、コムギが多年性になった場合、茎や葉の部分を中心に年に何回か収穫することが可能と考えられ、より多くのバイオマス燃料の生産が期待できる。特に発展途上国等のインフラが発達していない場所において液体のバイオマス燃料が容易に入手できれば、自家用発電、農耕機械用等に広く活用でき、その生活向上に繋げることができる。

コムギへの‘多年性’形質導入は困難でなく、収量の確保が問題

パンコムギ (*Triticum aestivum*; ゲノム=AABBDD) は300種程からなるコムギ連 (Triticeae) に属しているが、コムギ連の大部分の植物種は多年性を示す (Dewey, 1984年)。代表的なものとしてオオムギ (*Hordeum*) 属、ハマムギ (*Elymus*) 属、ハマニンニク (*Leymus*) 属、ライムギ (*Secale*) 属、チノピラム (*Thinopyrum*) 属等があるが、コムギはこれら殆どの種と交雑可能で、多くの種間雑種が育成されてきている (Dewey, 1984年)。その中で明らかになってきたことは、一年生のコムギと多年性種を交雑した場合、F₁やその複2倍体 (F₁で染色体を倍加したもので、F₁では不稔なので複2倍体にする必要がある) では多年性形質が優勢になり、程度の違いはあるものの全てのF₁雑種は多年性になるということである (概説として、Coxら、2002年)。つまり多年性コムギの育成はさほど困難ではない。しかしながら、克服しなければならない別の大きな問題がある。それは多年性を示す複2倍体は親コムギと比べて収量が低下するということである。特に栽培二年目以降に大きな収量低下がみられ、このことが多年性コムギ実用化の大きな問題になっている (概説として、Coxら、2002年)。多年性形質関連遺伝子自体の収量への影響は定かではないが、野生種には収量を下げる多く因子があるため (それを野生形質というが)、収量低下が引き起こされる。つまり、実用的な多年性コムギ育成には、野生因子をなるべく取り除き多年性因子のみをコムギに導入する作業が必用となってくる。

多年性は量的形質

コムギと多年性野生種間のF₁雑種では多年性を示すが、ではいったい幾つの因子が多年性を発揮するための必用なのであろうか。コムギに野生種染色体を一对のみ付け加えた野生種染色体添加コムギ系統を用いた解析より、これまで解析された全ての添加系統では多年性野生種の染色体を一对添加しただけでは‘完全’な多年性は示さず、多年性形質は多くの遺伝子が関与する関与する量的形質であることが明らかになっている (概説として、Coxら、2002年)。その中で、*Thinopyrum elongatum* (2n=14=EE) 由来の4E染色体が添加された系統は、生育環境が良ければ多年生を示す部分的多年性形質があることが昔から知られていて、最近論文としても発表されている (Lammerら、2004年)。多年性形質は優勢に働くので、幾つかの染色体添加系統を組み合わせることによって、より完全な多年性形質を持つ系統を育成できることが予想され、今後そのような系統育成が必用と考えられる。ただし、野生種染色体には多くの野生形質が存在するため、多年性形質のみの小さい断片をコムギに導入した系統を作りだす必用がある。そ

して、このような多年性関連遺伝子の蓄積により実用的な多年性コムギ育成の道が開かれると考えられる。

*Thinopyrum elongatum*の4E染色体に存在する多年性因子の探索

このような背景のもと、唯一部分的多年性を示すことが報告されている4E染色体上に存在する因子の探索を試みている。4E染色体上のどの部分にその多年性形質が座乗しているかを決定するために、コムギと4E染色体間で組換えを起こし4E染色体の一部がコムギに導入された転座系統を多く育成している。コムギには*Ph1*遺伝子が存在し通常減数分裂時においてコムギ染色体と野生種染色体間での対合、組換えが抑えられている。しかし、この*Ph1*遺伝子が変異した*ph1*系統を用いると両染色体間で組換えを誘発することができる (Searsと Okamoto, 1958年)。まず、図2のように4E染色体添加系統に2回*ph1*変異体を交配し、*ph1*がホモになりさらに4E染色体が一本付け加わった個体を選抜した。この個体の減数分裂時に組換えが起こっているはずなので、その有無をゲノミック *in situ* hybridization法を用いて行なった。20個体を選抜したところ一個体において組換え染色体を見いだしている (図3)。今後、選抜する個体数を増やし、多年性形質を示すものを見つけていく必要がある。

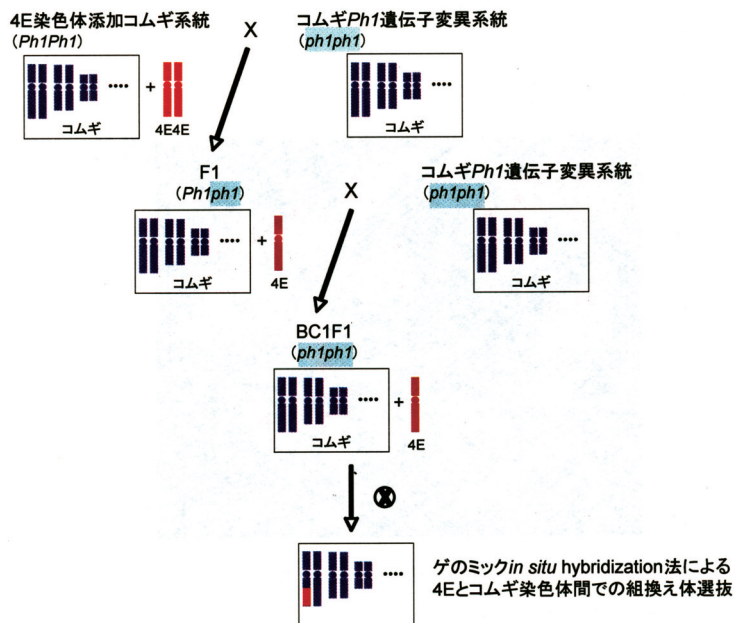


図2. コムギ*ph1*遺伝子変異体を利用したコムギ-*Th. elongatum*4E染色体組替え系統の育成

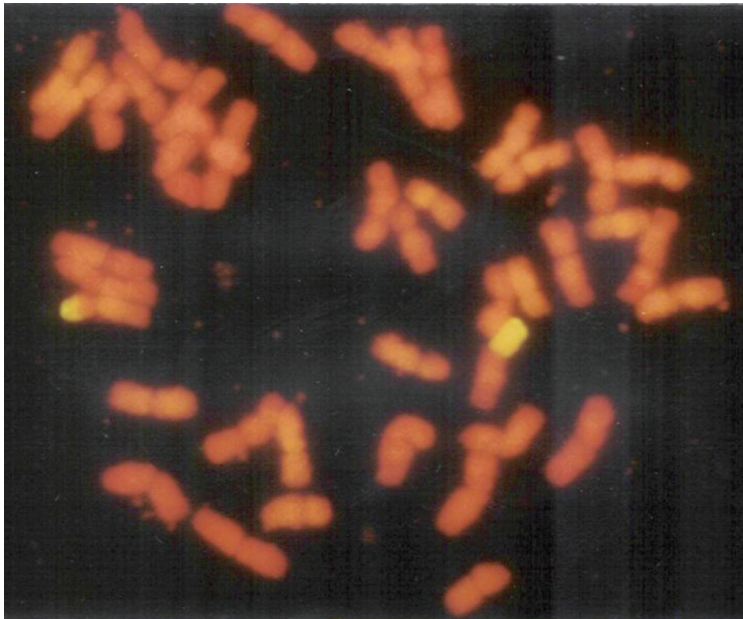


図3. コムギー*Th. elongatum* 4E染色体組替え系統。

黄色部分が*Th. elongatum* 4E染色体断片、赤色部分がコムギ染色体

他の多年性因子の探索

一方で、他の多年性因子探索のための研究を行っている。これまでに多くのコムギー野生種間のF1雑種や複2倍体、また野生種染色体が1対だけコムギに加わった染色体添加コムギ系統が育成されジーン・バンクに登録保存されているが、その中間体である野生種染色体が幾つか付け加わった系統は保存されていない。そこで、コムギー野生種間のF1雑種にコムギまたはコムギ*ph1*変異体を交配し図4のような系統を作成している。これまでにオオムギ属やハマニンニク属等とコムギの間でいろいろな複2倍体を作成されているが、その中でもチノピラム属がコムギに最も近いとされているので、この属に含まれる*Thinopyrum elongatum* とコムギ間での複2倍体を用いて実験を行なっている。今後育成している系統の中より多年性を示すものを選抜してゆけば、多年性を示す染色体のセットまたは染色体断片の組合せを決定してゆけるものと考えている。

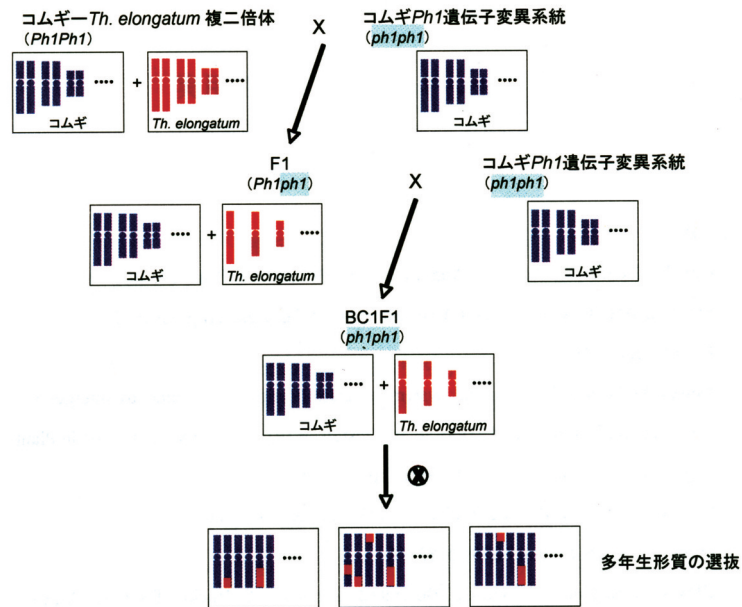


図4. コムギ-*Th. elongatum*複二倍体を利用した、多年性コムギ育成。

今後の展望

繰り返しになるが、実用的な多年性コムギを作出するにはある程度の収量を長期間にわたって維持できるものでなければならない。収量を下げる野生形質を如何に効率よく除けるかが成功の鍵ではないかと思われる。*ph1*変異体がコムギ・野生種染色体間で組替えを引き起こす効果はコムギと野生種の進化的距離が近い程大きいので、その点ではよりコムギの近縁種であるチノパイラム属植物種を活用していくことが得策であろう。最近ネパールのコムギ研究者より多年性コムギ育成についての打診があった。日本で育成された系統を実際の現場で評価することにより実用的な多年性コムギ育成が可能となるであろう。

引用文献

1. Cox TS, Bender M, Picone C, Van Tassel DL, Holland JB, Brummer EC, Zoeller BE, Paterson AH, Jackson W (2002) Breeding perennial grain crop. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21: 59-91.
2. Dewey D (1984) The genome system of classification as a guide to intergeneric hybridization with perennial Triticeae. In: Gustafson JP (ed) *Gene Manipulation in Plant Improvement*. Plenum Press, New York, pp 209-279.

3. Glover JD, Cox CM, Reganold JP (2007, August 1) *Scientific American*, Future farming: a return to roots? 279(2): 83-89.
4. Glover JD, Reganold JP, Bell LW, Borevitz J, Brummer EC, Buckler ES, Cox CM, Cox TS, Crews TE, Culman SW, DeHaan LR, Eriksson D, Gill BS, Holland J, Hu F, Hulke BS, Ibrahim AM, Jackson W, Jones SS, Murray SC, Paterson AH, Ploschuk E, Sacks EJ, Snapp S, Tao D, Van Tassel DL, Wade LJ, Wyse DL, Xu Y (2010) Agriculture. Increased food and ecosystem security via perennial grains. *Science* 328: 1638-1639.
5. Khush GS (1997) Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Mol Biol.* 35: 25-34.
6. Lammer D, Cai X, Arterburn M, Chatelain J, Murray T, Jones S (2004) A single chromosome addition from *Thinopyrum elongatum* confers a polycarpic, perennial habit to annual wheat. *J Exp Bot.* 55(403): 1715-1720.
7. Sears E, Okamoto M (1958) Intergenomic chromosome relationships in hexaploid wheat. In: *Proc 10th International Congr Genet.* Southam Printing Co., Montreal, Canada, pp 258-259.