

생육기일이 짧은 벼육종의 발전동향

송삼량, 허은향

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리 나라의 기후풍토조건에서 수확고가 높으면서도 비료를 적게 요구하고 생육기일이 짧으며 가물과 비바람, 병충해를 비롯한 여러가지 피해에 잘 견디는 품종을 얻어내야 합니다.》

현시기 농업과학연구부문에서 생물공학기술을 비롯한 현대적인 육종방법을 리용하여 소출이 높고 우리 나라 지대적 및 기후적특성에 적합하고 생산성과 품질이 우수하며 생육기일이 짧고 불리한 환경과 병해충에 잘 견디는 농작물들을 육종하는것은 중요한 문제로 나선다.

론문에서는 먼저 생육기일이 짧은 벼육종의 의의와 생육기일에 영향을 주는 유전적요인들에 대하여 고찰하고 올벼육종의 발전동향에 대하여 개괄하였다.

1. 올벼육종의 의의와 생육기일에 영향을 주는 유전적요인

1) 올벼육종의 의의

올벼육종의 의의는 우선 두벌농사를 진행하여 정보당 수확고를 높일수 있도록 한다는 데 있다.

부침땅면적이 제한되어있는 우리 나라에서 생육기일이 짧으면서도 높은 소출을 담보하는 올벼품종을 육종해내는것은 두벌농사를 진행하여 정보당 수확고를 높이기 위한 중요한 담보로 된다. 현시기 세계적으로도 공업화가 추진됨에 따라 농작물을 자래우는데 필요한 농경지면적이 계속 줄어들고있다.[6]

올벼육종의 의의는 또한 생육적산온도가 낮은 북부지대로 벼의 재배면적을 확대할수 있다는것이다.

벼(*Oryza sativa* L.)는 세계인구의 절반이상이 소비하는 주요알곡작물이다.[7] 2030년경에 가서 늘어나는 식량수요를 충족시키기 위해서 현재보다 40%나 더 많은 쌀이 필요할것이라고 보고있다.[17] 이로부터 많은 나라들이 벼생산을 늘이는 전략의 하나로서 북부지역으로 재배지역을 확장하여 벼의 총적인 재배면적을 늘이는 방향으로 나가고있다. 그러나 북부지역으로 올라갈수록 전형적인 짧은낮식물인 벼의 꽃피기 및 이삭패기에 적합하지 않은 낮길이연장 및 온도저하를 동반하게 된다.[7] 그러므로 낮은 빛주기감수성을 가진 빨리 여우는 올벼품종을 얻어내기 위한 연구가 광범히 진행되고있다.

식물의 생활고리에서 줄기끝분열조직이 영양생장으로부터 생식생장으로 빨리 이행하게 하는것은 올벼육종에서 아주 중요한 단계로 된다.[20] 그것은 이러한 이행이 식물이 후대를 남기는데서 필수적이기때문이다. 벼에서 이러한 변화의 조절은 결국 꽃피는 시기의 조절에 귀착된다. 꽃눈분화날자는 서로 다른 재배지역 및 재배계절에 대한 식물의 적응에서 관건적인 유전적특징이다.[20] 벼는 짧은낮식물로서 벼의 이삭패기는 짧은낮길이에 의해 촉진된다. 낮길이에 대한 응답과 기본영양생장기간은 벼에서 꽃눈분화시기를 결정한다. 그러므로 꽃눈분화날자의 조절은 벼육종에서 중요한 대상이다.[20]

2) 꽃눈분화와 관련된 양적형질유전자들이 생육기일에 미치는 영향

벼의 분포와 생산성을 결정하는 가장 중요한 농학적형질의 하나인 벼의 꽃눈분화날자는 유전적 및 환경요인의 영향을 둘 다 받는다.[7] 유전학적으로 벼 품종들의 꽃눈분화날자는 벼의 빛주기감수성꽃피기경로에 관여하는 몇 가지 유전자들과 양적형질유전자(Quantitative trait locus: QTL)들의 대립유전자조합에 의하여 정해진다.[22]

Hd1(Heading date 1)은 애기장대속(*Arabidopsis*)의 *CONSTANS* 유전자(*CO*)의 상동유전자(ortholog)로서 짧은낮조건에서는 꽃눈분화를 촉진시키고 긴낮조건에서는 저해한다.[20] *Hd6*은 긴낮조건에서는 꽃피기저해에 관여하는데 단백질кина제CK2의 α 아단위를 암호화한다. 벼의 *Hd3a*(Heading date 3a)는 꽃피는 시기에 애기장대속과 유사한 발현수준을 나타내며 꽃피기유도인자의 기능을 수행한다.

Ehd1(Early heading date 1)은 짧은낮조건에서 꽃피기를 촉진하고 B형응답조절단백질(B-type response regulator)을 암호화한다. *Hd5*(Heading date 5)는 긴낮조건에서 꽃피기를 저해하며 CCAT-box 결합단백질(CCAT-box-binding protein)의 추정아단위(putative subunit)를 암호화한다.[20] *Lhd4*(Late heading date 4)는 긴낮조건에서 꽃피기저해에 관여하는데 CCT 모터프단백질을 암호화한다.

유전적 및 배열결정분석의 정보를 결합하여보면 *Hd1*, *Hd5*, *Hd6*, *Ehd1*, *Lhd4*와 같은 특정한 QTL들에서 기능결실 및 획득에 관여하는 대립유전자조합이 벼에서 빛주기성꽃피기변화를 일으킨다[20]고 보고있다.

긴낮식물(long-day plant)인 애기장대(*Arabidopsis thaliana*)와 달리 벼는 보존된 독자적인 빛주기성꽃피기경로를 가진다.[22] 보존성 *Hd1* 경로에서 *Hd1*은 두 가지 꽃피기촉진호르몬 유전자들인 *Hd3a*와 *RFT1*(Rice Flowering Locus T1)의 발현을 짧은낮조건에서는 촉진시키고 긴낮조건에서는 억제한다.[30] 독자적인 *Ehd1*의존성경로에서는 *Ehd1*은 긴낮, 짧은낮조건에서 *Hd3a*와 *RFT1*의 발현을 활성화시킨다. 한편 *Ehd1*의 발현은 다중활성화인자들인 *Hd17*(Heading date 17), *DTH3*(Days to heading on chromosome 3)과 억제인자들인 *Hd2*, *Hd4*, *Hd5* 및 *Hd16*의 조절을 받는다.[4, 8, 12, 21, 27-29]

빛합성에 의한 식물의 동화능력이 제한되어있으므로 수확고가 높은 품종은 긴 생육기일을 요구한다.[14, 19] 한편 올품종들은 늦종에 비해서 생육기일이 짧으므로 일반적으로 수확고가 낮다.[9]

반난쟁이작물들인 《IR8》, 《IR20》, 《IR24》, 《IR26》은 당대시기 높은 수확고증가를 기록하였지만 160일이상의 생육기일을 요구하는 품종들이었다.[10, 24] 1970년대 후반기 일부 나라에서 상업화된 1세대잡종품종들(《Shanyou1》, 《Shanyou2》)은 주목할만 한 수확고증가를 기록하였지만 생육기일이 오랜것으로 하여 알곡생산주기를 빠르게 하는데서 제한을 받게 되었다.[10, 24]

벼 품종가들은 한해에 여러번 수확하는 올벼품종을 만들어내기 위하여 많은 노력을 기울여왔다.[9] 한 연구자는 새로운 올종회복계 품종과 2개의 유도잡종품종들을 얻어냈는데 이 품종들은 한해에 두번 수확할수 있다.[15] 국제벼연구소에서는 1976년에 생육기일이 110일 되는 《IR36》을 내놓았으며 그후 생육기일이 105, 100일 되는 《IR50》, 《IR58》을 내놓았다.[10]

생육기일이 짧으면서도 수확고가 높은 올벼품종을 얻어내기 위하여 생육기일단축에서 관련적인 꽃눈분화와 관련된 많은 유전자들이 밝혀졌다.

한 연구집단은 생육기일을 조절하는 주동유전자인 *Ef-cd*(Early flowering-completely dominant)의 위치클론화를 진행하고 *Ef-cd*의 자연적변화가 수확고와 생육기일사이의 모순을 극복하는데 리용될수 있다는것을 증명하였다.[9]

수성불염계(male sterile line)인 6442S-7에서 발견된 *Ef-cd* 유전자는 3번염색체의 짧은 팔에 위치하고있는데 *OsSOC1* 유전자와 겹치는 비암호RNA(long noncoding RNA: lncRNA)의 반의미전사를 일으킨다.[9] *Ef-cd* RNA의 발현은 *OsSOC1*의 발현 및 *H3K36me3* 루적과 정의 상관관계에 있다는것이 밝혀졌다.

각이한 위도지역에서 올종*Ef-cd*준동질계통(Near Isogenic Line: NIL)과 야생종 및 유도올종잡종품종과 야생형잡종의 포전비교시험을 진행한 결과 *Ef-cd* 대립유전자가 수확고를 감소시키지 않고 생육기일을 7~20일 앞당긴다는것이 증명되었다.[9] 올종준동질계통과 야생형품종들에 대한 $^{15}\text{N-NO}_3^-$ 와 $^{15}\text{N-NH}_4^+$ 시비실험결과 *Ef-cd*는 질소동화률과 빛합성효률을 높인다는것이 밝혀졌다.

1 439개의 우수한 잡종품종들을 분석하여 *Ef-cd*를 가지고있는 16개의 같은형접합체와 299개의 다른형접합체가 빨리 여문다는것을 밝혀냈다.[9] *Ef-cd*는 수확고와 생육기일의 균형이 보장되는 우수한 올벼품종을 얻어내는데 필수적인 유전자로 될것이라고 평가하고있다.

또 다른 연구집단은 인디아형벼품종인 《IR64》의 되돌이섞불임개체무리에서 꽃눈분화날자에 관여하는 QTL들을 동정하였다.[31]

《IR64》는 세계적으로 많이 재배하는 벼품종들중의 하나이다.[3] 꽃눈분화에 관여하는 유전적인자들을 수집하기 위하여 연구자들은 어느 한 품종과 《IR64》사이에서 교잡을 진행하여 얻어낸 BC_4F_2 계통의 6 284개의 개체들로 이루어진 70개의 되돌이섞불임개체무리를 얻어냈다.

연구자들은 3, 5-8, 10, 12번염색체들에서 꽃눈분화와 연관된 29개의 QTL들을 검출하였다.[31] 연구결과는 두 품종사이의 꽃눈분화날자의 차이가 많은 인자들의 유전적지배를 받으며 *Hd1*의 비기능성대립유전자가 *Hd6*, *Hd16*과 같은 꽃눈분화QTL들의 발현에 기여한다는것을 보여주었다.

한 연구집단은 벼에서 *Ghd7*(Grain number, plant height and heading date 7)과 *OsPRR37*(*Oryza sativa* Pseudo-Response Regulator 37)유전자에 의해서 긴낮조건에서 꽃눈분화관련유전자인 *Hd1*의 작용이 스위치조절된다는것을 밝혔다.[20] 긴낮식물인 애기장대속에서 *GIGANTEA(GI)-CONSTANS(CO)-Flowering Locus T*의 모듈(module)구조(GI-CO-FLT)는 짧은낮식물인 벼를 비롯한 다양한 식물종들에서 보존되었다.[23, 24, 26] 애기장대속의 *CO*와 상동유전자인 벼의 *Hd1*은 꽃눈분화를 조절하는데서 2중적인 역할을 하는데 짧은낮조건에서는 꽃눈분화를 촉진시키고 긴낮조건에서는 지연시킨다.[11, 13, 18, 30]

연구자들은 3개의 긴낮저해유전자들사이의 유전적호상작용을 밝혔다.[16] 유전적분석을 진행한 결과 벼에서 *Ghd7*과 *OsPRR37*의 기능이 결실되면 유도성짧은낮 및 비유도성긴낮조건에서 *Hd1*의 꽃눈분화를 촉진시킨다.

한 연구집단은 벼에서 꽃눈분화시기의 유전적변화에 미치는 *Ghd7*, *Ghd8*, *OsPRR37*과 *Hd1*의 유전적호상작용에 대하여 밝혔다.[5] 연구자들은 4개의 주요꽃눈분화유전자인 *Ghd7*, *Ghd8*, *OsPRR37/Ghd7.1*과 *Hd1*에 대해서 자연적인 긴낮, 짧은낮조건에서 준동질계통에서 그 유전적호상관계를 조사하였다.

4개 유전자에 대해서 분리집단들은 꽃눈분화기간의 변화폭이 아주 컸는데 긴낮조건에서는 95일, 짧은낮조건에서는 42일이였다.[5] 두가지 조건에서 4개 유전자들가운데 4월, 3월, 2월호상작용이 관측되었는데 긴낮조건에서 보다 뚜렷하게 나타났다.

기능적인 *Hd1*배경에서 가장 강한 2월유전자호상작용은 자연긴낮조건에서 *Ghd7*과 *Ghd8*, 자연짧은낮조건에서 *Ghd7*과 *PRR37*이였다.[5] *PRR37*은 긴낮조건에서 꽃피기저해제로 작용하나 짧은낮조건에서는 다른 3개 유전자의 조합에 따라 촉진자 또는 저해자로 작용한다.

16개의 같은형유전자무리(4개 유전자)계통들을 조사하여보면 짧은낮조건에서는 꽃눈 분화날자와 이삭당 알수사이에 정의 상관성이 나타났으나 긴낮조건에서 꽃눈분화가 90일이 상될 때에는 부의 상관관계로 변하였다.[5] 연구자들은 벼의 꽃피기조절에서 유전적호상작용의 중요성을 강조하였으며 각이한 생태지역에서 벼의 수확고잠재력을 최대로 발휘하는 유리한 조합계통을 얻을수 있다는것을 증명하였다.

벼에서 꽃눈분화에 관여하는 QTL들의 호상관계는 그림 1, 2와 같다.

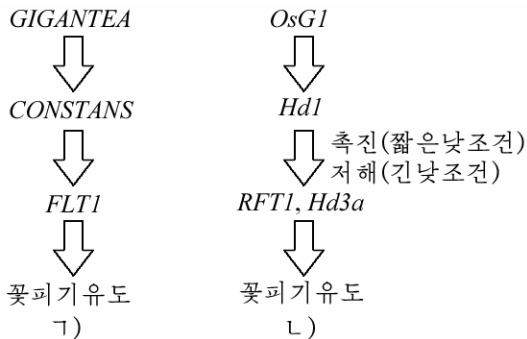


그림 1. 애기장대속식물과 벼에서 보존된 꽃피기조절경로

7) 애기장대속에서 꽃피기조절에 관여하는 유전자들의 모듈구조, L) 벼에서 꽃피기조절에 관여하는 보존성Hd1경로

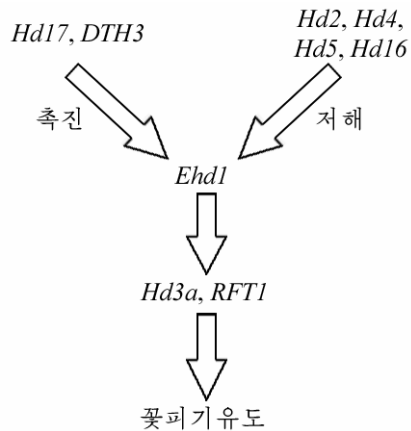


그림 2. 벼에서 꽃피기를 조절하는 독자적인 Ehd1경로

2. 올벼육종의 발전

1) 생육기일을 단축하기 위한 고전육종

세계의 많은 지역들에서 한해에 여러번 벼를 수확하여 정보당 수확고를 높이고 생육 적산온도가 보장되지 않는 북부지대까지 벼의 재배지역을 확장하기 위하여 올벼육종을 진행하고있다.

한 연구자는 검은벼와 흰벼를 섞붙임하고 꼬임처리를 한 다음 발조건에서 방향성선발 육종을 진행하여 검은올벼품종 《144》호를 얻어냈다. 키는 100cm이고 대가 실하고 단단하며 잎은 길이가 중간정도이고 넓다. 이삭당 평균알수는 274.2알, 최고 422알이며 1 000알 질량은 26~27g이다. 이 품종은 생육기일이 138일정도이며 빛과 온도에 민감하지 않고 적응성이 세므로 봄과 여름에 다 파종할수 있다.

한 연구자는 품질이 우량한 올벼품종을 출발재료로 하여 7년동안 계통선발을 하여 우수한 올벼품종을 육성해냈다.[2] 이 품종의 생육기일은 105~110일로서 이 지역에서 재배하는데 알맞춤하다. 키는 79cm이고 잎수는 비교적 적으며 모시기에 추위에 견디는 힘이 세다. 왕성하게 자라고 아지치는 능력이 세며 유효이삭아지비률이 높고 잘 여문다. 현미률, 출미률, 백미률, 알길이, 길이너비비, 단백질함량 등 품질지표가 우수하였다. 벼열병견딜성이 세며 흰잎마름병감수성이 약하다. 정보당 수확고는 6 976.51kg이며 1998년에 재배면적은 2만정보였다.

다른 연구자는 2개 벼품종사이에 섞붙임선발육종을 진행하여 새로운 올메벼품종을 얻어냈다. 이 품종은 중간올메벼품종에 속하며 수확고는 정보당 6 029.6kg였다. 생육기일은 110.8일이며 3월 24일에 파종하여 6월 10일에 이삭이 나오기 시작하고 7월 12일에 여물며 생육

기일은 111일이였다. 줄기는 푸른색을 띠며 잎은 진한푸른색이고 매우 뾰뾰하다. 키는 87cm 정도이고 기본줄기의 총잎수는 12~13개이며 이삭이 고르롭게 나온다. 아지치는 힘이 세고 여분물은 75~80%이다. 이삭은 반원형이고 이삭길이는 18~19cm, 이삭당 알수는 85~90알, 결실률은 75%이상이다.

한 연구자는 불염계와 회복계의 변이를 리용하여 울계통으로 무어진 1대잡종올벼계통을 얻어냈다.[1] 이 조합은 1981년에 육성되었는데 1984년 재배시험에서 소출이 평균 200평당 583.5kg이였다.

이 품종은 대길이가 100cm안팎이고 잎이 좁고 짧으며 곧추서는 형이다. 줄기는 뾰뾰하고 아지치는 힘이 높다. 이삭당 알수는 140알안팎이고 결실률은 80%이상이다. 쌀의 질은 보통이고 현미률은 80.5%이다.

다른 연구자는 1999년에 품질이 좋고 병저항성이 센 어미계통과 소출이 높고 병저항성과 넘어집건질성이 센 아버지계통을 리용하여 일반계통육종법으로 알이 큰 올다수확벼 새 품종을 선발육종하였다.

이 품종은 메벼품종에 속하며 생육기일은 125일정도, 유효적산온도는 2 270℃정도이다. 원대의 잎수는 10매, 키는 88cm정도이다. 아지치는 힘은 중간정도이고 뿌리계가 잘 발달하며 대가 굵고 단단하다. 이삭과 알이 크며 이삭길이는 18cm정도, 이삭당 평균알수는 88알이고 1 000알질량은 28g정도이며 여분물이 높다.

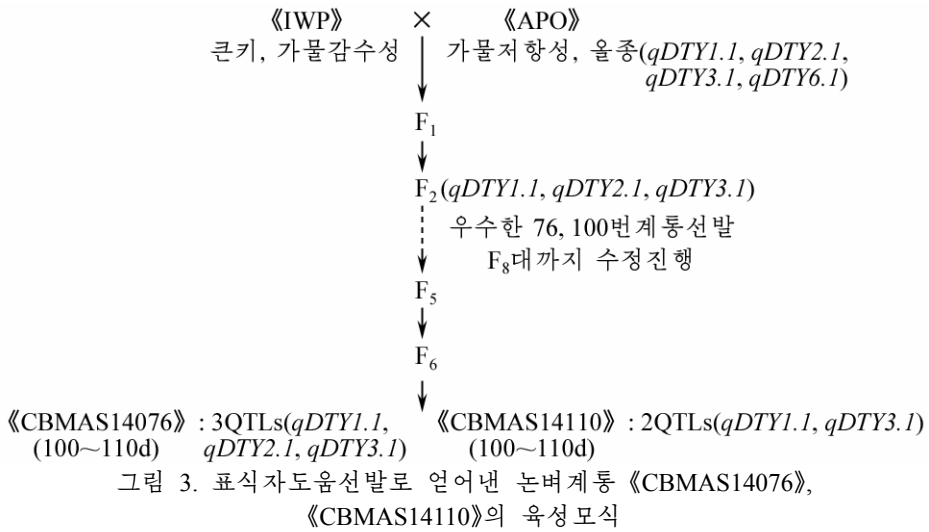
2) 생육기일을 단축하기 위한 분자유종

현시기 생물공학기술이 급속히 발전하면서 표식자도움육종(marker assisted selection), 게놈편집(genome editing)기술을 비롯한 현대적인 수법들을 리용하여 생육기일이 짧고 수확고가 높은 벼품종들을 육종하기 위한 연구가 진행되고있다.

인디아의 한 연구집단은 표식자도움선발을 도입하여 분자유종법으로 생육기일이 짧고 수확고가 높으며 가물에 대한 저항성이 높은 벼품종(그림 3)을 얻어냈다.[25] 빨리 여무는 가물저항성벼계통을 얻어내기 위하여 대표적인 가물감수성벼품종인 《IWP》와 가물저항성벼품종인 《Apo》와 섞붙임을 진행하여 재조합품종내 교배계통을 만들어냈다. 《Apo》에 들어있는 QTL들과 연관된 SSR표식자를 리용하여 F₂대집단에서 유전자형을 평가하여 가물저항성QTL의 각이한 조합을 가지고있는 후대들을 동정해냈다. 포전에서 159개의 F₆대개체들에 대해서 이삭패는 시기, 수확고, 알곡품질평가를 진행하여 높은 수확고잠재력과 우수한 알곡품질을 가진 일찍 여무는 2개의 계통을 얻어내고 품종으로 분화시킨 다음 《CBMAS14076》, 《CBMAS14110》이라고 이름을 지었다. 《CBMAS14076》, 《CBMAS14110》은 생육기일이 110일이였으며 《IWP》에 비해서 가물저항성이 증가되였다. 《IWP》는 가물조건에서 수확고가 23.3%나 감소하였으나 《CBMAS14076》, 《CBMAS14110》는 수확고가 10% 감소하였다.

한 연구집단은 벼에서 특정한 유전자들을 효과적으로 편집하는 각이한 CRISPR/Cas9 운반체들을 개발한데 기초하여 한번의 형질전환으로 여러개의 유전자를 동시에 편집할수 있는 다중편집운반체를 만들어내고 생육기일이 훨씬 줄어든 벼품종들을 높은 효율로 얻어낼수 있다는것을 밝혔다.[7]

이전에 연구자들은 *Ehd1*의존성꽃피기경로에서 3개의 억제인자들인 *Hd2*, *Hd4*, *Hd5*가 꽃피는 시기의 부의조절에 관여하는 중요유전자로 된다는것을 밝혔다.[27-29] 이에 기초하여 이 3개의 유전자들을 CRISPR/Cas9다중게놈편집으로 빨리 여무는 벼품종을 얻어내기 위한 표적유전자로 삼았다.



연구자들은 *Hd2*, *Hd4*, *Hd5* 유전자들을 각각 편집하기 위해서 2, 2, 1개의 sgRNA들을 설계하였다.[7] 이 5개의 sgRNA 카세트를 CRISPR/Cas9 2원운반체체인 *PYL-CRISPR/Cas9P_{ubi}-H* 운반체에 삽입시켰다.(그림 4) 형질전환체로는 많이 재배하고있는 7개의 우수한 품종을 리용하였다. 유전자형이 *Hd2Hd4Hd5*인 5개의 품종들과 *hd2hd4Hd5* 유전자형을 가진 1개 품종을 리용하였다.

T_0 세대에서 꽃눈분화유전자들의 갑작변이형태는 표적린접영역을 배열분석하여 확인하였다.[7] *Hd2Hd4Hd5*의 유전자형을 가진 5개의 품종에서 모두 18개의 독자적인 유전자전이개체들이 얻어졌다. 그중 14개의 모에서 3개 유전자내부의 갑작변이가 나타났는데 이것은 동시다중유전자편집의 효율이 높다는것을 보여준다. 대부분의 갑작변이는 PAM배열(protospacer-adjacent motif)앞의 단일염기삽입, 결실이였다.

7개 품종에서 유도된 T_1 유전자전이계에서 꽃눈분화날자유전자의 갑작변이형태는 배열결정 및 고해상도용융분석(high-resolution melting analysis)으로 시험하였다.[7] 그이후 조사에서는 같은형 *Hd2Hd4Hd5*를 가진 모만을 골랐다. 마지막으로 9개의 대표적인 같은형 T_2 계를 얻어낸 다음 꽃눈분화날자를 측정하였다. 연구자들은 9개의 계통을 1개 포전에서 한줄로 자기의 량친과 함께 재배하였다. 재배시험결과 *Hd2*, *Hd4*, *Hd5* 유전자들이 편집된 후 대계통들이 량친에 비해서 생육기일이 현저히 짧아진다(최고 40일)는것을 보여준다. 연구자들은 이 연구를 통하여 3개의 꽃눈분화유전자들이 높은 효율로 동시에 편집될수 있으며 일부 계통들에서 이른 시기의 꽃눈분화를 가져올수 있다는것을 보여주었다.[7]

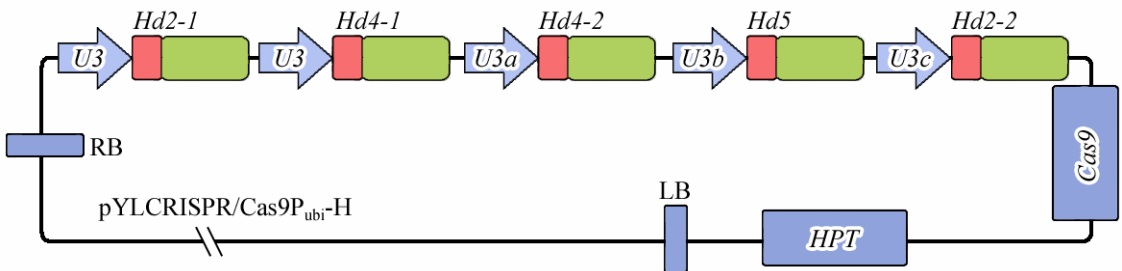


그림 4. pYLCRISPR/Cas9P_{ubi}-H 운반체에 *Hd2*, *Hd4*, *Hd5* sgRNA 발현 카세트들을 결합시킨 다중유전자동시편집용 운반체의 구조

현시기 우리 나라 농업부문에서는 다수확벼품종들이 많이 육종되고 중, 산간지대와 저수 확지들에서 생산량을 높일수 있는 영농방법들이 연구되고있다. 표식자도움선발과 계놈편집기술을 비롯한 현대적인 기술들은 오랜 기일과 많은 품이 드는 전통적인 육종방법의 부족점을 극복할수 있게 해준다. 벼의 꽃눈분화를 결정하는 유전적본태를 해명하고 생육기일이 훨씬 앞당겨지고 수확고에도 영향을 주지 않는 우수한 올벼품종을 만들어내는것은 농경지면적이 제한되어있는 우리 나라에서 정보당 수확고를 높이기 위한 중요한 문제로 나선다.

참 고 문 헌

- [1] 김영문; 외국과학기술통보(농업), 3, 12, 1989.
- [2] 홍정철; 외국과학기술통보(농업), 4, 6, 주체88(1999).
- [3] D. J. Mackill et al.; Rice, 11, 18, 2018.
- [4] X. F. Bian et al.; Plant Cell Rep., 30, 2243, 2011.
- [5] Bo Zhang et al.; Rice, 12, 48, 2019.
- [6] C. Bren d'Amour et al.; Proc. Natl. Acad. Sci., 114, 8939, 2017.
- [7] Chu Chengcai et al.; Journal of Genetics and Genomics., 44, 175, 2017.
- [8] K. Doi et al.; Genes Dev., 18, 926, 2004.
- [9] Fang Jun et al.; PNAS, 116, 37, 18717, 2019.
- [10] G. S. Khush; Breed. Res., 3, 281, 2001.
- [11] R. Hayama; Nature, 422, 719, 2003.
- [12] K. Hori et al.; Plant J., 76, 36, 2013.
- [13] T. Izawa; Genes Dev., 16, 2006, 2002.
- [14] J. R. Evans; Plant Physiol., 162, 1780, 2013.
- [15] J. Xiao et al.; Genetics, 150, 899, 1998.
- [16] Kenji Fjujino et al.; Breeding Science, 69, 127, 2019.
- [17] G. S. Khush et al.; Plant Mol. Biol., 59, 1, 2005.
- [18] S. Kojima et al.; Plant Cell Physiol., 43, 1096, 2002.
- [19] M. Rossi et al.; Curr. Opin. Plant Biol., 25, 79, 2015.
- [20] M. Yano et al.; Rice Genetics, 177, 5, 2005.
- [21] K. Matsubara et al.; Plant Cell Physiol., 53, 709, 2012.
- [22] K. Matsubara et al.; Front. Plant Sci., 5, 193, 2014.
- [23] H. Tsuji et al.; Curr. Opin. Plant Biol., 14, 45, 2011.
- [24] H. Tsuji et al.; Curr. Opin. Plant Biol., 16, 228, 2013.
- [25] M. Valarmathi et al.; J. Pharmacognosy and Phytochem., 8, 2, 338, 2019.
- [26] F. Valverde et al.; J. Exp. Bot., 62, 2453, 2011.
- [27] X. Wei et al.; Plant Physiol., 153, 1747, 2010.
- [28] W. Xue et al.; Nat. Genet., 40, 761, 2008.
- [29] W. Yan et al.; Cell Res., 23, 969, 2013.
- [30] M. Yano et al.; Plant Cell, 12, 2473, 2000.
- [31] Yasunori Nonoue et al.; Breeding Sci., 69, 352, 2019.

Development Tends of Breeding of Rice with Short Growth Period

Song Sam Rang, Ho Un Hyang

Rice is a staple food for more than half of the human population. The growing world population calls for continued increases in rice production.

One of the strategies to improve rice productivity is to elevate grain yield per unit area. So rice breeders have invested much effort to develop early maturing cultivars that allow for multiple crops per year.

This paper reviewed the significance of breeding of rice with short growth period, the ways to shorten growth period, and develop tends of early maturing rice breeding.

Keywords: rice breeding, early maturing rice, growth period