

# 燕麥의 2倍體에서 6倍體로의 遺傳子의 移轉에 의한 研究

蔡永岩\*·李鍾一\*\*

## Proposal of Gene Transfer Scheme from Diploid (*Avena strigosa*) to Cultivar Hexaploid (*A. sativa*) in Oats

Chae, Y. A.\* and J. I. Lee\*\*

### ABSTRACT

A proposal of gene transfer scheme from diploid to hexaploid in oats was described. The main idea of this scheme are (1) use *Avena magna* which has two genomes partially in common with two genomes of the hexaploid *Avena sativa* or a common genome and the rest genomes partially common, and which lead to more regular pairing between them rather than AABB genome type to get 6x-amphiploid as a bridge between ploidy level. Cross between *Avena strigosa* and *Avena magna* is compatible and further give 42% seed set, (2) extract tetraploid derivatives which have incorporated desired genes from *Avena strigosa* to *Avena magna*, (3) Synthetic pentaploid provide 2n=21 chromosome number in female gametes, which lead to complete pairing or nearly so in progenies with *Avena sativa*, (4) eventually homozygous lines will be produced by selfing the heterozygous (regarding to A<sup>As</sup> genome) at final step.

### 緒 言

倍數性이 서로 다른 種간에 有用 遺傳子의 導入이 순조롭게 이루어 진다면 作物育種에 많은 어려움이 제거될 수 있다. *Avena strigosa*는 2倍體로 Crown rust에 대한 저항성을 가지고 있으며 6倍體인 *A. sterilis*는 rust에 대하여 저항성을 가지는 동시에 단백질 함량이 높다. 만일 이러한 유용 유전자들을 재배종인 6倍體 식물에 도입한다면 작물 육종에 크게 이바지할 수 있을 것이다. 그러나 2배체와 6배체는 서로 교배가 되지 않는다. 현재 *A. strigosa*가 가지고 있는 유용 유전자를 *A. sativa*(栽培種)에 이전 시키기 위

하여 合成種 異質 6倍體(6x-amphiploid)를 倍數 水準 사이의 교량 역할로 이용하고 있다.

2배체와 6배체의 교배에서 얻는 F<sub>1</sub>세대는 染色體의 pairing이 매우 복잡하고 單價染色體(univalent)의 比率이 높으며, 염색체수가 불안정하고 花粉의 發育이 매우 빈약하다(Forsberg and Shands, 1969; Forsberg and Wang, 1971).

*A. abyssinica* (2n=28, AABB)와 *A. strigosa* (2n=14, AsAs)와의 交雜에서 얻어진 F<sub>1</sub>을 倍價하여 얻어진 異質 6倍體의 게놈(genome) 구성은 AsAB이고 재배종인 6倍體의 게놈 구성은 ACD로 되어 있으므로 이들간의 교잡은 만족할만한 결과를 가져올 수 없음을 쉽게 이해할 수 있다.

\* 서울대학교 農科大學, \*\* 國立尙州農業專門大學

\* College of Agriculture, Seoul National University, Suweon 170, \*\* Sangju National Agriculture, Junior College, Sangju 123, Korea.

이 연구는 이러한 불리한 점을 극복하면서 2 배체의 유용한 유전자를 6 배체인 재배종에 도입할 수 있는 방법을 모색하고자 하는 것이다.

### 材料 및 方法

지금까지 알려진 유전적 사실에 근거하여 이를 바탕으로 2 배체에서 재배종인 6 배체로 유용인자를 도입시킬 수 있는 방법을 단계적으로 구분하는 동시에 각 단계를 점검할 수 있는 방법을 제시하였다.

현재까지 알려진 사실로는 (1) *A. strigosa* 는 As 계놈을 가진 2 배체이며 rust 에 저항성 인자를 가지고 있다. (2) *A. magna* 는 AC 계놈을 가진 새로 알려진 4 배체로 6 배체의 기원 식물로 추측되고 있다 (Rajhathy, 1971; Sadanaga et al., 1968). (3) *A. magna*, *A. strigosa*, *A. abyssinica*, *A. sativa* 사이의 교배에서 얻어진 계놈 구성과 染色體 pairing 은 表 1 과 같다. (4) *A. magna* 와 *A. strigosa* 및 *A. sativa* 와의 親和性은 表 2 와 같다. (5) 여러 가지 방법으로 이질 6 배체에서 4 배체를 얻을 수 있는데 예로서는 *A.*

Table 1. Frequency of Chromosome Association(after Ladizinsky; Rajhathy; Sadanaga et al.)

Cross	Genome	Pairing			
		I	II	III	IV
<i>A. magna</i> × <i>A. strigosa</i>	AsAC	13.64	2.35	0.72	0.12
<i>A. strigosa</i> × <i>A. magna</i>	AsAC	12.57	3.26	0.54	0.07
<i>A. abyssinica</i> × <i>A. magna</i>	AABB	13.75	3.93	1.64	0.21
( <i>A. magna</i> × <i>A. strigosa</i> ) <sup>2*</sup> × <i>A. sativa</i>	2* = doubled AsAACCD	6.51	10.81	2.05	1.55
<i>A. magna</i> × <i>A. sativa</i>	AACCD	8.10	7.77	1.67	1.17
<i>A. sativa</i> × <i>A. magna</i>	AACCD	9.64	8.58	2.04	0.43

Table 2. Cross-compatibility of *A. magna* with *A. strigosa* and *A. sativa* (Sadanaga et al. 1968).

Cross	Floret pollination	Seed set	%	Fertility (F <sub>1</sub> )
<i>A. strigosa</i> × <i>A. magna</i>	144	60	41.7	0
<i>A. magna</i> × <i>A. strigosa</i>	82	13	15.9	0
<i>A. sativa</i> × <i>A. magna</i>	200	62	31.0	0
<i>A. sativa</i> × <i>A. sterilis</i>	125	90	72.0	normal
Hexaploids* × <i>A. magna</i>	113	53	46.9	low

\*derivatives from interspecific crosses.

*abyssinica* 와 *A. strigosa* 에서 얻은 이질 6 배체의 高世代(A<sub>5</sub> 또는 A<sub>6</sub>)에서 安定된 4 배체를 얻을 수 있다 (Dalal, 1966). (6) 5 배체는 빈도는 낮지만 2n = 14와 2n = 21의 염색체를 가진 female gametes를 만든다. (7) 5 배체(AABCD)를 *A. fatua* (AACDD)에 여교배하면 빈도는 낮지만 2n = 42 염색체를 가진 6 배체(euhexaploid)를 얻을 수 있다 (Nishiyama, 1939). (8) 種間交雜에서 얻어진 6 배체와 *A. magna* 를 교배하면 5 배체를 얻을 수 있고 이 5 배체는 빈도는 낮지만 自家稔性を 나타낸다 (Sadanaga et al., 1968). (9) 形態의 特性이나 細胞學的方法으로 2 배체, 4 배체, 5 배체 및 6 배체를 구별할 수 있다.

### 結 果

지금까지 알려진 사실에 근거하여 2 배체의 유용 유전자를 6 배체에 도입시키는 과정은 다음과 같다.

과정 1 : *A. strigosa* (AsAs)와 *A. magna* (AAC) 사이에 교배를 하여 얻은 F<sub>1</sub>을 倍加시켜 이질 6 배체 (AsAsAAC)를 만든다.

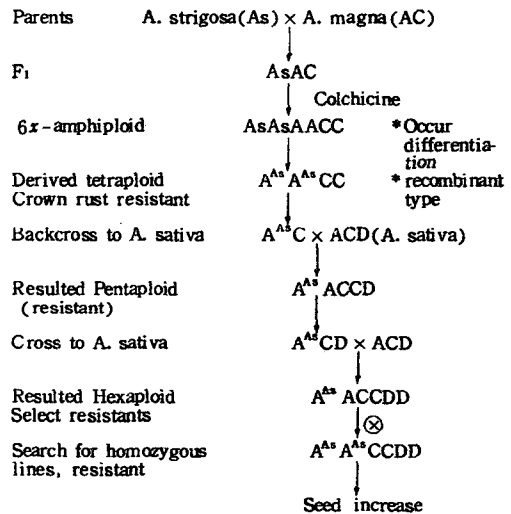
과정 2 : 4 배체를 추출하는데 여기에는 2 가지 방법이 가능하다. 첫번째 방법은 *A. magna* (AC)에 이질 6 배체 (AsAsAAC)를 교배하여 얻어진 5 배체를 *A. magna*에 戻交配한다. 계놈 구성이 AsAAC인 5 배체 후대를 조사하여 crown rust에 저항성을 보이는 2n = 28 염색체를 가진 4 배체를 찾는다. 저항성을 보인 4 배체는 *A. strigosa*가 가지고 있는 저항성 유전자의 전환에 의한 것이다. 계속해서 *A. magna*에 戻交配하여 가다가 自殖을 시키고 同質接合系統(homozygous lines)을 찾는다. 여기서 기대되는 것은 계놈 구성이 AAC<sup>As</sup>C<sup>As</sup>가 되는 것은 빈도가 극히 낮거나 기대하기 어려우나 A<sup>As</sup>A<sup>As</sup>CC의 계놈 구성을 가진 것을 얻을 수 있을 것으로 기대되며 이것은 2 배체인 *A. strigosa*가 가지고 있는 유용한 유전자가 4 배체인 *A. magna*의 A 계놈에 전입이 된 것을 의미한다. 이

것은 As 계능과 A 계능 사이에 어느 정도 相同性 (homology)이 있으므로 이들 사이에 接合(pairing)과 交叉(crossing-over)가 이루어질 수 있고 결국 새로운 組合(recombinant)이 기대될 수 있기 때문이다. A. magna가 crown rust에 저항성을 보인다는 예가 있지만 crown rust의 생리적 races나 biotypes에 의하여 구별할 수 있다. 두번째 방법으로는 합성된 이질 6배체를 世代進前 시키면서 crown rust에 저항성인 安定된 4배체를 얻도록 한다. 이에 대한 가능성은 Dalal (1966, 학위논문)의 보고에서 찾을 수 있다. 그는 A. abyssinica와 A. strigosa 사이에서 얻은 合成 이질 6배체로부터 2개의 安定된 4배체를 유도할 수 있었던 세포학적 기작(cytological mechanism)은 A. abyssinica와 A. strigosa의 A계능의 염색체가 分化되었고 이 分化는 정도가 약하여 이들 사이에 때때로 接合(pairing)이 일어난다고 결론지었다. 이와 같은 接合과 交叉는 이질 6배체의 後期 世代에서 4개의 완전한 상동염색체의 형성을 가능케 한다. 여기서 유도된 4배체의 어느 계능의 花분모세포는 4價, 3價 및 1價의 염색체를 보여주었는데 이것은 parents가 transition 상태에 있다는 것을 의미한다. 반면 자연적인 4배체는 단지 2가 염색체만을 형성하고 있기 때문이다. 이 사실은 또 A. abyssinica와 A. strigosa의 A계능 염색체가 分化되었음을 시사하고 있다.

과정 3: 얻어진 4배체 ( $A^{As}A^{As}CC$ )를 A. sativa (AACDD)에 戻交配한다. 여기서 나온 5배체는 빈도는 낮지만  $2n=14$ 와  $2n=21$  염색체를 가진 母配體體(female gamete)를 형성하게 된다. 염색체수의 불균형으로 인한 비정상적인 배우자의 선별을 고려한다면 교배 노력이나 시간에 도움이 되겠지만 이들 5배체에서 생산되는 花분의 양을 모르기 때문에 불가불 모체로 이용할 수 밖에 없다. 따라서 5배체와 6배체의 교배에서 5배체와 6배체가 형성된다. 여기서 나오는 6배체의 계능 구성은  $A^{As}ACCDD$ 가 될 것으로 기대된다. 이에 대한 증거는 빈도는 낮지만  $2n=14$ 와  $2n=21$  염색체를 가진 모배우자의 염색체수 조사에서 알 수 있다. 모배우자의 계능 구성은 알 수 없으나 아마도  $A^{As}CD(2n=21)$ 이거나  $AC(2n=14)$ 가 될 것이다. 계능 구성은 얻어진 後代들을 감수분열시 세포학적 연구나 核型分析(karyotype analysis) 및 形態學的 또는 crown rust에 대한 반응으로 알 수 있게 된다.

과정 4: Crown rust에 저항성을 보이는 6배체를 선별하여 自殖을 시키면 계능 구성이  $A^{As}A^{As}CCDD$ 인

homozygous lines을 얻을 수 있다. 이에 대한 기대비는  $1(A^{As}A^{As}CCDD) : 2(A^{As}ACCDD) : 1(AACCDD)$ 이 될 것이다. 동질접합 계통은 육종적으로 순수하거나(bred true) 거의 이와 비슷할 것이다. 지금까지의 문헌 조사에 의하면 A. abyssinica와 A. strigosa와의 교잡에서 얻은 이질 6배체 속에서 동질접합체를 고정시키는 것이 주요 문제가 되고 있다. 그러나 A. magna의 계능 A는 A. strigosa의 As 계능과 A. sativa의 계능 A와의 중간 형태이므로 6배체 수준에서 고정시킨다는 것은 가능할 것으로 본다. 지금까지의 과정을 도시하면 아래와 같다.



## 考 察

현재로서 새로운 4배체인 Avena magna의 육종적 행동은 잘 알려지고 있지 않다. 이 A. magna에 대한 지식이 보다 더 축적이 되면 여기에서 논의한 유전자 도입 구상의 효용이 증명될 것이다. 가장 어려운 기술적인 문제는 合成 이질 6배체로부터 4배체를 유도하는 것이다. 그러나 A. ventrigosa ( $2n=14, CC$ )와 A. strigosa ( $2n=14, AsAs$ ) 사이의 交配不合成을 고려한다면 A. strigosa의 계능 A 염색체는 C 계능보다는 A. magna의 A 계능 염색체와 더 잘 접합이 일어날 것이다. 따라서 합성된 이질 6배체의 高世代에서 어느 정도의 分化가 일어날 것으로 생각한다. 이 이질 6배체를 A. magna에 戻交配하면 As 계능과 A 계능 사이에 접합이 일어나고 또 교차가 일어나게 될 것이다. 결과적으로 C 계능보다는 As 계능과 A 계능 사이의 어느 정도의 상동성 때문에 새로

운 조합이 가능해 질 것이다. 5배체에서  $2n=14$  와  $2n=21$  염색체를 가진 모배우자의 빈도는 비록 낮으나 自家稔性인 것을 고려한다면 계놈 구성이  $A^{A^s}A$  CCD인 5배체에서  $A^{A^s}CD$  계놈을 가진 모배우자를 얻는다는 것은 그리 크게 어려움이 없을 것으로 본다.

본 유전자 도입 계획에 대하여 Iowa 대학의 유전학 교수로 계신 Sadanaga 박사는 이질 6 배체를 세대진전으로 이끌어가는 것보다는 이 이질 6 배체를 *A. magna* 에 戻交配하는 것이 보다 安定된 저항성인 4 배체를 얻을 수 있는 기회가 높을 것이라고 평하였다. 그러나 이것은 어디까지나 이론적인 구상이며 이에 대한 증명은 실제 실험을 통해서만 증명이 가능해질 것이며 기회가 있는 대로 이에 대한 것을 실험할 계획이다.

### 摘 要

연백의 2 배체가 가지고 있는 유용한 遺傳子를 栽培種인 6 배체에 도입시키는 이론적인 구상을 이미 알려진 사실에 기초하여 논의하였으며 이 계획의 주요 요점은 (1) 서로 다른 倍數 水準 사이의 교량 역할을 하는 異質 6 배체를 얻기 위하여 4 배체인 *Avena magna* 를 이용하는 것이다. 이 *A. magna* 는 6 배체 재배종인 *A. sativa* 와는 2 개의 계놈이 부분적으로 상동성을 가지거나 또는 하나는 공통적이고 나머지 하나는 부분적으로 공통성을 가지고 있기 때문에 AA BB 계놈 형태보다는 이들 사이에 보다 정상적인 접합이 이루어질 수 있기 때문이다. *A. strigosa* 와 *A. magna* 는 교배친화성이며 42% 이상의 稔實率을 보이고 있다. (2) *A. strigosa* 의 목적하는 유전자가 *A. magna* 에 도입되어 있는 4 배체를 선발하고 (3) 합성 5 배체는  $2n=21$  인 모배우자를 생성함으로써 *A.*

*sativa* 와 완전 또는 거의 완전한 접합이 이루어지게 된다. (4) 결과적으로는 마지막 단계에서  $A^{A^s}$  계놈에 대하여 이질성이지만 이것을 자식시키면 동질계통을 얻을 수 있게 된다.

### 引用 文 獻

1. Dalal, K.C.(1966) Cytogenetic of synthetic 6x-amphiploids of *Avena*. Ph. D. Thesis Iowa State Univ. 102pp. (Libr. Congr. card No. Mic. 67-2066)
2. Forsberg, R.A, and H.L. Shands(1969) Breeding behavior of the *Avena abyssinica* and *A. strigosa* amphiploids, *Crop Sic.*:9:64-67
3. \_\_\_\_\_ and S. Wang(1971) Cytogenetics of 6x-amphiploid A, *Sativa* F<sub>1</sub> hybrids, *Can. J. Genet. Cytol.* 13:393-397
4. Nishiyama, I(1939) Cytological studies in *Avena*. On the progenies of pentaploid *Avena* hybrids, *Cytologia* 10:88-100.
5. Rajhathy, T(1963) A standard Karyotype for *Avena sativa*, *Can. J. Genet. Cytol.* 5:127-132
6. \_\_\_\_\_(1966) Evidence and hypothesis for the origin of the C genome of hexaploid *Avena*, *Can. J. Genet. Cytol.* 8:774-779
7. \_\_\_\_\_(1971) The allopolyploid model in *Avena*, *Stadler Symposia* 3:71-88
8. Sadanaga, K., F.J. Zallinsky, H.C. Murphy and R.T. Smith(1968). Chromosome association in triploid, tetraploid and pentaploid hybrids of *Avena magna*, *Crop Sci.* 8:594-597.