재래종 유래 찰옥수수 교잡종의 주요 농업 및 식미 관련 형질에 대한 이면교잡 분석

왕승현^{1†} · 정종욱^{2†} · 강민정¹ · 심완석¹ · 소운섭^{1*}

¹충북대학교 식물자원학과, ²충북대학교 특용식물학과

Diallel Analysis of Agronomic and Palatability Traits in Waxy Corn Hybrids from Korean Landraces

Seung-Hyun Wang^{1†}, Jong-Wook Chung^{2†}, Min-jeong Kang¹, Wan-Seok Shim¹, and Yoon-Sup So¹

¹Dept. of Crop Science, Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju, 28644, Korea

²Dept. of Industrial Plant Science & Technology, Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju, 28644, Korea

Abstract : This study was carried out to select waxy corn inbreds with good general combining ability through a diallel analysis of 10 half diallel crosses among five inbreds developed from Korean maize landraces. Total of 21 agronomic and palatability traits were investigated over two locations in 2016. There was a significant hybrid by location interaction found in plant height, ear height, number of tillers/plant, per ear weight, ear tip filling, ear commercial value and sweetness when four additional check cultivars were included in the analyses. A significant general combining ability by location interaction was found in ear height, number of tillers/plant, per ear weight, ear length and sweetness while ear width, ear commercial value and sweetness were significant for specific combining ability by location interaction. Sweetness was found significant for both interactions. The first and fourth inbred lines had the most number of traits with good estimate of general combining ability. The first inbred is expected to improve days to tasseling, anthesis silking interval, ear width, ear circumference and sweetness while decreasing husk cover in a hybrid combination. The fourth inbred line would improve days to tasseling, days to silking, plant height, ear height, per ear weight and ear length but ears would be a bit tougher than the average. A total of 19 traits had higher variance of general combining ability than that of specific combining ability. Husk cover was 12.1 times higher. Plant height and number of tillers/plant had higher variance of specific combining ability.

Keywords : Diallel analysis, Waxy corn hybrid, General combining ability, Specific combining ability, Heterosis

서언

우리나라를 비롯한 아시아 국가 뿐 아니라 남미 일부 국가에서 식용으로 찰옥수수(*Zea mays* L.)를 특화작목으로 재배하고 있다(Hallauer 2001). 국내에서는 찰옥1호의 개발로 풋이삭용 찰옥수수의 1대 교잡종이 보급되기 시작하여 여러 품종들이 계속하여 개발 보급되고 있는데 대표적인 품종으로 찰옥4호, 일미찰, 대학찰, 미백2호, 청춘찰 등이 있다(RDA 2013, Park et al. 2016).

사료용 옥수수와는 달리 찰옥수수 1대 교잡종에 사용되는 원종은 주로 국내 재래종을 이용하여 개발되었는데 이것은 국내

찰옥수수 재래종의 우수한 식미와 식감 때문인 것으로 알려져 있다. 과피가 얇아 식감이 우수한 것으로 알려진 연농1호(대학찰)의 상업적 성공으로 인해 이후의 국내 상업용 찰옥수수 품종 개발에 연농1호가 집중적으로 이용되어 현재 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 대부분의 품종에는 연농1호로부터 유래된 원종이 사용되고 있는 실정이다(RDA 2013).

찰옥수수 품종 개발에 있어 그 유래가 다른 옥수수 집단과의 교배를 통해 유전자원의 다양성을 증대시키고 잡종강세그룹을 생성하는 노력을 계속하고 있다(Ketthaisong et al. 2014). 이러한 잡종강세그룹은 순환선택법을 통해 장기적으로 개발이 되는데 이를 통해 상호 보완적인 대립인자들을 고정시키고 집단 내의 gene pool을 유지시키는 결과를 도출할 수 있다(Falconer & Mackay 1996).

원종의 평가와 잡종강세그룹 구분에 있어서 이면교배 조합의

*Corresponding Author (E-mail: yoonsupso@cbnu.ac.kr, Tel: +82-43-261-2517, Fax: +82-43-273-2242)

† The first two authors contributed equally to this work

(Received on November 9, 2017. Accepted on November 27, 2017.)

작성과 평가가 많이 이용되고 있다(Griffing 1956, Hallauer & Miranda 1981). 이면교잡분석이 인기가 있는 이유는 원종의 일반조합능력과 특수조합능력 뿐만 아니라 분산 요인과 유전력 등의 유전 모수에 대한 정보를 제공해 줄 수 있기 때문이다(Xiang & Li 2001). 이면교잡분석에는 Ordinary Least Square(OLS), General Least Squares(GLS), Best Linear Prediction(BLP), Best Linear Unbiased Prediction(BLUP) 등의 여러가지 분석 기법이 이용되어 왔으나, 여전히 이러한 기법을 이용하는 것에는 현실적인 문제점이 따른다(Xiang & Li 2001, Borralho 1995, White & Hodge 1988). 이면교잡분석의 데이터는 일반적인 데이터와 비교해서는 다소 특이한 면이 있는데 이것은 각 관측치가 2개의 주요인 효과를 포함한다는 것이다. 이로 인해 현존하는 많은 통계분석 프로그램의 사용이 제한적이다(Johnson & King 1988). 균형된 데이터를 이용한 이면교잡분석의 계산이 쉽지 않는데 결국구 또는 결국 조합이 발생하여 데이터가 불균형해지는 경우 분석 계산은 더욱 복잡해지게 된다(Huber et al. 1992). 이를 해결하기 위하여 DIALL, DAG, GAREML 등과 같은 여러 통계분석 패키지들이 개발되어 이용되었다(Schaffer & Usanis 1969, Dean & Correll 1988, Huber 1993). 이러한 통계 패키지들은 주로 데이터의 형식을 특이하게 준비해야 한다거나 혼합모형분석을 위한 제한된 옵션을 제공하거나 또는 일부는 사용자 인터페이스가 매우 불편한 문제들이 있다. 또한 분석할 수 있는 데이터의 크기에 제한이 있거나 분산 구성요소 추정을 위한 분석 모형의 정의와 옵션에 유용성이 결여되어 있기도 하다(Xiang & Li 2001).

교잡종 육종은 확연히 구별되는 두 단계로 이루어지는데 첫 번째는 원종의 개발이며, 두 번째는 우수 교잡종 선발을 위한 적절한 모본과 부본을 선발하는 것이다(Lee & Tollenaar 2007). 옥수수 교잡종의 수량은 그 교잡종의 모본과 부본의 자체 수량으로 예측이 불가능하다는 것은 잘 알려진 사실이다(Hallauer 1990). 반면 옥수수의 수량은 우수 교잡종 작성 잠재력 또는 양친의 조합능력에 의해 크게 조절된다. 따라서 교잡종 육종에서 높은 조합능력을 가진 원종을 선발하는 것은 매우 중요하다(Qi et al. 2012). 일반조합능력은 유전자의 상가적 효과에 의해 야기되며 특수조합능력은 유전자의 비상가적 효과에 의해 나타나게 된다(Sprague & Tatum 1942).

우수 교배조합의 선발을 위해서는 개발된 원종 간의 교배조합을 작성하고 이들 교배조합을 평가하는 단계가 필수적이다. 하지만 개발된 원종의 수가 산술급수적으로 증가하면 이들 간의 교배조합의 수는 정역교배조합을 제외하더라도 기하급수적으

로 증가하게 되며 이렇게 증가된 수의 교배조합 평가는 사실상 불가능하다. 따라서 일반조합능력이 우수한 원종을 우선 선발하고 이 원종을 검정계통(tester line)으로 이용하여 새로 개발되는 원종과의 교배조합을 작성하여 평가함으로써 평가 조합의 수를 줄일 수 있다. 따라서 새로운 재래종으로부터 원종을 개발하고 이들의 조합능력을 평가하여 검정계통으로 이용함으로써 일부 재료에 집중한 원종 개발에 의해 발생할 수 있는 유전적 취약성에 의한 위험을 줄일 수 있을 것이다.

본 실험은 한국 재래종으로부터 개발된 찰옥수수 원종들 간 교배조합의 농업 및 식미 관련 형질을 평가하고 이들 원종에 대한 각 형질의 일반 및 특수조합능력을 분석하여 조사 형질의 일반조합능력이 우수한 원종을 선발하고 찰옥수수 1대 교잡종 품종 육성 과정에서 개발된 원종의 검정계통으로 이용할 목적으로 실시되었다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

본 실험의 이면교잡 분석을 위한 교배조합 작성에는 총 5개의 한국 재래종 유래 원종이 이용되었다(Table 1). 농촌진흥청 농업 유전자원정보센터로부터 분양 받은 국내 재래종 중 과피 두께가 얇은 자원을 선발하고 이를 자가수정하여 확보한 F₆ 세대의 원종으로 이 원종들이 개발된 재래종들의 수집지는 각각 충북 심천, 경기 남면, 강원 양양, 경북 상주, 경기 이천으로 전국 각지에서 수집된 재래종들이었다. 이 들 원종 중 P5는 종자색이 연노랑이었으며 나머지 4개는 모두 흰색이었다.

Table 1. Inbred lines and landraces from which the inbred lines were developed.

Inbred code	Inbreeding Generation	Nat'l Genebank IT No.	Origin	Kernel color
P ₁	F ₆	IT_220180	Simchun, Chungbuk	White
P ₂	F ₆	IT_220164	Nammyun, Gyunggi	White
P ₃	F ₆	IT_216492	Yangyang, Gangwon	White
P ₄	F ₆	IT_220196	Sangju, Gyungbuk	Pale yellow
P ₅	F ₆	IT_223255	Echun, Gyunggi	White

총 5계통의 원종을 2015~16년 동계에 경북농업기술원 전작

포장에 위치한 비닐하우스에 파종하고 이들 간의 교배조합을 작성하였으며 정역교배를 제외한 10개의 F₁교잡종 종자를 확보하였다. 이 들 10개의 F₁이면교배조합을 1개의 시험용 F₁교잡종과 3개의 상업용 대비품종(일미찰, 연농1호, 미백2호)과 함께 본 실험에 공시하였다.

총 14개의 F₁교잡종을 2016년 4월 15일과 5월 7일에 각각 경북농업기술원 전작 포장과 충북대학교 실습농장에 난괴법 2반 복으로 파종하였다. 재식거리는 70 × 20cm(약 7,143주/10a)로 시험구의 크기는 경북농업기술원은 4m 2줄로 하였으며 충북대학교는 2 m 3줄로 하였고 2립씩 파종 후 3-4엽기에 1주만 남기고 솟아 주었다. 경북농업기술원 재배는 솟아주기 후 부직포로 멀칭을 하였으며 충북대학교 실습농장 재배는 녹색비닐 멀칭 후 파종을 하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O=15-3-6kg/10a로 경북농업기술원의 경우 질소의 반은 기비로 나머지 반은 7~8엽기에 추비로 주었으며 충북대학교의 경우에는 전량 기비로 하였다.

작물학적 특성 관련 형질

본 실험에서는 개화 관련 형질 6개, 형태 관련 형질 4개, 이삭특성 관련 형질 8개와 식미 관련 형질 4개 등 총 22개의 농업 및 식미 관련 형질을 조사하였다.

개화 관련 형질은 교잡종의 성숙기를 결정하는 매우 중요한 형질로 포장에서는 화분비산기(Tassel)와 출사기(Silk)를 측정하였다. 화분비산기(일)는 파종일로부터 시험구의 50% 개체에서 용수의 주경으로부터 화분이 비산하기 시작한 날까지의 일수로 표기하였고 출사기(일)는 파종일로부터 시험구의 50% 개체에서 최상위 이삭의 암수가 2-3 cm 출현한 날까지의 일수로 표기하였다. 출사기에서 출용기를 뺀 값을 Anthesis Silking Interval(ASI)로 표기하여 형질의 이름을 ASI로 명명하였다. 옥수수는 한 식물체에 암수의 꽃이 모두 피는 자웅동주 식물이나 암꽃과 수꽃이 분리해서 피는 단성화 식물로 ASI는 암수 개화기의 시간차이에 의한 수분 성공가능성을 결정하는 중요한 형질 중 하나라 할 수 있다.

또한 일수로 표기된 출용기, 출사기와 ASI를 누적 적산온도(Growing Degree Days, GDD)로 환산하여 출용기의 누적 적산온도를 GDD_T, 출사기의 누적 적산온도를 GDD_S, ASI를 누적 적산온도로 환산한 형질을 GDD_ASI로 표기하였다. 누적 적산온도는 파종일로부터 개화기까지의 일일 적산온도의 합으로 아래 공식과 같이 계산하였다. 이 때 일최고온도가 30도 이상일 경우 일최고온도는 30도로 하고 일최저온도가 10도 이하일 경우 일최저온도를 10도로 설정하였다. 일최고온도와 최저온

도는 기상청 홈페이지의 지역별상세관측자료를 이용하였는데 경북농업기술원은 대구광역시 북구 서변동 소재, 충북대학교는 충북 청주시 흥덕구 복대동 소재 무인자동기상관측장비의 관측자료였다.

$$\text{적산온도} = \sum_{\text{파종일}}^{\text{개화일}} \left[\frac{(\text{일최고온도} + \text{일최저온도})}{2} - 10 \text{ } ^\circ\text{C} \right]$$

형태 관련 조사 형질은 간장(Plant Height, PH), 착수고(Ear Height, EH), 착수고율(Plant and Ear Height ratio, PEH) 및 주당 분얼수로 총 4개 형질이였다. 간장과 착수고는 시험구내 모든 옥수수 개체를 육안으로 관찰한 후 가장 평균적인 한 개의 개체를 측정하였다. 간장은 옥수수 지상부 기부로부터 용수의 첫번째 분지까지의 길이를 cm로 표기하였고 착수고는 옥수수 지상부 기부로부터 상위 첫번째 이삭이 달린 마디까지의 길이를 cm로 표기하였다. 착수고율(PEH)은 옥수수의 도복 저항성을 간접적으로 측정할 수 있는 유용한 형질로 착수고를 간장으로 나누어 %로 표기하였다. 개화 직후 포장에서 시험구내 모든 옥수수 개체의 분얼수를 측정하고 이를 전체 주수로 나누어 주당 분얼수를 확보하였다.

이삭 관련 형질의 대부분은 모든 시험구에서 개화 후 22-24일 가장 평균적인 5개의 꽃이삭을 수확한 후 측정하였다. 한 이삭당 무게(Weight)는 포엽을 제거 후 5개의 총 무게를 이삭수로 나누어 g으로 표기하였다. 이삭폭(Width)과 둘레(Circumference)는 이삭의 중앙부 폭과 둘레를 cm로 표기하였고 이삭 열수(Number of rows)는 5개의 이삭 중 가장 평균적인 한 개의 이삭에서 측정하였다. 이삭길이(Length)는 5개의 이삭의 기부에서 끝까지의 직선 길이의 평균을 cm로 표기하였다. 포엽의 이삭 끝 감쌈 정도는 포장에서 꽃이삭 수확 직전 시험구내의 모든 이삭을 관찰 한 후 1~5까지의 달관조사로 측정하였는데 1은 포엽이 이삭의 끝을 완전히 감싸고 있는 경우, 5는 이삭의 끝이 포엽 밖으로 완전히 드러나 있는 경우였다. 이삭 끝까지 옥수수알이 잘 달린 정도를 1~5까지 달관조사하여 tip filling이라 명명하였는데 1은 옥수수알이 이삭 끝까지 완전히 맺힌 경우였고 5는 이삭 끝까지 완전히 맺히지 않고 2-3cm 정도의 속대가 드러난 경우였다. 이삭의 상품성은 이삭의 모양과 색깔 등을 종합적으로 판단하여 1~5의 달관조사치로 나타내었는데 1은 상품가치가 매우 높은 경우, 5는 상품가치가 완전히 없다고 판단된 경우라 할 수 있다.

식미 관련 형질로는 이삭 관련 형질을 측정 후 꽃이삭을 15분

정도 삶은 후 3인이 측정하여 평균값을 구하였다. 측정하기 앞서 연농1호, 미백2호 등 대비품종을 먼저 시식하고 이들의 식감과 식미를 기준으로 하였다. 질감성(Toughness)은 베어 물었을 때의 질감 정도를 5단계로, 1은 매우 연함 부터 5는 매우 질감으로 나타내었다. 당도(Sweetness)는 씹을 때 입에서 느껴지는 당도를 5단계로 조사하였는데 1은 당도가 매우 우수한 것을 5는 당도가 느껴지지 않는 것을 뜻한다. 찰성(Stickiness)은 당도와 마찬가지로 씹을 때 입에서 느껴지는 찰성을 5단계로 조사하였는데 1은 찰기가 매우 우수, 5는 찰기가 매우 불량한 것을 뜻한다. 과피두께는 수확한 풋이삭을 그늘에 말린 후 이삭당 10립에서 Han et al.(2015)의 방법으로 과피를 벗겨내어 두께측정기(Mitutoyo thickness gage, Japan)를 이용하여 측정 후 μm 로 표기하여 나타내었다. 과피두께는 충북대학교 재배 이삭에서만 측정하였다.

통계분석

대비품종을 포함한 14개 교잡종에서 측정한 모든 형질(과피두께 제외)의 2개 지역 데이터를 합하여 분산분석을 실시하여 이 형질들의 교잡종과 지역 간의 상호작용에 대한 유의성을 조사하였다. 이 후 3개의 대비품종과 1개의 시험 교잡종을 제외하고 5개 원종 간의 10개 교잡종에 대해서 Griffing(1956)이 제시한 method IV를 통해 아래의 상가적 선형모형으로 이면교잡 분석을 실시하였다.

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + R_{j(i)} + G_k^F + G_l^M + S_{kl} + EG_{ik}^F + EG_{il}^M + ES_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

여기서 μ 는 전체 평균, E_i 는 각 지역의 평균효과, $R_{j(i)}$ 는 각 지역내 집구(반복)의 평균 효과, G_k^F 와 G_l^M 는 k 번째 모본과 l 번째 부본($k \neq l$)의 일반조합능력, S_{kl} 는 k 번째 모본과 l 번째 부본($k \neq l$)간의 교잡종의 특수조합능력, EG 와 ES 는 각 각 일반조합능력 및 특수조합능력과 지역의 상호작용을 의미하며, ε_{ijkl} 는 각 시험구의 실험 오차이다. 실험오차를 제외한 모든 효과는 고정효과로 가정하였으며 분석은 SAS 9.4(SAS Institute inc, Cary, NC) 프로그램의 PROC GLM을 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

조사형질의 작물학적 특성

반이면교배조합 10개 교잡종과 1개의 시험용 교잡종 및 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 3개 찰옥수수 1대 교잡종 품종인

일미찰, 연농1호 그리고 미백2호를 대비품종으로 하는 총 14개의 교잡종에 대한 경북기술원 및 충북대학교 재배시험을 통해 조사한 총 22개의 형질에 대한 기술 통계량을 조사하였다(Table 2).

개화기 관련 형질은 총 6개였는데 출용기, 출사기 및 ASI를 일수와 누적 적산온도로 각각 나타내었다. 출용기의 경우 파종일로부터 최소 47일에서 최대 67일로, 평균 58.33일이 소요되었으며 파종일로부터 출사까지는 최소 48일에서 최대 69일로, 평균 61일이었다. 품종의 출용기와 출사기의 차이를 나타내는 ASI의 경우 출용과 출사가 모두 같은 날 이루어지는 품종으로부터 출용 후 5일 뒤 출사가 이루어지는 품종까지 있었으나 평균 ASI는 2.66일로 평균적으로 공시 교잡종의 경우 출용 후 약 2~3일이 지나 출사를 하는 것으로 나타났다.

이를 누적 적산온도로 표시하면 출용기의 경우 최소 574도에서 최대 705도의 적산온도가 누적되어야 출용 되었으며 평균은 655.89도로 나타났다. 출사기의 경우 최소값은 587도, 최대값은 733도로 나타났으며 평균은 695.34도였다. ASI는 최소값 0도, 최대값 75도였으며 평균 39.41도로 나타났다.

조사한 형태 관련 형질은 모두 4개로 간장, 착수고, 착수고율, 주당 분얼수였다. 간장의 범위는 150~244cm로 평균 188.42cm였으며 착수고는 최소 55cm로부터 최대 117cm까지 분포하였으며 평균은 83.2cm로 대부분은 100cm 이하에서 이삭이 달린 것으로 나타났다. 착수고를 간장으로 나누어 비율로 나타낸 착수고율은 31.2~53.1% 범위에서 평균 44.11%으로 나타났다. 첫 이삭의 절대적인 높이와 함께 상대적으로 간장에 비해 약 50% 이하가 도복에 안정적인 것으로 알려져 있어 대부분의 교잡종들이 착수고율에서는 비교적 도복에 안정적인 것이라 기대할 수 있을 것이다. 주당 분얼수는 분얼이 없는 교잡종도 있었고 가장 많은 교잡종은 주당 2.4개의 분얼을 가지는 것으로 나타났다. 평균은 1.3개 정도였다. 분얼은 수량에 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있기에 재배 시 분얼을 제거하지 않아도 괜찮으나 일부 농가에서는 찰옥수수 재배기간동안 2-3번 분얼 제거를 실시하고 있다. 특히 종자친과 화분친 모두 재래종에서 유래된 연농1호(대학찰)은 분얼이 매우 많은 품종으로 본 시험에서도 주당 분얼수가 가장 많은 것으로 조사되었다. 충북 괴산군 장연면을 중심으로 하는 연농1호 재배 농가에서는 1) 제초작업 및 수확작업시 분얼이 작업을 방해하고 2) 분얼을 제거하지 않았을 때 근도복 발생시 주경이 분얼과 서로 얽혀 주경이 다시 일어서기 힘들며 3) 봄파종 풋이삭 수확 후 남은 옥수수대를 제거하지 않고 주간 사이에 모종을 이식하여 하계 옥수수 2기작 재배를 실시하는 관행에서는 분얼이 있을 시 모종의 생육을

Table 2. Descriptive statistics of 22 traits measured at 2 locations.

	Flowering traits ^z						Plant morphology traits ^y					
	Tassel	Silk	ASI	GDD_T	GDD_S	GDD_ASI	PH	EH	PEH	No. of tillers / plant		
	(days)	(days)	(days)	(gdd)	(gdd)	(gdd)	(cm)	(cm)	(%)	(no/plant)		
AVG	58.3	61.0	2.66	656	695	39.4	188	83.2	44.1	1.28		
STD	6.10	6.30	1.20	27.4	34.3	18.1	24.9	14.3	4.70	0.54		
Median	58	59	3	658	703.5	43	183.5	84.5	44.8	1.25		
Max	67	69	5	705	733	75	244	117	53.1	2.4		
Min	47	48	0	574	587	0	150	55	31.2	0		
	Ear traits								Palatability traits ^x			
	Weight	Width	Circum- ference	No. of row	Length	Husk cover	Tip filling	Commercial value	Toughness	Sweetness	Stickiness	Pericarp thickness
	(g)	(cm)	(cm)	(no)	(cm)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(μm)
AVG	165	4.0	13.6	13.3	19.6	3.03	2.6	3.19	2.68	3.50	2.43	43.90
STD	28.9	0.29	1.2	1.6	2.3	1.5	1.4	1.1	1.00	1.00	1.00	10.3
Median	165	4	13.9	14	19.5	3	2	3	2.6	3.5	2.3	43.2
Max	225	4.7	16	16	27	5	5	5	4.5	5	4.7	76
Min	113	3.5	10	10	16	1	1	1	1	1.3	1	21.8

^zASI=Anthesis Silking Interval; GDD_T=Growing Degree Days for Tasseling; GDD_S=Growing Degree Days for Silking,^yPH=Plant Height; EH=Ear Height; PEH=Plant and Ear Height ratio^xPericarp thickness was measured from only one location (CBNU).

위한 햇빛을 가리게 되는 단점이 있기 때문에 분얼 제거 작업을 실시하고 있는 실정이다.

이삭 관련 형질로는 꽃이삭 한 개의 무게(g), 이삭폭(cm), 이삭둘레(cm), 이삭열수(개), 이삭길이(cm), 포엽감쌈정도(1~5), 이삭끝달림(1~5), 그리고 이삭상품성(1~5)를 측정하였다. 이삭의 무게는 그 범위가 113 ~225g으로 가장 가벼운 교잡종과 가장 무거운 교잡종의 무게가 2배 차이가 났으며 평균±표준편차는 165.18±28.9g으로 나타났다. 이삭의 폭과 둘레는 각각 3.5~4.7cm와 10~16cm 였으며 평균±표준편차는 각각 4±0.29cm와 13.6±1.16cm로 나타났다. 이삭의 열수는 평균 13.3열로 가장 열수가 적은 교잡종은 10열, 가장 열수가 많은 교잡종은 16열을 가지는 것으로 나타났다. 이삭의 길이는 16~27cm로 그 차이가 10cm 이상인 것으로 나타났는데 평균은 19.6cm였다. 포엽감쌈정도, 이삭끝달림, 그리고 이삭의 상품성은 모두 달관조사로 측정하였는데 각각 평균은 3.03, 2.63, 그리고 3.19로 조사되었다.

식미 관련 형질은 꽃이삭 재배를 위한 찰옥수수 품종 개발에서 가장 중요한 형질들 중 하나이다. 본 실험에서는 질감성, 당도, 찰성을 달관조사로 조사하고 과피 두께를 두께측정기로 측정하였다. 질감성 달관조사 결과 그 범위는 1~4.5, 평균±표준편차는

2.68±0.88로 조사되었다. 당도는 1.3~5의 범위에서 조사되었으며 평균±표준편차는 3.5±0.91이었다. 찰옥수수는 9번 염색체 상의 열성 *wx* 유전자에 의해 종자 내 모든 전분이 아밀로펙틴으로 축적이 되는데 품종간 찰성에 다소 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서도 찰성의 달관조사 결과 그 범위가 1~4.7로 교잡종간 큰 차이를 보였는데 평균±표준편차는 2.43±0.98로 조사되었다. 과피 두께를 측정한 결과 가장 얇은 교잡종은 21.8 μ m 였고 가장 두꺼운 품종은 76 μ m로 나타났다. 평균±표준편차는 43.9±10.3 μ m로 조사되었다. Lee et al.(1993)는 식미가 우수한 찰옥수수 품종의 조건으로 과피 두께가 50 μ m이하로 얇아야 한다고 주장하였는데 본 시험에서 공시한 교잡종은 과피 두께가 50 μ m이하인 것이 많이 있는 것으로 조사되었다.

교잡종과 지역간 상호작용 효과

충북대학교 재배 시험에서만 측정된 과피 두께를 제외한 21개 형질에 대해 2개지역 측정 데이터를 통합하여 분산분석을 수행하였다. 교잡종과 지역간 상호작용 효과의 유의성 검정 결과는 Table 3과 같다.

총 21개 형질 중 교잡종과 지역간 상호작용 효과는 7개 형질에

Table 3. Analyses of variance across 2 locations with all 14 hybrids included. P-values are presented in the table.

Source of Variation	df	Flowering traits ^z						Plant morphology traits ^y			
		Tassel	Silk	ASI	GDD_T	GDD_S	GDD_ASI	PH	EH	PEH	No. of tillers / plant
Env	1	0.0015	0.0016	0.831	0.3704	0.4221	0.7097	0.2731	0.1427	0.7188	0.2127
Rep(Env)	2	0.1291	0.1108	0.7311	0.1316	0.0883	0.7204	<.0001	0.1778	0.0211	0.0103
Hybrid	13	<.0001	<.0001	0.0097	<.0001	<.0001	0.0088	<.0001	<.0001	0.0287	<.0001
Hybrid * Env	13	0.6024	0.5813	0.2513	0.6467	0.4294	0.2063	0.0132	0.0466	0.7488	0.002
Error	26										

Source of Variation	df	Ear traits							Palatability traits ^x				
		Weight	Width	Circumference	No. of Rows	Length	Husk cover	Tip filling	Commercial value	Toughness	Sweetness	Stickiness	Pericarp thickness
Env	1	0.1704	0.3377	0.1406	0.0513	0.0385	0.0229	0.8952	0.0034	0.7706	0.0151	0.2625	N/A
Rep(Env)	2	0.9903	0.6893	0.5463	0.6574	0.1946	0.6412	0.241	0.9309	0.9578	0.6633	0.2254	0.4142
Hybrid	13	<.0001	<.0001	<.0001	0.0025	0.0005	<.0001	<.0001	<.0001	0.0459	<.0001	0.0109	0.3800
Hybrid * Env	13	0.0281	0.1359	0.1593	0.1197	0.0777	0.0831	0.0022	0.0007	0.2588	<.0001	0.2652	N/A
Error	26												

^zASI=Anthesis Silking Interval; GDD_T=Growing Degree Days for Tasseling; GDD_S=Growing Degree Days for Silking,^yPH=Plant Height; EH=Ear Height; PEH=Plant and Ear Height ratio^xANOVA for pericarp thickness was performed with CBNU location only

서 $\alpha=0.05$ 에서 유의성이 인정되었다. 개화기 관련 형질 6개는 모두 상호작용 효과의 유의성이 인정되지 않아 공시재료에 한하여 개화기에는 두 지역에서 파종에서 개화까지 걸리는 일수나 적산온도의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 형태 관련 조사형질 4개 중 간장($p=0.0132$), 착수고($p=0.0466$) 그리고 주당 분얼수($p=0.002$)는 교잡종과 지역간 상호작용 효과가 인정되었다. 이삭 관련 형질 8개 중 이삭 당 무게($p=0.0281$), 끝달림정도($p=0.0022$) 그리고 상품성($p=0.007$)에서 상호작용 효과의 유의성이 인정되어 이 들 이삭 관련 형질의 재배안정성은 지역 간에 서로 달라 품종의 선발 시 각 지역재배환경을 각각 고려해야 할 것으로 사료된다. 식미 관련 조사 형질 중에서는 당도가 지역과 교잡종의 상호작용 효과가 인정($p<0.001$)되어 풋찰옥수수의 당도는 재배지역에 따라 달라질 수 있는 것으로 나타났다.

지역과 교잡종간 상호작용 효과의 유의성이 나타나지 않아 지역 간의 재배안정성이 우수하다고 판단된 형질들 중 ASI 주요과는 일수($p=0.831$)로 조사하거나 누적적산온도($p=0.7097$)로 조사하더라도 지역 간의 차이가 나타나지 않았다. 착수고율의 경우도 p 값이 0.7488로 나타나 지역간 차이가 인정되지 않았다. 이삭 관련 형질 중에서는 이삭 길이만 지역간 차이가 나타나 공시품종들은 평균적으로 충북지역보다는 대구지역에서 평균 길이가 긴 이삭을 생성하는 것으로 조사되었다.

사료용 옥수수에서는 수량, 간장, 엽면적비, 천립중 등의 형질이 지역간 상호작용의 효과가 매우 유의한 수준에서 작용할 뿐만 아니라 출용기, 출사기, ASI도 지역과 교잡종간 상호작용 효과의 유의성이 나타나는 것으로 보고되었다.

이면교잡분석

일반조합능력과 특수조합능력의 유의성 분석을 위해 대비품종3개와 시험용 교잡종 1개를 제외한 총 10개의 반이면교배조합에 대한 분산분석을 실시하였다(Table 4).

그 결과 일반조합능력과 지역 간의 상호작용이 유의하게 나타난 형질은 착수고($p=0.0277$), 주당 분얼수($p=0.0025$), 이삭당 무게($p=0.0482$), 이삭길이($p=0.0161$), 당도($p=0.0116$)의 5개 형질이었으며 특수조합능력과 지역 간의 상호작용이 유의하게 나타난 형질은 이삭폭($p=0.0282$), 상품성($p=0.0193$), 당도($p=0.0202$)의 3개 형질이었다. 이 중 당도는 일반조합능력과 지역 간의 상호작용 효과도 유의미하게 나타나 찰옥수수 풋이삭의 당도는 육종을 통해 개량하기 매우 힘들 형질 중 하나인 것으로 파악되었다.

상호작용 효과가 인정되지 않은 형질들 중 일반조합능력의 유의성이 인정된 형질은 출용기($p=0.0364$), 출사기($p=0.004$), 출용기 적산온도($p=0.0419$), 출사기 적산온도($p=0.0029$), 착수

Table 4. Analyses of variance for half-diallel crosses across 2 locations. P-values are presented in the table.

Source of Variation ^z	df	Flowering traits ^y						Plant morphology traits ^x			
		Tassel	Silk	ASI	GDD_T	GDD_S	GDD_ASI	PH	EH	PEH	No. of tiller / plant
Env	1	0.0025	0.0027	0.5918	0.5754	0.6836	0.5307	0.3368	0.0954	0.7523	0.1735
Rep(Env)	2	0.0583	0.1253	0.8131	0.0562	0.1085	0.773	<.0001	0.4573	0.0058	0.1283
GCA	4	0.0364	0.004	0.0965	0.0419	0.0029	0.0899	0.1842	0.0014	0.007	0.1569
SCA	5	0.0518	0.2223	0.5232	0.0579	0.1582	0.5222	<.0001	0.0113	0.6395	0.1226
GCA * Env	4	0.5945	0.4208	0.3105	0.6266	0.3124	0.2184	0.0584	0.0277	0.3249	0.0025
SCA * Env	5	0.2469	0.2802	0.1175	0.2444	0.1863	0.0849	0.1221	0.2458	0.8403	0.1278
Error	18										

Source of Variation	df	Ear traits						Palatability traits				
		weight	width	circum-ference	Row	Length	Husk	Tip	ComV	Tough	Sweet	Sticky
Env	1	0.3351	0.8438	0.1393	0.0121	0.0233	0.0817	0.5133	0.0267	0.4848	0.0068	0.3867
Rep(Env)	2	0.8727	0.3571	0.7284	0.9416	0.4844	0.1416	0.1238	0.737	0.5468	0.8645	0.0558
GCA	4	0.0001	0.0004	0.0006	0.4554	0.0006	<.0001	0.015	0.0021	0.0557	0.001	0.0095
SCA	5	0.0002	0.0008	0.3188	0.8542	0.0804	0.226	0.0855	0.0488	0.0669	0.0059	0.0399
GCA * Env	4	0.0482	0.1193	0.2323	0.292	0.0161	0.3649	0.1939	0.2153	0.325	0.0116	0.8412
SCA * Env	5	0.1331	0.0282	0.1328	0.1285	0.3239	0.3857	0.0702	0.0193	0.1977	0.0202	0.3421
Error	18											

^zGCA=General Combining Ability; SCA=Specific Combining Ability^yASI=Anthesis Silking Interval; GDD_T=Growing Degree Days for Tasseling; GDD_S=Growing Degree Days for Silking,^xPH=Plant Height; EH=Ear Height; PEH=Plant and Ear Height ratio

고율($p=0.007$), 이삭폭($p=0.0004$), 이삭둘레($p=0.0006$), 포엽 감쌈정도($p<0.0001$), 끝달림정도($p=0.015$), 찰성($p=0.0095$), 상품성($p=0.0021$)의 11개 형질이였다. 출웅기와 출사기는 일수나 적산온도나 모두 일반조합능력의 유의성이 있는 것으로 나타났다. 특수조합능력의 경우 간장($p<0.001$), 착수고($p=0.0113$), 이삭당무게($p=0.0002$), 찰성($p=0.0399$)의 4개 형질이였다. 이중 찰성은 일반 및 특수조합능력이 모두 유의하게 나타났다.

일반 및 특수조합능력

이면교잡분석을 통해 추정한 21개 형질에 대한 각 원종의 일반 조합능력과 10개의 반이면교배조합의 특수조합능력은 Table 5와 같다.

각 원종의 일반조합능력을 살펴보면 P₁의 경우 출사는 0.94일 빨라지고 ASI는 0.72일 정도 출사기에 가까워지며 이삭에서 폭은 0.19 cm 두꺼워지며 둘레는 1.01 cm 굵어지며 당도가 0.42 정도 좋아지는 것으로 파악되었으나 이삭의 포엽감쌈 정도는 0.49 정도 나빠지는 것으로 나타났다. 두 번째 원종인 P₂의 경우 주당 분얼수가 0.15정도 줄어들며 이삭 길이를 0.86 cm 증가시키는데 반해 이삭의 포엽감쌈 정도는 0.83 정도 나빠지고

끝달림 정도는 0.82정도 나빠지며 상업성 또한 0.47 정도 좋아지지 않는 것으로 나타나 F₁조합에서 이삭 관련 여러 형질에서 선발에 부정적인 방향으로 영향을 끼치는 것으로 조사되었다.

세 번째 원종 P₃의 경우 출웅기와 출사기를 각각 0.83, 1.28 일 정도 늦추며 이삭 길이를 1.27 cm 짧게 하며 당도와 찰성을 각각 0.75와 1.05만큼 감소시키는 것으로 나타났다. 하지만 포엽 감쌈 정도는 1.81만큼 큰 폭으로 좋게 만들며 이삭의 상업성도 0.78만큼 증가시키는 것으로 나타나 유의성이 인정된 일반조합 능력 추정값 중 이삭 관련 형질에는 좋은 영향을 끼치는 것으로 조사되었다.

네 번째 원종 P₄의 경우 출웅기와 출사기를 1.17 일과 1.47 일 빠르게 하며 착수고 및 착수고율을 각각 8.65 cm와 3.31% 정도 낮추는 것으로 조사되었다. 또한 이삭당 무게를 18.42 g 증가시키며 이삭의 길이를 2 cm 증가시키는 것으로 나타났다. 다만 질감성을 0.76 정도 증가시켜 F₁조합에서 평균보다 이삭의 식감이 나빠질 수 있을 것이라 판단된다.

마지막으로 다섯 번째 원종인 P₅은 유의성이 인정된 모든 일반조합 능력에서 선발에 부정적인 것으로 나타났는데 출사기를 0.75 일 느리게 하며 출웅기와 출사기의 간격을 0.7 일 증가시

Table 5. Estimated general and specific combining ability effects.

		Flowering traits ^x						Plant morphology traits ^w				
	Inbred or hybrid	Tassel	Silk	ASI	GDD_T	GDD_S	GDD_ASI	PH	EH	PEH	No. of tiller / plant	
		(days)	(days)	(days)	(gdd)	(gdd)	(gdd)	(cm)	(cm)	(%)	(no/plant)	
GCA ^z	P ₁	-0.23	-0.94*	-0.72*	-3.28	-14.24*	-10.96*	-2.28	0.18	0.64	-0.03	
	P ₂	0.52	0.39	-0.13	7.8	5.76	-2.12	1.22	-0.23	-0.74	-0.15*	
	P ₃	0.83*	1.28*	0.45	12.22	18.29*	6.24	2.28	0.35	-0.36	0	
	P ₄	-1.17*	-1.47*	-0.3	-17.53*	-20.96*	-3.51	-5.22	-8.65***	-3.31*	0.03	
	P ₅	0.05	0.75*	0.7*	0.8	11.15*	10.35*	4	8.35***	3.77***	0.15*	
SCA ^y	P ₁ × P ₂	-0.28	-0.15	0.13	-4.04	-2.39	1.49	16.1***	7.13*	0.04	-0.22	
	P ₁ × P ₃	-0.08	-0.29	-0.21	-1.71	-3.42	-1.88	5.54	3.54	0.99	-0.05	
	P ₁ × P ₄	-0.08	-0.29	-0.21	-1.21	-5.42	-4.13	-18.96***	-8.96*	-0.64	0.18	
	P ₁ × P ₅	0.44	0.74	0.29	6.96	11.22	4.51	-2.68	-1.71	-0.39	0.08	
	P ₂ × P ₃	-0.83	-0.88	-0.04	-12.29	-12.92	-0.71	2.79	4.96	2.3	-0.07	
	P ₂ × P ₄	1.67*	1.38	-0.29	24.96*	20.83*	-3.96	-17.46***	-13.04***	-3.35	0.05	
	P ₂ × P ₅	-0.56	-0.35	0.21	-8.63	-5.53	3.18	-1.43	0.96	1.02	0.23*	
	P ₃ × P ₄	-0.39	0.24	0.63	-5.71	3.31	9.18	11.99***	6.38***	0.67	0.1	
	P ₃ × P ₅	1.31	0.93	-0.38	19.71	13.03	-6.6	-20.32*	-14.88*	-3.95	0.02	
	P ₄ × P ₅	-1.19	-1.32	-0.13	-18.04	-18.72	-1.1	24.43***	15.63*	3.33	-0.33	
Inbred or hybrid	Ear traits								Palatability traits			
	Weight	Width	Circum-ference	No. of rows	Length	Husk cover	Tip filling	Commercial value	Toughness	Sweetness	Stickiness	
	(g)	(cm)	(cm)	(no)	(cm)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	
	P ₁	4.98	0.19***	1.01***	0.64	-0.69	0.49*	-0.09	0.3	-0.4	-0.42***	-0.41
	P ₂	4.23	0.04	0.34	-0.02	0.86*	0.83***	0.82***	0.47*	-0.33	0.12	-0.19
	P ₃	-8.83	-0.11	0.07	-0.41	-1.27*	-1.81***	-0.54	-0.78***	-0.02	0.75***	1.05***
	P ₄	18.42***	0.02	-0.53	0.09	2***	0.19	-0.04	-0.03	0.76*	-0.25	-0.13
	P ₅	-18.8***	-0.15***	-0.88***	-0.3	-0.91*	0.3	-0.15	0.05	-0.02	-0.21	-0.32
	P ₁ × P ₂	18.78***	0.1	-0.06	-0.14	0.24	-0.39	-0.11	-0.17	0.45	0.8***	-0.43
	P ₁ × P ₃	19.58*	0.23*	0.26	0.25	1.2	0.5	-0.5	0.08	0.83	-0.28	-0.72
	P ₁ × P ₄	-25.67***	-0.15	0.16	-0.25	-1.45*	0.25	0.75	0.33	-1.37*	0	0.75
	P ₁ × P ₅	-12.69*	-0.18***	-0.37	0.14	0.01	-0.36	-0.14	-0.25	0.08	-0.52*	0.4
	P ₂ × P ₃	24.83***	0.2*	0.6	0.92	2.05*	-0.08	-0.92*	-0.83*	0.17	-0.8*	-1.22*
	P ₂ × P ₄	-40.17***	-0.4***	-0.75	-0.58	-1.85*	-0.08	0.33	0.42	-0.08	0.28	1.55***
	P ₂ × P ₅	-3.44	0.09	0.2	-0.19	-0.44	0.56*	0.69*	0.58*	-0.53	-0.29	0.1
	P ₃ × P ₄	2.64	0.01	-0.22	-0.19	-0.19	-0.19	0.44	0.17	0	0	0.07
	P ₃ × P ₅	-47.06***	-0.44***	-0.64	-0.97	-3.06*	-0.22	0.97	0.58	-1	1.08*	1.88*
	P ₄ × P ₅	63.19***	0.53***	0.81	1.03	3.49***	0.03	-1.53*	-0.92	1.45	-0.27	-2.37***

^zGCA=General Combining Ability^ySCA=Specific Combining Ability^xASI=Anthesis Silking Interval; GDD_T=Growing Degree Days for Tasseling; GDD_S=Growing Degree Days for Silking,^wPH=Plant Height; EH=Ear Height; PEH=Plant and Ear Height ratio

*, **, *** indicate statistical significance at α=0.05, α=0.01 and α=0.001, respectively.

키고 착수고와 착수고율을 각각 8.35 cm와 3.77% 증가시키며 주당 분얼수를 0.15개 증가 시켰다. 이삭 관련 형질 중 이삭당 무게를 18.8 g 감소시키고 이삭의 폭, 두레, 그리고 길이를 각각 0.15 cm, 0.88 cm, 그리고 0.91 cm 감소시켜 찰옥수수 1대 교잡종 육성 시 적절한 원종이 아닌 것으로 나타났다.

재래종 찰옥수수 자식계통을 이용한 조합능력에 대한 이전 연구에서는 보성 수집종이 이삭 길이, 백립중에서 양의 상관관계를 가지고 있어서 이삭관련 일반조합능력이 우수한 것으로 보고 되었지만 이삭 두레, 열수에서는 음의 상관관계를 나타내었다 (Choe & Lee 1995).

원종들의 일반조합능력을 조사한 결과 첫번째 원종과 네번째 원종이 F_1 조합에서 선발에 긍정적으로 작용하는 것으로 나타나 두 원종을 찰옥수수 품종 개발을 위한 tester로써 이용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 다만 첫 번째 원종을 tester로 이용할 경우 포엽감쌈 정도가 다소 나빠지고 네 번째 원종을 이용할 경우 질감성이 다소 나빠지기 때문에 이를 보완할 수 있는 형질을 가진 원종과의 교배조합 작성이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

특수조합능력의 경우 모든 10개 조합에서 개화와 관련된 형질에서 그 유의성이 인정된 것은 $P_2 \times P_4$ 에서 출용기, 출용기 및 출사기의 누적 적산온도뿐이었다. 하지만 출용기는 1.67 일 느려지고 출용기 및 출사기의 누적적산온도도 24.96 도 및 20.83 도 더 필요한 것으로 나타나 다른 조합에 비해 개화가 조금 늦어졌다. 개화 관련 형질 특수조합능력이 대부분의 조합에서 통계적 유의성이 나타나지 않았기 때문에 이 들 조합의 개화기는 원종의 일반조합능력으로 예측이 가능할 수 있을 것이라 사료된다.

형태적 특성 관련 형질 중 간장과 착수고의 특수조합능력이 10개 조합 중 6개 조합에서 유의한 것으로 나타났는데 간장에서 유의한 것은 착수고에서도 유의한 것으로 나타났으며 그 증감 또한 동일한 방향으로 이루어졌다. 즉 특정 조합에서 간장을 증가 또는 감소시키는 것은 동시에 착수고 또한 증가 또는 감소시키는 것으로 조사되었다. 이 들 조합 중 특수조합능력에 의해 간장과 착수고가 증가된 것은 $P_1 \times P_2$, $P_3 \times P_4$, $P_4 \times P_5$ 조합이었으며 반대로 간장과 착수고를 감소가 감소된 조합은 $P_1 \times P_4$, $P_2 \times P_4$, $P_3 \times P_5$ 로 조사되었다. $P_2 \times P_5$ 는 10개 조합 중 주당 분얼수의 특수조합능력이 유일하게 유의한 것으로 나타난 조합이었다.

이삭 관련 형질 8개 중 이삭당 무게, 이삭폭, 이삭 길이, 끝달림, 상업성, 포엽감쌈정도에서 각각 8개, 6개, 5개, 3개, 2개, 그리고 1개의 조합에서 특수조합능력의 유의성이 인정되었다. 10개 조합 중 6개 조합에서 유의성이 인정된 이삭폭과 달리 이삭두레의

경우 모든 조합에서 그 유의성이 인정되지 않으며 열수에서도 특수조합능력의 효과는 없는 것으로 나타났다. 특히 이삭당 무게는 10개 조합 중 8개의 조합에서 그 유의성이 인정되었기 때문에 무게가 높은 이삭을 선발하기 위해 일반조합능력만으로 F_1 조합의 이삭당 무게를 예측하기는 쉽지 않을 것으로 사료된다. 예를 들어 이삭당 무게의 일반조합능력이 유일하게 유의적으로 높았던 네 번째 원종은 평균 18.42 g의 이삭당 무게 증가를 증가시키는 것으로 나타났는데 네 번째 원종이 포함된 $P_1 \times P_4$ 과 $P_2 \times P_4$ 조합의 경우 특수조합능력으로 인해 이삭당 무게가 각각 25.67 g 및 47.06 g 감소한 것으로 조사되어 일반조합능력에 의해 이삭당 무게가 18.42 g 증가할 것으로 기대하더라도 특정 조합에서는 그 기대치와는 상반되는 이삭당 무게의 감소를 관측할 수 있었다. 하지만 일반조합능력이 유의적으로 낮았던 다섯 번째 원종과의 교배조합인 $P_4 \times P_5$ 에서는 특수조합능력이 63.19 g로 유의한 것으로 나타나 $P_4(+18.42 \text{ g})$ 와 $P_5(-18.8 \text{ g})$ 의 일반조합능력은 서로 간의 영향을 상쇄 시켰으나 특수조합능력으로 인해 이삭당 무게가 높게 조사된 경우도 관찰 할 수 있었다.

식미 관련 형질의 경우 당도와 찰성의 특수조합능력이 4개 조합에서 유의미하게 나타났으며 질감성에서는 $P_1 \times P_4$ 조합에서만 유의성이 인정되었다. 특히 P_1 과 P_4 는 각각 여러 형질에서 일반조합능력이 좋은 것으로 나타나 앞으로 tester로써의 역할을 할 수 있는 원종으로 선발되었는데 P_4 의 유일한 단점이었던 질감성에 대한 부정적 질감성은 P_1 과의 교배조합에서 긍정적인 특수조합능력으로 인해 상쇄되어 P_4 원종의 단점은 문제가 되지 않았다. 하지만 P_4 원종의 이삭당 무게와 이삭 길이의 경우 그 긍정적 효과에도 불구하고 P_1 과의 교배조합에서는 특수조합능력이 부정적으로 작용하여 결국 이삭당 무게는 평균적으로 낮아지며 길이 또한 크게 길어지지 않는 결과가 나타났다.

조합능력에 대한 사료용 옥수수의 연구에서는 이삭 두레, 이삭 길이, 열수 등의 형질에서 높은 특수조합능력과 비상가적 유전 효과를 나타낸다고 보고되었다(Aliu et al. 2010, Aslam et al. 2017). 흰색 사료용 옥수수의 이면교잡분석 연구에서는 환경 변화의 효과가 출용기, 간장, 이삭장, 수량 등에서 유의한 차이를 나타내며, 특히 수량에 대해서는 교잡종의 특수조합능력과 지역 간 상호작용이 높은 유의성을 나타냈다. 이것은 우성 효과의 발현을 방해하는 환경에서 교잡종 간의 복잡한 상호 작용이 존재하는 것이라 생각되어지며 이것은 환경 변화에도 불구하고 교잡종 조합의 구분된 반응을 추론할 수 있게 한다(Rovaric et al. 2014).

일반조합능력 분산과 특수조합능력 분산의 비율이 1 이상은

Table 6. Estimated GCA an SCA variance and the ratio.

	Flowering traits ^x						Plant morphology traits ^w				
	Tassel	Silk	ASI	GDD_T	GDD_S	GDD_ASI	PH	EH	PEH	Tiller	
GCA ^z	3.14	8.22	2.77	698.2	1763.82	614.1	102.68	335.33	66.29	0.11	
SCA ^y	2.67	2.27	1.03	596.87	534.86	223.43	644.33	198.56	9.14	0.12	
GCA:SCA	1.2	3.6	2.7	1.2	3.3	2.7	0.2	1.7	7.2	0.9	
	Ear traits								Palatability traits		
	Weight	Width	Circum	Row	Length	Husk	Tip	ComV	Tough	Sweet	Sticky
GCA	1498.24	0.17	4.95	1.58	11.98	8.74	2.55	2.08	1.81	1.59	2.88
SCA	1312.09	0.13	0.77	0.63	3.5	0.73	1.43	0.9	1.62	1.02	1.85
GCA:SCA	1.1	1.3	6.4	2.5	3.4	12.1	1.8	2.3	1.1	1.6	1.6

^zGCA=General Combining Ability^ySCA=Specific Combining Ability^xASI=Anthesis Silking Interval; GDD_T=Growing Degree Days for Tasseling; GDD_S=Growing Degree Days for Silking,^wPH=Plant Height; EH=Ear Height; PEH=Plant and Ear Height ratio

것은 매개 변수의 유전적 조절에 있어서 상가적 효과가 우세하다는 것을 의미하는 반면 우성 유전 효과는 덜 중요하다는 것을 의미한다. 이면교잡분석을 통해 추정된 21개 형질에 대한 일반조합능력 분산과 특수조합능력 분산 및 이들 간의 비율(일반/특수)을 살펴 보면 그 비율이 1보다 큰 즉 일반조합능력 분산이 특수조합능력 분산에 비해 큰 형질은 개화기 관련 모든 형질, 형태 관련 형질 중 착수고 그리고 착수고율, 이삭 관련 형질 및 식미 관련 모든 형질 등 총 19개 형질이었다(Table 6). 이 들 중 그 비율이 3 배이상인 형질은 출사기, 출사기의 누적적산온도, 착수고율, 이삭폭, 이삭길이, 포엽감쌈정도 등 6개 형질로 각각 3.6, 3.3, 7.2, 6.4, 3.4, 그리고 12.1이었다. 따라서 이러한 형질들은 육종과 선발을 통해 다른 형질에 비해 비교적 쉽게 개량이 가능할 것이라 사료된다.

반면 간장과 주당 분얼수는 일반조합능력 분산과 특수조합능력의 분산비가 각 각 0.2 및 0.9로 나타나 일반조합능력 분산에 비해 특수조합능력의 분산이 더 큰 것으로 나타났는데 특히 주당 분얼수는 그 비율이 매우 낮아 육종을 통한 품종 개량이 어려운 형질일 것이라 기대된다.

사료용 옥수수를 이용한 연구에서는 이삭 폭, 이삭 길이, 백립 중, 이삭 열수 등이 1이상의 값을 나타냈고, 엽면적비, 간장, 출웅기, 출사기 등의 형질에서는 1보다 작은 값으로 보고되었다(Murtadha et al. 2016, Aslam et al. 2017).

적 요

본 연구는 국내 수집 재래종 찰옥수수로부터 개발된 얇은

과피를 가진 찰옥수수 원종을 이용하여 원종간 반이면교배조합의 평가를 통해 주요 농업 및 식미 관련 형질에 대한 이면교잡 분석을 실시하여 찰옥수수 품종 개발 시 중요한 관심 형질들의 일반 및 특수조합능력을 파악하여 앞으로의 품종개발 과정에서 tester로써 사용할 원종들을 선발할 목적으로 실시되었으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대비품종을 포함하는 모든 14개 공시 교잡종의 2개 지역 통합 분산분석 결과 지역과 교잡종간의 상호작용이 유의한 형질은 간장, 착수고, 주당 분얼수, 이삭당 무게, 끝달림 정도, 상품성 그리고 당도로 나타났다.
2. 대비품종을 제외한 반이면교배조합 10개 교잡종만을 가지고 실시한 이면교잡분석에서 일반조합능력과 지역간 상호작용 효과의 유의성이 인정된 형질은 착수고, 주당 분얼수, 이삭당 무게, 이삭 길이, 당도 였으며 특수조합능력과 지역간 상호작용 효과의 유의성은 이삭폭, 상품성 및 당도에서만 인정되었으며 당도는 모든 조합능력에서 지역간 상호작용이 나타났다.
3. 일반조합능력의 추정값은 첫 번째 원종과 네 번째 원종에서 선발에 긍정적인 영향을 미치는 형질에서 유의성이 인정된 것이 많았다.
4. 첫 번째 원종은 출사기, ASI, 출사기의 누적적산온도, ASI의 누적적산온도, 이삭폭, 이삭둘레 그리고 당도에서 품종의 특성을 향상시키는 일반조합능력을 장점이 있었으며 포엽감쌈정도에서는 단점으로 작용하였다.

5. 네 번째 원종의 일반조합능력을 살펴보면 이 원종과의 교배 조합에서는 출용기, 출사기, 출용기의 누적적산온도, 출사기의 누적적산온도, 간장, 착수고, 이삭당 무게, 이삭길이를 향상시킬 것으로 기대되나 질감성은 다소 높게 나타날 것으로 기대된다.
6. 조사 형질 21개 중 19개의 형질에서 일반조합능력 분산이 특수조합능력 분산에 비해 높게 나타났으며 특히 포엽의 감쌈정도는 그 비율이 12.1로 매우 높게 나타났다. 이에 반하여 간장과 주당 분얼수는 특수조합능력 분산이 더 높게 나타났는데 이 중 간장은 그 비가 0.2로 특수조합능력의 분산이 매우 높은 형질로 조사되었다.

사 사

저자는 본 논문에 이용된 찰옥수수 원종을 개발하기 위해 이용된 찰옥수수 재래종 자원을 분양해 준 농촌진흥청 농업유전 자원정보센터에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Aliu S, Fetahu S, Rozman L. 2010. Variation of physiological traits and yield components of some maize hybrid (*Zea mays* L.) in agroecological conditions of Kosovo. *Acta Agric Slov* 95: 35-41.
2. Aslam M, Sohail Q, Maqbool MA, Ahmad S, Shahzad R. 2017. Combining ability analysis for yield traits in diallel crosses of maize. *J Anim Plant Sci* 27: 136-143.
3. Borralho NMG. 1995. The impact of individual tree mixed models (BLUP) in tree breeding strategies. In *Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality*. Proceedings of CRCTHF- IUFRO Conference. Hobart, Australia. International Union of Forest Research Organizations, Vienna.
4. Choe BH, Lee WK. 1995. Characteristics and combining ability of Korean local waxy maize inbreds and hybrids. *Korean J Crop Sci* 40: 175-184.
5. Dean CA, Correll RL. 1988. Analysis of diallel matings with missing values. *Silvae Genet* 37: 187-197.
6. Falconer SD, Mackay TFC. 1996. *Introduction to quantitative genetics*, 4th ed. Longman, England.
7. Griffing G. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust J Biol Sci* 9: 463-493.
8. Hallauer AR. 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35: 1-6.
9. Hallauer AR. 2001. *Specialty corns*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
10. Hallauer AR, Miranda JB. 1981. *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
11. Han SJ, Oh TY, Kang MJ, So YS. 2015. Change of pericarp thickness and kernel weight at grain filling period and kernel set position in waxy corn hybrids (*Zea mays* L.). *Korean J Int Agric* 27: 63-68.
12. Huber DA. 1993. Optimal mating designs and optimal techniques for analysis of quantitative traits in forest genetics. Ph.D. dissertation, Department of Forestry, University of Florida, Gainesville, FL.
13. Huber DA, White TL, Little RC, Hodge GR. 1992. Ordinary least squares estimation of general and specific combining abilities from half-diallel mating designs. *Silvae Genet* 41: 263-273.
14. Johnson GR, King JN. 1998. Analysis of half diallel mating designs. I - a practical analysis procedure for ANOVA approximation. *Silvae Genet* 47: 74-79.
15. Ketthaisong D, Suriharn B, Tangwongchai R, Lertrat K. 2014. Combining ability analysis in complete diallel cross of waxy corn (*Zea mays* var. ceratina) for starch pasting viscosity characteristics. *Sci Hortic Amsterdam* 175: 229-235.
16. Laude TP, Carena MJ. 2014. Diallel analysis among 16 maize populations adapted to the northern U.S. Corn Belt for grain yield and grain quality traits. *Euphytica* 200: 29-44.
17. Lee EA, Tollenaar M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Sci* 47: 202-215.
18. Lee IS, Choe BH, Lee WK, Lee HB. 1993. Inheritance of pericarp thickness of waxy maize. *Korean J Crop Sci* 38: 489-494.
19. Murtadha MA, Ariyo OJ, Alghamdi SS. 2016. Analysis of combining ability over environments in diallel crosses of maize (*Zea mays*). *J SAUDI Soc Agric Sci* Available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.004>.
20. Park KJ, Park JY, Seo YH, Ryu SH, Choi JK, Kim HY. 2016. Anthocyanin-rich Purple Waxy Corn Single Cross Hybrid "Cheongchunchal." *Korean J Breed Sci* 48: 541-546.
21. Qi H, Huang J, Zheng Q, Huang Y, Shao R, Zhu L, Zhang Z, Qiu F, Zhou G, Zheng Y, Yue B. 2012. Identification of combining ability loci for five yield-related traits in

- maize using a set of testcrosses with introgression lines. *Theor Appl Genet* 126: 369-377.
22. Rovaris SR, Zagatto ME, Sawazaki E. 2014. Combining ability of white corn genotypes with two commercial hybrids. *Maydica* 59: 96-103.
23. Rural Development Administration (RDA). 2013. Guide to Agricultural Technology, 35-Maize.
24. Schaffer HG, Usanis RA. 1969. General least square analysis of diallel experiments. A computer program DIALL. Genetics Department, North Carolina State University, Raleigh, NC.
25. Sprague GF, Tatum LA. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J Am Soc Agron* 34: 923-932.
26. White TL, Hodge GR. 1988. Best linear prediction of breeding values in a forest tree improvement program. *Theor Appl Genet* 76: 719-727.
27. Xiang B, Li B. 2001. A new mixed analytical method for genetic analysis of diallel data. *Can J For Res* 31: 2252-2259.