

찰옥수수 육성계통간 유전적 거리와 잡종강세 정도

이문섭* · 양재현** · 임승빈** · 이희봉**[†]

*미국 일리노이대학교 농학과, **충남대학교 식물자원학과

Genetic Distance and Heterosis Degree Among the Developed Waxy Corn Lines

Moon-Sub Lee*, Jae-Hyeon Yang**, Seung-Bin Lim**, and Hee-Bong Lee**[†]

*Department of Crop Sci. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, USA

**Department of Crop Sci., College of Agriculture & Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

ABSTRACT This study was carried out to find relationships of genetic distance and heterosis expression degree in the developed CNU waxy corn lines. The used material were developed in Corn Breeding Laboratory, Coll. of Agri. & Life Sci., CNU. Total 10 primers used for SSR maker analysis. In genetic distance, the used lines divided into four groups; A group has two lines, B group has one line, C group has ten lines and D group has eleven lines, respectively. Among used lines, CNU427 and CNU588 were very closed as a 74, while CNU451 and CNU429 were remote as a 40 inbred coefficient, respectively. While heterosis degree were very variable not only hybrids but also cross parents. Average heterosis of most cross-parent was high in plant height, ear height, flowering day and ear length. Especially, CNU H09-23 hybrid was high as 79.4% than other hybrids. Here, we gained the fact has closely relationship between genetic distance and heterosis.

Keywords : heterosis, reciprocal crossing, waxy corn, cross parent

옥수수(*Zea mays* L.)는 열대작물로 광과 온도의 영향을 크게 받기 때문에 작물생산에 크게 좌우되는데, 특히 광도가 높을수록 광합성 능력이 높게 나타남으로 광포화점이 높다(Cho, 2001). 옥수수 연구개발은 잡종강세 이론이 도입되면서 크게 활기를 띠게 되었는데 1900년대 초 미국을 중심으로 방임수분 옥수수가 재배되었으나(Troyer, 1999) 잡종강세에 의한 육종법이 효과적인 것으로 밝혀짐으로써 1960년대 후반부터 단교잡종이 개발되어 재배 및 생산량 증대에 크게 기여 하고

있다(Son *et al.*, 2014). 따라서 본 연구는 자식계통간 상호교배에 의해 작성된 교잡종에 대한 잡종강세 발현정도를 효과적으로 비교 분석하기 위하여 계통간 유연관계와 잡종강세 정도를 비교분석하여(Park *et al.*, 1994) 우수 교잡종 생산을 위한 최적의 교배조합을 선발하기 위한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 공시재료는 충남대학교 유전육종학 실험실에서 작성한 CNU09H-1의 29조합의 교잡종과 대조구로 본인 등이 육성 보고된 대덕찰 1호(Lee *et al.*, 2010)와 대학찰 골드 1호(Lee *et al.*, 2009), 홍천 옥수수 시험장에서 육성한 미백 2호(Park *et al.*, 2007), 연농찰(Choe *et al.*, 2002)을 사용하였다. 이들 각각에 대한 교배친은 Table 1과 같다.

공시된 30개의 교잡종은 2012년 4월 23일 충남대학교 옥수수 육종포장에 재식밀도를 70 cm × 30 cm으로 하고 주당 2립씩 점파한 후 본엽 3엽기에 1본씩 남기고 솟아주었다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 성분비로 10a당 각각 20 kg -15 kg -10 kg 전량기비로 사용하였다. 경운 및 정지 작업시 토양살충제를 처리 하고 점파와 복토 후 비닐멀칭 재배하였고, 생육 중 조명나방 발생 성기에 후라단 2 kg을 10a당 1회 살포하였다. 기타 비·배 관리는 옥수수 표준 경종법에 준하였다.

잡종강세

공시 교배친 및 F₁에 대한 주요 식물학적 특성조사는 옥수수 특성평가 기준에 따라 간장, 경직경, 착수고, 분얼수,

[†]Corresponding author: (Phone) +82-42-821-5727 (E-mail) hblee@cnu.ac.kr

<Received October 5, 2015; Revised October 27, 2015; Accepted December 7, 2015>

Table 1. 30 Crossing combination and their parents used in F₁.

Hybrids	Sex	Line	Source	Hybrids	Sex	Line	Source
H09-1	♀	CNU 212	Buan, S ₉	H09-14	♀	CNU 474	Jeongan, S ₁₂
	♂	CNU 183	Sinpyung, S ₁₀		♂	CNU 183	Sinpyung, S ₁₀
H09-3	♀	CNU 310	Daekak chal, S ₈	H09-15	♀	CNU 474	Jeongan, S ₁₂
	♂	CNU 183	Sinpyung, S ₁₀		♂	CNU 451	Jeongseon, S ₁₁
H09-4	♀	CNU 302	Young, S ₇	H09-16	♀	CNU 427	Hyeoncheon, S ₈
	♂	CNU 183	Sinpyung, S ₁₀		♂	CNU 364	Gunsan, S ₁₁
H09-5	♀	CNU 422	Taeon, S ₈	H09-17	♀	CNU 588	Anyang, S ₉
	♂	CNU 422	Taeon, S ₈		♂	CNU 576	Gongduk, S ₁₀
H09-6	♀	CNU 429	Nonsan, S ₁₀	H09-18	♀	CNU 737	Annam, S ₁₀
	♂	CNU 172	Pyonchan, S ₁₀		♂	CNU 848	Yong dong, S ₁₀
H09-7	♀	CNU 441	Okkyu, S ₇	H09-20	♀	CNU 50	Gyoam S ₇
	♂	CNU 172	Pyonchan, S ₁₀		♂	CNU 364	Gunsan, S ₁₁
H09-8	♀	CNU 450	Sannae, S ₇	H09-24	♀	CNU 383	Eunsan, S ₈
	♂	CNU 172	Pyonchan, S ₁₀		♂	CNU 364	Gunsan, S ₁₁
H09-9	♀	CNU 454	Haman, S ₇	H09-25	♀	CNU 245	Miwon, S ₁₀
	♂	CNU 172	Pyonchan, S ₁₀		♂	CNU 248	Okcheon, S ₇
H09-10	♀	CNU 454	Haman, S ₇	H09-26	♀	CNU 248	Okcheon, S ₇
	♂	CNU 436	Haman, S ₇		♂	CNU 250	Hapdeok, S ₈
H09-11	♀	CNU 454	Haman, S ₇	H09-27	♀	CNU 253	Cheongan S ₉
	♂	CNU 457	Sirok, S ₁₁		♂	CNU 255	Chilok, S ₈
H09-12	♀	CNU 457	Sirok, S ₁₁	Check	Mibak1, Yeonnonchal, Daehakchal Gild 1, Daedukchal 1		
	♂	CNU 451	Jeongseon, S ₁₁				

이삭길이, 이삭직경 및 개화기를 조사하였다. 집중강세에 대한 발현정도는 교잡종(F₁)과 양친의 평균값(mid-parents)의 차이를 백분율(%)로 계산하였다.

$$Heterosis(\%) = \frac{F_1 - midparent}{Midparent} \times 100$$

SSR marker

DNA 추출

공시 교배친 옥수수의 DNA 추출은 파종 후 3~4엽이 전개 되었을 때 채취한 재료를 액체질소와 함께 14 ml Falcon tube 에 넣고 24시간 후에 glass bar로 완전히 마쇄 하였다. 이후 700 µl의 1 × Lysis buffer (20% SDS, 0.5M EDTA, 10 × Lysis buffer, Urea)를 넣어 잘 섞은 후, 65°C의 water bath에 서 15분 반응 시켰다.

SSR primer

교배친간 근연관계를 유전적 거리에 의해 비교 분석하고 자 사용된 SSR primer는 10개를 사용하였다(Table 2).

Table 2. SSR primer sequence used in this study.

Primers	Sequence
Phi021	TTCCATTCTCGTGTTCTTTGGAGTGGTCCA// CTTGATCACCTTTCCTGCTGTCGCCA
Phi034	TAGCGACAGGATGGCCTCTTCT// GGGGAGCACGCCTTCGTTCT
Phi049	CTTCTGTTCCATCCAGTATGTT// GATTGCGATAACATTGCGCAAGTTGT
Phi054	AGAAAAGAGAGTGTGCAATTGTGATAGAG// AATGGGTGCCTCGACCAAG
Phi056	ACGCCAGATCTGTTCTTCTC// ATGGCGGCAGGCCGATTGTT
Phi061	GACGTAAGCCTAGCTCTGCCAT// AAACAAGAACGGCGGTGCTGATTC
Phi075	GGAGGAGCTACCGGCGCATAA// AAAGGTTACTGGACAAATATGCGTAACTCA
Phi113	GCTCCAGGTCGGAGATGTGA// CACAACACATCCAGTGACCAGAGT
Phi119	GGGCTCCAGTTTTTCAGTCATTGG// ATCTTTCGTGCGGAGGAATGGTCA
Phi127	ATATGCATTGCCTGGAAGTGAAGGA// AATTCAAACACGCCTCCCGAGTGT

Table 3. Mixture compositions and PCR conditions for amplification in SSR analysis.

Mixture		PCR cycles
Template DNA	5 μ l	Step 1 : 95°C, 3min
dNTP	0.8 μ l	Step 2 : 95°C, 1min
10 x buffer	2 μ l	Step 3 : 55°C, 1min
Taq polymerase (50ng/ μ l)	0.1 μ l	Step 4 : 72°C, 2min
P-primer (50ng/ μ l)	1 μ l	Step 5 : go to step 2 (35times)
DDW	11.14 μ l	Step 6 : 72°C, 5min

PCR 조건

DNA 증폭을 위하여 실시한 PCR 조건을 살펴보면 5 ng의 genomic DNA, 2.5 mM의 dNTP, 10 × buffer (MgCl₂ 2.0 mM), Taq polymerase 1 u/ μ l (TaKaRa), P-primer (1 ng/ μ l), DDW를 첨가하여 sample 당 총 반응 액을 20 μ l로 하였고, PCR반응은 GeneAmp PCR Ssystem 2700 기기를 사용하였다. PCR에 실시된 반응 시간 및 온도 조건은 Table 3과 같다. 증폭된 DNA의 크기 및 밴드의 유무를 확인하기 위해 1차로 3% agarose gel에서 전기 영동하여 UV trans-illuminator에서 관찰한 후 이를 바탕으로 최적조건을 찾아 PCR 반응을 수행하였다.

염색방법

PCR 반응을 통해 생성된 반응물은 10 μ l의 DNA 변성용 loading buffer [98%formamide, 10 mM EDTA (pH 8.0), 0.1% bromophenol blue, 0.1% xylene cyanol]를 혼합하여 95°C에서 5분간 denaturing 시킨 후 3 μ l씩 취하여 6% denaturing polyacrylamide sequencing gel에서 전기영동 시켰다. Gel 유리 판은 분리가 용이하게 하기 위해 증류수와 EtOH로 깨끗이 세척하고 repel silane을 상판에, binding silane을 하판에 처리하였다. 전기영동 후엔 상판과 하판을 분리하고 gel이 붙어있는 하판을 10% acetic acid인 fix/stop solution에서 tracking dye가 없어질 때까지 천천히 흘들면서 고정시켰다. 고정반응이 끝나면 3차 증류수로 2분간 3회 세척하고 염색을 위해 3차 증류수 2 L에 30% formaldehyde 3 ml와 silvernitrate (AgNO₃) 2 g을 혼합한 staining solution에 약 30분간 흘들여 주었다. 염색된 gel은 3차 증류수로 세척 후, 냉각된 developing solution [3차 증류수 2L, sodium carbonate 60 g, 30% formaldehyde 3 ml, sodium thiosulfate (10 mg/ml) 400 μ l] 2L를 각각 1L씩 나누어 담은 후 첫 번째 developing solution에서 첫 band가 나타날 때까지 반응시키고 나머지 developing solution으로 옮겨 2~3분 내지 모든 band가 나타날 때까지 developing 한 후에 마지막으로 fix/stop solution에서 고정시킨 후 3차 증류수로 2회 세척하고 건조하였다.

Table 4. Heterosis degree of each characteristics in F₁ hybrids using mid-parent.

Characters	Stem ht.	Ear ht.	Ear length	Days to tassell.	Total mean [‡]	Characters	Stem ht.	Ear ht.	Ear length	Days to tassell.	Total mean [‡]
Hybrid	(A)	(B)	(C)	(D)		Hybrid	(A)	(B)	(C)	(D)	
H09-1	36.8	69.0	47.6	-9.5	40.7	H09-15	101.4	94.5	22.7	-18.7	59.3
H09-2	70.2	68.8	20.8	-17.9	44.4	H09-16	79.6	51.4	91.6	-0.8	55.9
H09-3	63.3	31.5	41.5	-12.2	37.2	H09-17	98.1	173.5	4.3	3.9	66.9
H09-5	44.5	55.0	19.1	-27.0	33.5	H09-19	76.1	128.5	93.2	-13.5	77.8
H09-6	103.9	91.5	46.4	-14.9	64.2	H09-21	84.2	101.9	57.3	0.0	60.8
H09-7	68.3	36.9	32.5	-6.3	36.0	H09-22	94.8	118.3	80.6	-12.3	76.5
H09-8	61.5	83.4	21.9	-17.9	46.2	H09-23	61.7	174.4	81.6	0.0	79.4
H09-9	47.4	53.5	60.	-10.8	43.0	H09-25	42.9	46.3	9.7	-19.2	29.5
H09-10	102.9	50.3	60.	-11.3	53.6	H09-26	94.5	112.5	13.7	-20.0	60.2
H09-11	162.0	60.0	28.1	-16.5	66.7	H09-27	94.7	103.8	24.3	-18.1	60.2
H09-12	64.3	59.4	16.2	-17.5	31.3	H09-28	87.7	82.6	17.6	-14.5	50.6
H09-13	85.2	96.4	45.1	-16.3	60.7	H09-29	28.5	35.2	96.2	-21.7	45.4
H09-14	75.7	116.7	26.5	-22.1	60.2	Mean	77.2	83.8	37.8	-13.4	53.0

$$^{\dagger} \text{Heterosis}(\%) = \frac{F_1 - \text{midparent}}{\text{Midparent}} \times 100$$

$$^{\ddagger} (A+B+C+D)/n, n: \text{number of item surveyed}$$

결과 및 고찰

잡종강세 정도

Table 4는 잡종강세의 정도를 나타낸 것으로써 간장의 평균 잡종강세는 77.2%로 높게 나타났는데 공시종 중에서는 CNU H09-6, CNU H09-10, CNU H09-11에서 100%이상으로 높았는데, 그중에서 CNUH09-11가 가장 높은 162.0%를 보였다. 착수고는 평균 83.8%의 잡종강세를 보였는데, 특히 CNU H09-17에서 173.5%의 높은 값을 보였다. 이삭길이는 CNU H09-17에서 4.3을 제외하고는 모든 공시종에서 잡종강세가 높게 나타났으며, CNU H09-29에서 96.2%로 가장 높았다. 개화기의 경우 평균잡종강세는 -13.4%로 나타났는데 CNU H09-5에서 -27%로 가장 높은 부(-)의 잡종강세를 나타낸 반면에 CNU H09-21, CNU H09-23 교잡종의 개화기는 잡종강세 현상이 나타나지 않았으며, CNU H09-17 교잡종의 개화기는 교배친보다 늦은 정(+)의 잡종강세를 보였다. 이와 같이 교잡종이 양친보다 잡종강세 값이 낮거나 부의 값을 보인 것은 개화기가 단축되었다는 것을 의미하는 잡종강세 육종에 매우 중요하다. 간장과 착수고, 이삭길이, 개화기에 대한 잡종 강세 정도를 합한 값을 평가항목으로 나눈 값으로 나타 내었을 때 CNU H09-23에서 79.4%, CNU H09-19에서 77.8% 로 여러 중요특성에서 잡종강세 현상이 모든 특성에서 뚜렷했음을 알 수 있다.

SSR 분석

국내 옥수수 수집 유전자원에 대해 계통육성을 실시한 결과 Table 1과 같이 30계통을 육성 하였으며 이들 교배친간 근연

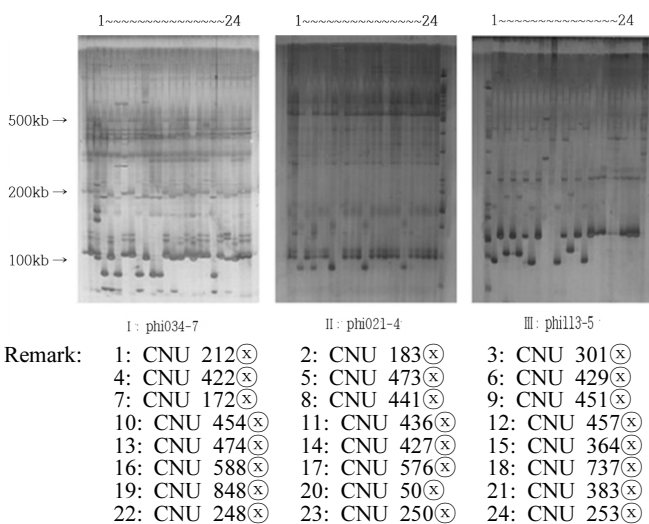


Fig. 1. SSR markers of cross parents expressed by each three primer.

관계 분석을 위해 사용된 Primer 10종 중 특이적인 반응을 보인 3종의 primer에서 뚜렷한 계통간 차이를 보였는데 이에 대한 SSR 마커의 DNA 밴드 양상은 Fig. 1과 같다.

교배친의 유연관계

공시된 교배친간의 근연관계를 비교하기 위해 SSR마커를 사용해서 나타낸 dendrogram은 Fig. 2와 같다.

Table 5에서 최대 유전적 거리를 보인 조합은 CNU23과 CNU22에서 64.6으로 매우 높은 반면 CNU19과 CNU2간에는 21.5로 낮게 나타났다. CNU9과 CNU17의 잡종강세는 평균 66.9%로 높게 나타났지만 근연관계 유사도 Table 4에서는 31.6로 다소 낮게 나타났고 CNU9과 CNU12에서는 잡종강세가 31.3으로 나타났고 유전적 거리는 34.3로 나타났다. 이렇듯 잡종강세와 유전적 거리 간에 있어 일정한 경향을 나타내었다. 이에 대해(Lee et al., 1989; Godshalk et al., 1990; Martin et al., 1995; Melchinger et al., 1990)은 대부분의 교잡 조합에서 뚜렷한 잡종강세 현상이 나타나지 않는다는 보고와 일치 하지 않는데 본인 등은 교배친의 잡종강세의 정도는 교배친간에서 조합 능력이 최대한 발휘할 수 있는, 품종, 환경, 품종X환경 등 많은 요인이 작물생육에 크게 작용하기 때문이라고 판단되었다.

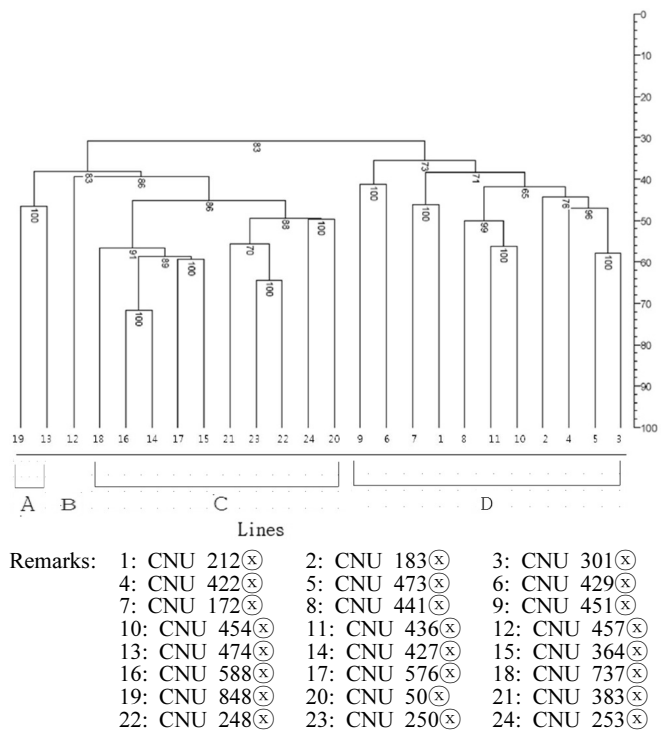


Fig. 2. Dendrogram for cross parents lines expressed by SSR markers.

Table 5. Genetic distance among cross parents used in this study.

♀ \ ♂	3	5	4	2	10	11	8	1	7	6	9	20	24	22	23	21	15	17	14	16	18	12	13	19	
3	100																								
5	58.0	100																							
4	48.9	45.1	100																						
2	50.7	37.0	45.3	100																					
10	41.3	45.4	39.8	38.8	100																				
11	39.7	50.7	25.3	39.2	56.2	100																			
8	50.1	50.0	39.6	43.3	50.7	49.6	100																		
1	48.6	36.2	39.9	43.3	31.1	33.8	36.7	100																	
7	36.9	37.9	39.7	36.6	39.2	36.9	39.2	46.2	100																
6	31.8	39.5	46.3	41.2	33.2	33.2	36.7	37.0	40.9	100															
9	37.6	32.2	30.9	31.3	35.6	34.2	38.0	23.9	33.2	41.3	100														
20	30.8	26.7	27.0	24.4	37.7	33.4	35.2	25.7	29.5	34.1	32.5	100													
24	27.8	29.6	28.6	30.0	32.5	29.9	26.0	21.8	29.5	25.6	27.0	49.6	100												
22	23.5	26.1	34.8	27.6	37.1	26.6	27.1	24.2	15.8	28.3	20.3	48.8	52.1	100											
23	22.1	26.3	30.4	33.0	36.3	24.7	35.6	31.0	21.2	25.8	30.3	50.4	48.9	64.4	100										
21	22.8	20.7	20.2	32.6	34.6	29.6	27.9	26.6	22.6	23.2	25.3	49.1	47.4	60.8	50.5	100									
15	30.9	27.6	22.7	24.1	39.7	37.1	31.4	37.0	37.3	31.2	30.6	41.0	42.2	40.2	45.4	36.8	100								
17	31.0	24.9	29.1	34.2	34.7	33.9	40.0	30.9	34.1	33.9	31.6	44.4	45.2	45.1	48.0	46.0	59.4	100							
14	33.8	32.6	30.0	30.6	43.3	35.6	38.6	46.2	35.7	45.6	30.4	44.0	45.2	40.7	49.7	38.3	61.5	61.9	100						
16	26.2	27.6	28.1	32.9	27.7	27.5	31.9	36.2	34.0	38.7	28.0	40.9	44.8	39.0	46.8	44.9	55.9	55.6	71.6	100					
18	26.3	23.3	26.7	31.7	36.8	28.6	34.2	29.1	30.0	31.1	29.4	48.6	47.7	50.4	57.5	53.9	56.4	56.4	56.2	57.8	100				
12	30.9	32.1	25.8	35.7	40.2	42.1	42.1	24.4	42.0	34.4	34.3	34.4	41.1	29.5	34.0	35.9	48.9	40.3	49.0	41.2	40.1	100			
13	41.3	37.8	23.0	30.8	33.7	35.9	30.9	31.5	32.2	30.7	36.0	41.4	35.3	23.8	28.9	34.9	47.1	35.5	53.6	33.4	30.6	42.2	100		
19	25.9	31.1	30.1	21.5	37.4	33.0	41.6	24.6	28.0	24.4	35.4	48.6	42.5	40.2	36.3	37.7	38.4	38.6	40.8	34.4	39.7	36.3	46.6	100	

Remarks: 1: CNU 212(⊗) 2: CNU 183(⊗) 3: CNU 301(⊗) 4: CNU 422(⊗) 5: CNU 473(⊗) 6: CNU 429(⊗)
 7: CNU 172(⊗) 8: CNU 441(⊗) 9: CNU 451(⊗) 10: CNU 454(⊗) 11: CNU 436(⊗) 12: CNU 457(⊗)
 13: CNU 474(⊗) 14: CNU 427(⊗) 15: CNU 364(⊗) 16: CNU 588(⊗) 17: CNU 576(⊗) 18: CNU 737(⊗)
 19: CNU 848(⊗) 20: CNU 50(⊗) 21: CNU 383(⊗) 22: CNU 248(⊗) 23: CNU 250(⊗) 24: CNU 253(⊗)

적 요

공시된 교잡종에 대한 중요 식물학적 특성에 대해, 잡종강세를 양친 중간 값으로 나타낸 결과 공시종 중에서 잡종강세가 현저한 간장의 평균 값은 77.2%이었고 37.8% 착수고는 83.8%로 나타났다. 각 교잡종별 잡종강세 정도 간장의 경우 H-11에서 162%로 가장 높았고, 착수고는 H-14에서 116.7%로 높았다. 개화기는 대부분의 교잡종에서 부(-)의 값을 보여 교잡종이 교배친보다 개화기가 단축되었는데 특히 H-5는 -27%로 개화기가 빨랐다. 전체 이삭길이의 평균 잡종강세는 37.8%로 낮게 나타났으나 H-29 교잡종은 96.2%로 높 나타났다. 또한, 10개의 primer 이용한 계통간 상호교배에 의한

교잡종에 대한 SSR 마커를 이용한 유전적 거리에 대한 분석 결과 크게 4그룹으로 분류 되었다. CNU16과 CNU14간에 가장 가까운 근연계수를 보였고, CNU6과 CNU9간 그리고 CNU19와 CNU13간에 가장 먼 근연계수를 보였다. 간장은 CNU454, CNU457간의 조합인 2군과 4군간의 조합에서 잡종강세가 162%로 가장 높았고, 이삭길이는 CNU258/CNU251, CNU915/CNU799 및 CNU427/CNU36 조합에서 높은 값을 보였다. 유전적 거리는 근연관계가 멀수록 값이 낮고, 반대로 근연관계가 가까울수록 유전적 거리는 낮게 나타나는데 이삭길이 등은 유전적 거리가 가까운 90%의 높은 값을 보였다.

사 사

본 연구는 2014년 충남대학교 자체연구 CNU학술연구 지원사업(2014-2084-01)의 지원으로 수행되었음.

인용문헌(REFERENCES)

- Cho, D. H. 2001. Photosynthetic Performance of Transgenic Rice Plants Overexpressing Maize C₄ Photosynthesis Enzymes. *Korean J. Crop Sci.* 2001(1) : 30-38.
- Choi, K. J., S. E. Park, M. S. Chin, H. S. Lee, and K. Y. Park. 1994. Heterosis and Heritability of Stay-Green Characters in Maize. *Korean J. Breed.* 26(1) : 53-60.
- Diers, B. W., P. B. E. McVetty, and T. C. Osborn. 1996. Relationship between Heterosis and Genetic Distance Based on Restriction Fragment Length Polymorphism Markers in Oilseed Rape(*Brassica napus* L.) *Crop Sci. Vol.* 36 : 79-83.
- East E. M. Heterosis. 1936. *Gen.* 21 : 375-397.
- Frova, C. P., D. F. N. Krajewski, M. Villa, and M. Sari-Gorla. 1999. Genetic analysis of drought tolerance in maize by markers. I. Yield components. *Theor. Appl. Genet.* 99 : 280-288.
- Ji, H. C., Y. I. Kim, H. B. Lee, and J. W. Cho. 2007. Genetic Diversity of colored Rice Lines Based on Botanical Characteristics and Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 52(2) : 287-293.
- Lee, H. B., H. G. Kim, J. Y. Jung, H. G. Choi, D. U. Kim, and J. P. Kim. 2001. Growth and Yield in Waxy Maize Hybrid, "Yeonmong x Jaerae" *Korean J. Breed.* 28(2) : 65-69.
- Lonnquist, J. H. and C. O. Gardner. 1960. Heterosis on Intervarietal Crosses in Maize and Its Implication in Breeding Procedures. *Crop Sci.* pp. 179-183.
- Maroof, M. A. S., G. P. Yang, and Q. F. Zhang. 1997. Correlation between Molecular Marker Distance and Hybrid Performance in U.S. Southern Long Grain Rice. *Crop Science Vol.* 37 : 145-150.
- Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and Genetic Diversity in Variety Crosses of Maize. *Crop Sci.* 2 : 197-198.
- Paterniani, E. and J. H. Lonnquist. 1963. Heterosis in Interracial Crosses of Corn. *Crop Sci. Vol* 3 : 504-507.
- Penny, L. H., W. A. Russell, and G. F. Sprague. 1962. Types of Gene Action in Yield Heterosis in Maize. *Crop Sci. Vol* 2 : 341-344.
- Robinson, H. F. and C. C. Cockerham. 1961. Heterosis and Inbreeding Depression in Populations Involving Two Open-pollinated Varieties of Maize. *Crop Sci.* 1 : 68-71.
- Son, B. Y., S. B. Baek, J. T. Kim, J. S. Lee, W. H. Kim, and J. H. Roh. 2014. A New Single Cross Maize Hybrid for silage and Grain 'Cheongdaok' with Lodging Tolerance. *Korean J. Breed. Sci.* 46(2) : 172-177.