

Research Article

고위도 기후대 재배 적합 국산 사료용 옥수수 품종 선발

손재한^{1*}, 배환희¹, 고영삼¹, 하준영¹, 구본일³, 백만기³, 김정주², 손범영¹, 정태욱¹

¹국립식량과학원 중부작물과

²국립식량과학원 재배환경과

³국립식량과학원 철원출장소

Selection of Forage Corn Varieties Adapted to High Latitude (The South of Mt. Suyang)

Jae-Han Son^{1*}, Hwan-Hee Bae¹, Young Sam Go¹, Jun-Young Ha¹, Bonil Ku³, Man-Kee Baek³,
Jeong-Ju Kim², Beom-Young Son¹ and Tae-Wook Jung¹

¹Central Area Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 16429, Republic of Korea

²Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 16429, Republic of Korea

³National Institute of Crop Science, RDA, Cheorwon, 24040, Republic of Korea

ABSTRACT

Since maize (*Zea mays* L.) originated in central and south America, it requires warm climate conditions throughout its growing season. Growth halts when night-time temperatures drop below 10°C, and the plant may die if temperature reach -1.7°C. Thus, temperature should be maintained between 10 and 30°C from seeding to maturity. The germination temperature for maize should be at least 8-11°C, whit an optimal range 32-34°C. Since temperature significantly affects the germination rate and period, it plays a crucial role in maize growth. In this study, we evaluated the quantity and feed value of 11 major varieties to determine those best suited for maize cultivation as feed in higher latitude, specifically in Democratic People's of Republic of Korea, below 38 degrees north. A cultivation test was also conducted in Suwon in Republic of Korea, to assess adaptability in areas south of Mt. Suyang. Among the varieties tested, Shinhwangok2 reached silking the fastest, in 65 days, while Gwangpyeongok took the longest at 75 days. The stem length of all varieties exceeded 230 cm. Gwangpyeongok had the tallest stems, while Daanok and Shinhwangok2ho displayed the highest ear ratios. Dacheongok presented the highest values in both dry matter and TDN quantity, with 31,420 kg/ha and 21,66 kg/ha respectively. Pyeonggangok had the highest crude protein content at 8.0%. TDN (%) ranged from 57-68%, with Hwangdaok reaching up to 68%. Based on these findings, Dacheongok and Pyeonggangok appear to be the most suitable varieties for cultivation in terms of both quantity and feed value.

(Key words: Maize, High latitude, Cultivar)

I. 서론

세계 3대 작물 중 하나인 옥수수(*Zea mays* L.)는 풋옥수수 또는 가공식품으로서 식용으로 이용할 뿐만 아니라 가축의 배합사료 및 조사료로 이용 가치도 매우 높은 작물이다. 우리나라의 사료용옥수수 재배면적은 12,600 ha 정도이며 종자자급률은 22%이다(Son et al., 2022). 현재 우리나라의 사료용옥수수 재배는 증가하는 추세에 있으며, 대부분 부족한 경지면적 탓에 논에서 재배가 이루어지

고 있다(Ji et al., 2011; Kim et al., 2017). 우수한 사료용옥수수, 특히 조사료용(사일리지) 옥수수는 단위면적당 건물수량과 TDN 수량 및 함량(%)이 높아야 한다. 국립식량과학원에서 육성된 주요 사료용 품종은 광평옥, 다청옥, 신헌옥 등이며, 현재 광평옥, 다청옥과 같은 우수한 품종의 국내 재배가 점차 늘어나고 있는 추세이다. 광평옥은 내재해성이 강한 품종으로 2000년에 출원되었고, 다청옥(2017년 출원)은 건물 및 TDN 수량이 매우 높다(Moon et al., 2001; Son et al., 2018). 2002년부터 2019년까지 개발된 품종은

*Corresponding author: Jae-Han Son, Central Area Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 16429, Republic of Korea
Tel: +82-31-695-4045, E-mail: pathfinder1@korea.kr

청안옥(2002), 장다옥(2003), 강다옥(2005), 평안옥(2008), 다평옥 및 청다옥(2010), 평강옥 및 안다옥(2011), 양안옥 및 신평옥(2012), 다안옥(2013), 신향옥(2015), 황다옥 (2016), 신향옥2호(2019) 등 14개 품종이며, 이들 품종은 조숙, 내재해성(도복 등), 내병충성(혹조위축병 등) 및 수량성(건물중 및 종실중) 증대를 목적으로 개발되었다(Son et al., 2009; Son et al., 2012; Son et al., 2013a; Son et al., 2013b; Son et al., 2014; Son et al., 2017; Son et al., 2022).

북한은 전체인구 중 72%가 극심한 식량난을 겪고 있으며, 특히 성장기에 있는 어린이와 청소년은 동물성 단백질 섭취하기가 매우 어려운 실정이라고 보고되고 있다(UN report, 2019). 북한은 1990년대 이후 식량부족 위기 수준에서 벗어났을 뿐 현재까지도 식량난을 겪고 있다. 최근 2019~2021년까지 평균 생산은 4,570천톤으로 2000년대 초반보다 오히려 감소하여 식량부족 규모는 더욱 늘어났다(KREI, 2022). 북한은 쌀보다 생산량이 높은 옥수수를 2021년 기준 식용 1,954천톤, 사료용 137천톤으로 각각 수급하고 있다. 이러한 상황에서 현재 극심한 식량난과 더불어 성장기 청소년의 동물성 단백질 공급을 위한 축산물 생산성 향상 또한 매우 중요하게 되었다.

최근 기후변화는 농업뿐만 아니라 가축의 수정이나 출산, 산란 등 가축의 생식 현상에 직접적인 변화를 유발할 정도로 영향을 끼치고 있다. 또한 사료용 작물의 생산성 또한 가축 생산과 밀접한 관계에 있기 때문에 기후변화에 대한 대응이 매우 중요하게 되었다(KREI, 2022). 기후변화는 장기간 또는 단기적인 이상기후로 폭염, 폭우, 가뭄, 태풍 등 기상재해를 동반하여 생산물을 저하시킬 수도 있다(KREI, 2022).

따라서 본 연구는 북한의 식량난 해소 및 미래 통일을 대비하여 북한 기후에 적합한 국산 옥수수 품종 선별을 위해 수행되었다. 그러나 북한 지역에서 시험을 수행할 수 없기 때문에, 현지 기후와 유사한 국내 지역에서 재배 시험을 통해 적합한 품종과 재배 방법에 대한 정보를 축적하고자 하였다. 북한 해주의 수양산 이남지역은 우리나라의 경기도 수원에서, 수양산 이북지역은 강원도 철원에서 시험을 수행하여 북한 지역에 적합한 품종을 선별하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험재료 및 방법

시험은 북한의 수양산(38°06'N, 125°42'E) 이남지역과 기후대가 비슷한 수원의 국립식량과학원 중부작물부 발작물시험포장(수원, 37°13'N, 126°55'E)에서 2년(2021~2022년) 간 수행되었다

(Fig. 1.). 시험품종은 국내에서 개발된 광평옥, 장다옥, 청다옥, 평강옥, 양안옥, 다안옥, 신향옥, 다청옥, 황다옥, 신향옥2호와 외국품종 P1543을 포함하여 11개 품종을 이용하였다. 파종은 4월 중순(2021년 4월 22일, 2022년 4월 26일)에 각각 파종하였고, 수확은 출사 후 40일에 수확하였다. 시험구 배치는 난괴법(Randomized block design)으로 3반복 하였고(재배면적 8.4 m²), 재식거리는 60×30cm로 주당 2립 파종 후에 4~5엽기에 1주만 남기고 제거했다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O = 200-150-150 kg/ha으로 인(P)과 칼륨(K)은 전량 기비로 하였고, 질소(N)는 절반은 기비로 주고, 나머지 절반은 7~8엽기에 추비로 주었다. 조사항목으로는 간장, 착수고, 출사일수, 이삭길이, 이삭무게 등 생육 및 수량특성은 농촌진흥청 농업과학기술연구조사분석기준에 따라 조사하였다(RDA, 2012).

2. 옥수수 사료가치 분석

TDN 건물수량은 Pioneer Hi-Bred사가 제시한 공식 TDN(Total Digestible Nutrients) 수량 = (경엽 건물수량 × 0.582) + (암이삭 건물수량 × 0.85)에 의하여 계산하였다(Holland et al., 1990). 그 중 일부를 취하여 믹서기로 분쇄한 후 사료가치 분석을 수행하였다. 시료의 Crude protein (CP)은 A.O.A.C법(1995)에 의해 분석하였

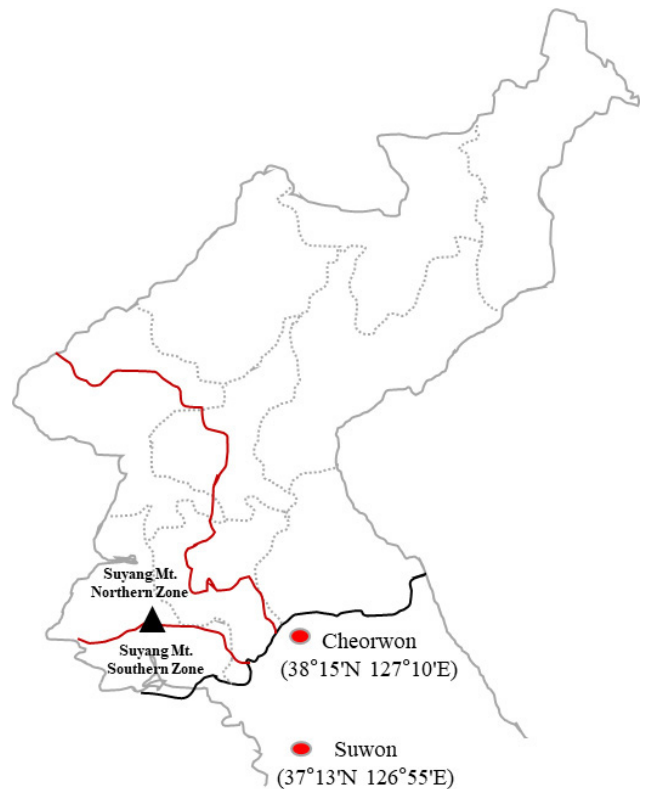


Fig. 1. The agro-climatic zones (Suyang Mt. Southern and Northern Zone) in north Korea and two experimental fields (●, Cherowon and Suwon) in south Korea.

고 Neutral detergent fiber (NDF) 및 Acid detergent fiber (ADF) 함량은 Van Soest 세제법으로 분석하였다(Van Soest et al., 1991). 전분 함량은 Megazyme사에서 개발한 Total Starch Assay Kit를 사용하여 측정하였다.

3. 통계 분석

모든 데이터는 평균과 표준편차로 나타내었고, 통계 분석은 R 통계 프로그램을 사용하였다. 조사 항목 간 통계적 검증은 paired two tailed Student's *t*-test를 수행하여 *p*값이 0.05미만인 경우를 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사료용 옥수수 생육 기간 동안 기상 및 일반 생육 특성

2021~2022년 기상청 자료로부터 옥수수 파종부터 9월 30일까지 평균 기온은 각각 22.6°C와 23.0°C로 비슷하였다. 그리고 생육기간 동안 강수량은 2021년 4.4 mm, 2022년 9.8 mm로 두배 차이가 났고, 2021년은 파종 후 6월 3일까지 평균 강수량을 나타냈지만, 봄철 가뭄이 매우 심하게 나타났다. 2022년또한 봄가뭄이 있었고, 6월 15일 이후 비가 오기 시작했다(Fig. 2.). 파종 후 생육 초기(5월10일)까지 강수는 거의 없었고(2021: 4.7 mm, 2022: 1.7 mm), 개화기 전후 강수량(6월20일~7월10일)은 2021년 4.1 mm, 2022, 21.1 mm로 나타나 강수량의 차이가 출사일수에 영향을 미친 것으로 생각된다.

각 품종의 생육특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 연차간 변이는 출사일수, 줄기두께, 종실중에서만 유의미한 차이를 보였다(Table 1; Table 3). 출사일수는 2021년에 비해 2022년 평균 12일 빨라졌고, 신향옥과 다청옥이 15일로 가장 많이 빨라진 것을 확인하였다. 평균 출사일수는 신향옥2호가 평균 72일로 가장 빨

랐고, 다청옥과 광평옥이 각각 82일과 81일로 80일 이상으로 느린 것을 확인하였다. 출사 이후 수확까지 걸린 기간은 품종간 유의미한 차이가 없는 것으로 보아 수확일수를 결정짓는 것은 출사기의 빠름과 늦음에 의해 결정될 수 있을 것으로 생각된다. 간장은 광평옥, 장다옥, 청다옥, 평강옥, 양안옥, 다청옥의 간장이 230 cm 이상으로 컸으며 그 중 광평옥의 간장이 가장 길다. 착수고율은 대부분 50% 이하였고, P1543이 37%로 가장 낮았다. 줄기직경은 다청옥이 평균 25.6 mm (2021; 24.3, 2022; 26.9 mm)로 가장 두꺼웠다.

2. 사료용 옥수수의 후기 녹체성과 도복 및 병해충 피해

수확기 식물체의 녹체성과 도복은 사일리지용 옥수수의 중요한 요소 중 하나이다. 수확기 동안 이삭 아래 녹체성이 유지되어야 영양분의 손실이 적고, 사일리지 제조 시 호흡에 따른 혐기성 조건으로 빠르게 도달할 수 있다(Son et al., 2010). 품종 중에서 수확기 동안 유지되는 녹체 잎수는 평강옥, 다청옥, 광평옥, 청다옥, 양안옥이 12개 정도로 많았으며, 수확기 녹체성은 청다옥을 제외하고 3이하로 녹체성이 어느정도 유지되었다(Table 2). 생육기간 동안 도복의 피해는 없었고, 출사기까지는 해충이나 병에 의한 피해 증상이 거의 나타나지 않았지만, 수확기에 조사한 조명나방 등 해충이 줄기를 가해한 해충 피해주율은 15.8~55.9% 높았고, 병해 정도는 청다옥을 제외하고는 모두 5 미만으로 심하지 않았다(Table 2). 그러나 병 또는 해충에 의한 피해는 실제 생육이나 수량특성에 유의미한 영향을 끼치지 않았다.

3. 사료용 옥수수의 수량성

국내에서 개발한 10개 사료용 옥수수 품종들의 수량성은 Table 3과 같다. 2년간 평균 전체 건물수량은 다청옥이 26,370 kg/ha로 가장 많았다. 그 다음으로 평강옥, 신향옥, 광평옥, 장다옥이 각각 22,000, 21,490, 20,750, 20,550 kg/ha으로 확인되었

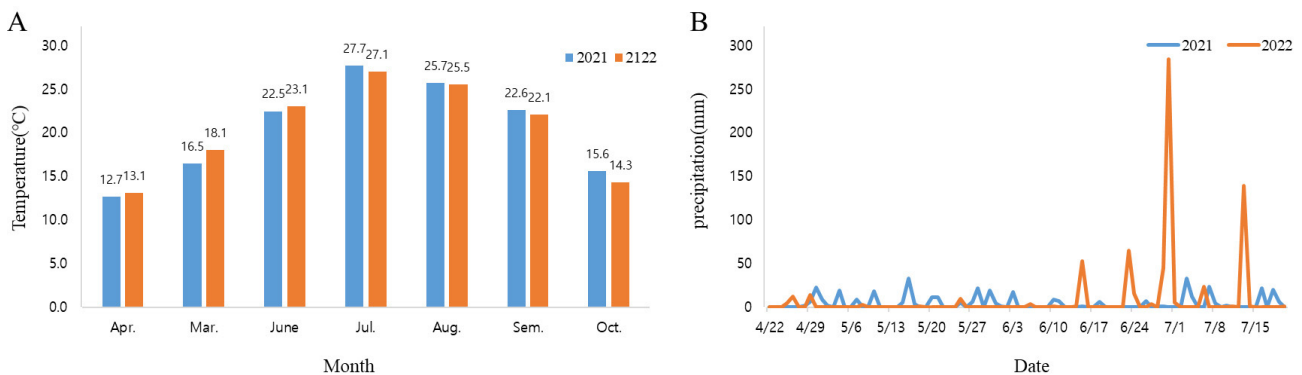


Fig. 2. Average monthly temperature and precipitation until flowering during the maize growing season in 2021–2022.

Selection of Maize Varieties Adapted to High Latitude

Table 1. The agricultural traits of maize varieties for silage in 2021–2022.

Varieties	Days to silking			Plant height			Ear height			Rate of ear height			Thickness of stem		
	(cm)			(cm)			(cm)			(%)			(mm)		
	2021	2022	M	2021	2022	M	2021	2022	M	2021	2022	M	2021	2022	M
Gwangpyeongok	86	75***	81 ^{ab}	225	254	240 ^a	109	112	111 ^{bc}	48.2	44.1	46.1 ^{cdc}	21.4	23.9	22.7 ^{bcd}
Jangdaok	84	74***	79 ^{bcd}	217	231	224 ^{bcd}	100	101	101 ^c	45.8	43.6	44.7 ^{dc}	21.3	24	22.7 ^{bcd}
Cheongdaok	84	74***	79 ^{bcd}	223	230	227 ^{bcd}	106	100	103 ^{cd}	47.5	43.6	45.6 ^{dc}	21.9	25.5**	23.7 ^{ab}
Pyeonggangok	87	73***	80 ^{ab}	221	245	233 ^{ab}	94	107	101 ^{bc}	42.7	43.7	43.2 ^{dc}	23.1	26.8**	25.0 ^a
Yanganok	86	73***	80 ^{ab}	213	238	226 ^{abc}	123	131	127 ^a	58	55.2	56.6 ^a	20.1	25.1***	22.6 ^b
Daanok	81	70**	76 ^{cde}	199	207	203 ^{efgh}	94	102	98 ^c	47.2	49.1	48.1 ^c	18.5	22.5*	20.5 ^{defg}
Shinhwangok	82	67***	75 ^{cde}	195	209	202 ^{efgh}	93	105	99 ^{bc}	47.9	50.2	49.1 ^b	20.1	24.8**	22.5 ^b
Dacheongok	89	74***	82 ^a	218	232	225 ^{abcd}	110	102	106 ^c	50.7	44	47.3 ^{dc}	24.3	26.9	25.6 ^a
Hwangdaok	84	71***	78 ^{bc}	163	146	155 ^j	72	57	65 ^g	44.2	38.8	41.5 ^{dc}	20.3	22.8	21.6 ^{cdefg}
Shinhwangok 2	79	65***	72 ^c	178	192	185 ^{hi}	82	76	79 ^{ef}	45.8	39.6	42.7 ^c	21.2	22.9	22.1 ^{cdef}
P1543	80	70*	75 ^{de}	218	222	220 ^{cdef}	77	81	79 ^{def}	35.4	36.6	36 ^d	20.9	23.1	22.0 ^{cde}

p value; **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.001; indicates significantly different between each year 2021 and 2022, respectively.

Values within a column followed by the same letter are not significantly different between varieties at the 0.01% level by LSD test.

Table 2. The stay-green and resistance of biotic and abiotic stress in maize varieties.

Varieties	Stay-green ¹ (1–9)	Lodging ²	Damage by insect ³ (%)	Disease ⁴ (0–9)
Gwangpyeongok	3 ^{ab†}	0 ^{ns†}	1 ^{c†}	1 ^{c†}
Jangdaok	3 ^{ab}	0 ^{ns}	2.3 ^{bc}	2.3 ^{bc}
Cheongdaok	4.3 ^a	0 ^{ns}	5 ^a	5 ^a
Pyeonggangok	1 ^c	0 ^{ns}	1.7 ^{bc}	1.7 ^{bc}
Yanganok	2.3 ^{bc}	0 ^{ns}	1 ^c	1 ^c
Daanok	3 ^{ab}	0 ^{ns}	2.3 ^{bc}	2.3 ^{bc}
Shinhwangok	1.7 ^{bc}	0 ^{ns}	1 ^c	1 ^c
Dacheongok	3 ^{ab}	0 ^{ns}	1 ^c	1 ^c
Hwangdaok	3 ^{ab}	0 ^{ns}	3.7 ^{ab}	3.7 ^{ab}
Shinhwangok 2	3 ^{ab}	0 ^{ns}	1 ^c	1 ^c
P1543	1.7 ^{bc}	0 ^{ns}	1.7 ^{bc}	1.7 ^{bc}

¹Stay-green: 1, whole leaf green of plant; 3, 75% leaf green; 5, 50% leaf green; 7, 25% leaf green; 9, whole leaf yellow of plant, ²Rate of lodging and damage by insect(%), ³disease: 0, none; 1, incidence rate less than 1%, 3, 1~10% incidence; 5, 11~20% incidence; 7, 21~40% incidence; 9, incidence rate over 41%.

Values within a column followed by the same letter are not significantly different between varieties at the 0.01% level by LSD test.

다. 종실중은 신허옥이 9,940 kg/ha으로 가장 많았고, 그 다음으로 다청옥, P1543, 평강옥이 각각 9,260, 8,700, 8,840 kg/ha으로 수량이 많았다. TDN 수량은 다청옥이 12,900 kg/ha으로 가장 많았고, 평강옥, 신허옥이 각각 15,510, 15,350 kg/ha으로 확인되었다(Table 3). 다청옥은 이삭 및 종실, 경엽 건물수량이 모두 높아 전체 건물수량도 가장 높게 확인되었다. 다청옥은 품종육성 시 출사일수가 평균 80일이고 도복은 1.5 정도로 강했다. 건물수량은 2,369kg/10a였고, 깨씨무늬병과 그늘음무늬병 저항성 등 특성도 현재와 비슷하였다(Son et al., 2018). 수량특성을 종합적으로

분석하였을 때, 건물수량, 종실수량, TDN 수량에서 모두 다청옥이 가장 우수하였고, 그 다음으로 평강옥이었다(Table 3). 이들 품종을 특성별로 분석하였을 때, 다청옥은 다른 품종에 비해 수량 뿐만 아니라 사료가치 측면에서도 다른 품종들과 뚜렷하게 구분이 되었고, 한편으로 평강옥, P1543, 신허옥, 광평옥이 서로 비슷한 특성을 나타냈다(Fig. 3). 이와 같은 결과를 통해서 일반적인 생육의 차이가 없다면, 수량적인 측면에서 우수한 다청옥이 북한의 수양산 이남 지역에서 재배가 가장 적합할 것으로 생각된다.

Table 3. The productivity of maize varieties in 2021–2022.

Varieties	Yield (kg/ha)					
	Dry matter		Grain		TDN	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Gwangpyeongok	20,750 ^{bc}	±395	7,930 ^{**}	±188	14,660	±269
Jangdaok	20,550 ^{bcd}	±387	7,850 [*]	±169	14,580	±247
Cheongdaok	18,180 ^{cdef}	±297	7,160	±154	12,880	±206
Pyeonggangok	22,000 ^{bc}	±271	8,700	±65	15,510	±165
Yanganok	19,820 ^{*bc}	±549	8,670	±145	13,950 [*]	±377
Daanok	18,160 ^{bcdde}	±342	7,950 ^{***}	±245	13,120	±236
Shinhwangok	21,490 ^{*ab}	±521	9,940 ^{***}	±210	15,350 [*]	±369
Dacheongok	26,370 ^a	±505	9,260	±104	18,260	±340
Hwangdaok	12,970 ^{gh}	±137	5,360	±114	9,070	±58
Shinhwangok 2	17,690 ^{cdef}	±301	8,310	±260	12,900	±223
P1543	19,880 ^{bcd}	±337	8,840 ^{***}	±249	14,410	±240

* TDN; total digestible nutrients.

p value; **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.001; indicates significantly different between each year 2021 and 2022, respectively. Values within a column followed by the same letter are not significantly different between varieties at the 0.01% level by LSD test.

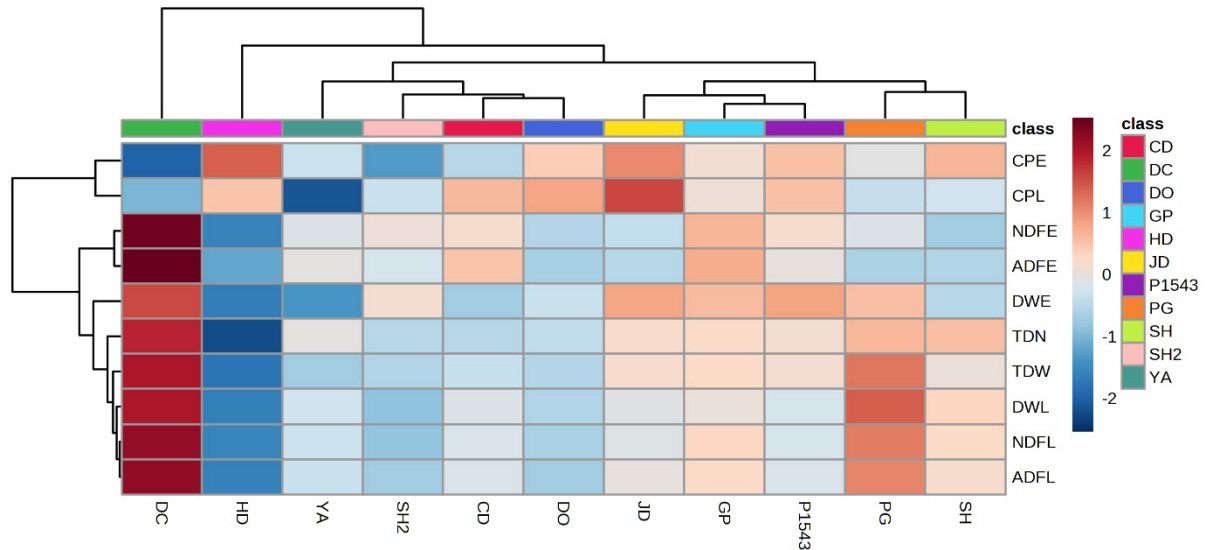


Fig. 3. Normalized response of maize varieties and traits. The color scale follows the level of the individual parameter. The color gradient from blue to red represents low to high levels of the normalized response. DC; Dacheongok, HD; Hwangdaok, YA; Yanganok, SH2; Shinhwangok 2, CD; Cheongdaok, DO; Daanok, PK; Pyeongngok, SH; Shinhwangok, JD; Jangdaok, KP; Gwngpyeongok, CPE; Crude protein content in ear, CPL; Crude protein content in leaf, NDFE; NDF in leaf, NDFL; NDF in leaf, ADFE; ADF in ear, ADFL; ADF in leaf, DWE; dry weight in ear, DWL; dry weight in leaf, TDW; total dry weight, TDN; total digestible nutrition.

4. 사료용 옥수수 사료가치

옥수수의 사일리지 사료 가치를 평가하기 위하여 조단백질, ADF 및 NDF를 분석하였다. 수확된 옥수수 수분함량은 66~71% 정도로 큰 차이는 없었다. 조단백질 함량은 다청옥, 양안옥, 평강옥이 평균 6.0% 이상으로 높게 확인되었다. 세부적으로 조단백질

함량은 장다옥이 8.57%로 가장 높았고, 황다옥, 다안옥, P1543, 청다옥, 광평옥, 신황옥은 7.5~8.3% 이었으며, 평강옥, 신황옥2호는 7.0~7.3%이었다(Table 4). 조단백질 함량은 품종별로 차이가 나타날 수 있지만, 재배 조건에 따라 함량의 차이는 거의 발생하지 않는 것으로 보고되고 있기 때문에 품종의 고유특성이라고 할

Table 4. The silage quality and yield factors of maize varieties in 2021–2022.

Varieties	Crude protein (%)		NDF (%)		ADF (%)		Dry matter (kg/ha)		Total TDN content (%)
	Ear	Stem and leaf	Ear	Stem and leaf	Ear	Stem and leaf	Ear	Stem and leaf	
Gwangpyeongok	8.4 ^{abc}	6.9 ^{ab}	19.7 ^a	70.0 ^a	7.7 ^a	40.2 ^a	8,606 ^a	8,193 ^{abc}	71.4ab
Jangdaok	8.9 ^{ab}	8.3 ^a	16.0 ^a	66.0 ^{ab}	5.9 ^{ab}	39.0 ^a	8,792 ^a	7,892 ^{abc}	72.9a
Cheongdaok	8.0 ^{cd}	7.3 ^{ab}	20.9 ^a	65.8 ^{ab}	8.4 ^a	38.3 ^a	7,391 ^a	7,825 ^{abc}	71.2ab
Pyeonggangok	8.2 ^{abc}	6.4 ^{ab}	17.2 ^a	63.8 ^b	5.9 ^a	36.6 ^a	8,562 ^a	10,722 ^{abc}	72.2ab
Yanganok	8.1 ^{abcd}	4.8 ^b	21.9 ^a	65.8 ^{ab}	8.5 ^a	37.9 ^a	6,773 ^a	7,563 ^{abc}	71.1ab
Daanok	8.5 ^{abc}	7.5 ^{ab}	18.0 ^a	66.0 ^{ab}	6.5 ^a	37.3 ^a	7,717 ^a	7,031 ^{abc}	73.1a
Shinhwangok	8.7 ^{ab}	6.5 ^{ab}	17.9 ^a	65.8 ^{ab}	6.8 ^a	37.6 ^a	7,578 ^a	8,701 ^{abc}	71.8ab
Dacheongok	7.1 ^d	5.9 ^{ab}	21.9 ^a	67.3 ^{ab}	8.9 ^a	39.3 ^a	9,500 ^a	11,814 ^a	69.9ab
Hwangaok	9.1 ^a	7.3 ^{ab}	17.9 ^a	69.1 ^{ab}	7.0 ^a	39.0 ^a	6,520 ^a	5,084 ^c	73.1a
Shinhwangok2	7.6 ^{cd}	6.5 ^{ab}	18.9 ^a	67.3 ^{ab}	6.8 ^a	39.7 ^a	8,186 ^a	6,494 ^{bc}	72.9a
P1543	8.6 ^{abc}	7.3 ^{ab}	17.6 ^a	66.7 ^{ab}	6.5 ^a	38.9 ^a	8,821 ^a	7,686 ^{abc}	72.8ab

Values within a column followed by the same letter are not significantly different between varieties at the 0.01% level by LSD test. NDF; neutral detergent fiber, ADF; acid detergent fiber.

수 있다(Kim et al., 2020; Go et al., 2022). 중성세제불용섬유(NDF) 함량은 39~47% 범위에었고, 다청옥이 47.0%로 NDF 함량이 가장 높았으며, 다안옥, P1543, 신흥옥2호, 황다옥, 장다옥이 39.3~40.7%로 낮은 편이었다. 산성세제불용섬유(ADF) 함량은 21.0~25.7% 범위에었고, NDF와 마찬가지로 다청옥이 가장 ADF가 높았고 P1543, 신흥옥2호, 장다옥, 다안옥, 황다옥이 21.0~21.0%로 낮았다. 가소화양분총량(TDN)은 70~73%로 품종 간 큰 차이는 없었으며, 황다옥, 다안옥, 장다옥, 신흥옥2호, P1543이 TDN이 73% 정도로 높았다(Table 4).

ADF 및 NDF 함량은 잎이 잎과 줄기보다 월등히 높게 나타났다. 품종간 이삭의 NDF 함량 차이는 양안옥과 신흥옥, 청다옥, 광평옥이 각각 21.9, 21.9, 20.9, 19.7로 다른 품종들보다 높았다. 이삭의 ADF 또한 다청옥과 양안옥, 청다옥이 각각 8.9, 8.5, 8.4로 높게 확인되었다. 경엽의 ADF와 NDF는 광평옥이 다른 품종보다 높게 나타났지만, 전체적으로 통계적인 유의성을 나타내지는 않았고, 이와 같은 결과는 전체 TDN함량에도 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 조단백질 함량 또한 전체 식물체보다 이삭이 높게 나타났다(Table 4). 옥수수 전체에서 이삭의 비율은 총 사료가치에서 매우 중요한 역할을 하기 때문에 이삭이 큰 계통 육성이 중요하게 대두되고 있다(Kim et al., 1996). 따라서 종실의 70% 이상이 전분으로 구성되어 있는 옥수수의 경우 우수한 사일리지 옥수수 품종의 개발은 종실 수량과 더불어 잎과 줄기의 조섬유 함량을 낮추는 방향으로 하는 것이 바람직할 것으로 요구되고 있다(Go et al., 2022).

5. 옥수수 수량특성 간 상관 및 주성분 분석

옥수수의 각 특성 간 상관분석을 수행한 결과 옥수수의 수량특성과 사료가치는 매우 밀접한 관계에 있는 것으로 확인되었다(Fig. 4A). 그러나 사료가치 특성 중 이삭과 잎의 조단백질 함량은 수량특성과 음의 상관으로 나타났다. TDN과 이삭의 조단백질 함량은 28% 음의 상관을 보였지만, 다른 수량요소와는 10% 정도였다. 그리고 잎의 조단백질 함량은 다른 수량요소와의 연관이 거의 없는 것으로 나타났다. 옥수수 전체 수량 중 조단백질 함량은 종실을 포함한 이삭에 가장 많이 포함되어 있기 때문에 생각된다. 또한 전체 수량이 증가하더라도 이삭크기 또는 잎의 개수 및 크기에 따라 전체 수량의 변동이 발생하지만, 이삭과 잎의 조단백질 함량의 변화는 거의 없었기 때문에 수량요소와 상관성이 없는 것으로 생각된다. 조단백질은 생초수량과 상관성이 높은 것으로 보고되고 있기 때문에 이와 관련된 후기녹체성이 우수한 옥수수 계통 선발이 육종 과정에서 중요하게 고려되어야 한다고 생각된다(Na et al., 2017). 옥수수 부위별 수량특성은 높은 정의 상관을 나타냈고, 조단백질 함량을 제외한 사료가치 특성 간 상관 또한 정의 상관을 나타냈다. 이삭의 ADF와 NDF, 전체건물수량(TDW)과 잎의 건조중(DWL)이 95%이상 정의 상관으로 높게 나타났다. 잎의 ADF와 NDF 또한 99% 이상 정의 상관을 나타냈다. 주성분 분석을 통해 조단백질 함량은 이삭과 잎의 조단백질 함량이 같은 성분으로 확인되었고(PC1, 64.4%), 수량 및 사료가치 요소들의 주요 성분이 동일한 방향으로 확인되었다(PC2, 16.4%). 이와 같은 결과를 통하여 건물중과 TDN은 수량구성요소의 주요 성분으로 확인되었고, 이와 함께 ADF와 NDF는 옥수수 사일리지의 사

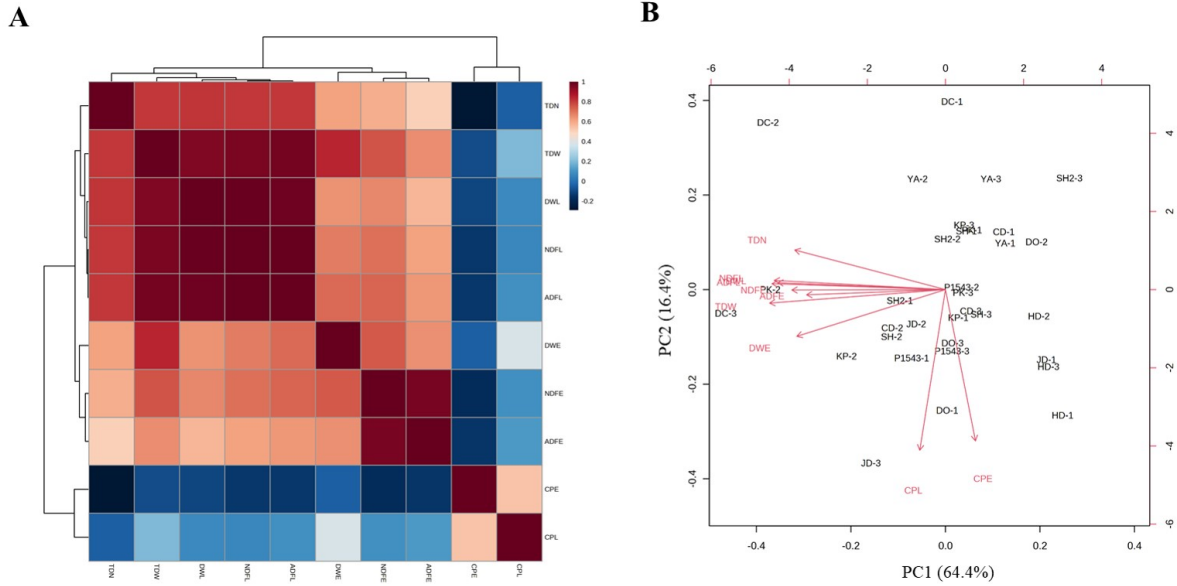


Fig. 4. Association studies about correlation and principal components analysis (PCA) between productivity and feed value factor in maize varieties. A; Correlation analysis, B; PCA analysis. Positive and negative correlations are indicated by red and blue colors, respectively. CPE; Crude protein content in ear, CPL; Crude protein content in leaf, NDFE; NDF in leaf, NDFL; NDF in leaf, ADFE; ADF in ear, ADFL; ADF in leaf, DWE; dry weight in ear, DWL; dry weight in leaf, TDW; total dry weight, TDN; total digestible nutrition.

료가치의 중요 요인으로 확인되었다(Fig. 4B). 그리고, 수량과 조 단백질 함량은 항상 정적 상관관계를 갖는 것이 아님을 확인하였기 때문에 앞으로 육종은 수량을 증가시키는 동시에 가축의 영양이 용적인 측면의 효율성도 고려되어야 한다고 생각된다.

IV. 요약

사료용옥수수(사일리지)의 가장 중요한 요소는 병해충 저항성, 후기녹체성과 같은 재배안정성과 수량성이다. 위도는 일장과 온도 등 기후와 매우 밀접하게 연관되어 있다. 본 연구는 38° 이상 고위도 기후대, 특히 북한의 수양산 이남지역에서 재배하여 사료용으로서 가치가 높은 국산 품종을 선발하기 위해 옥수수의 생육 특성, 수량성 및 사료가치를 분석하기 위해 수행되었다. 그 이유는 현재 또는 미래의 북한 식량문제를 해결하기 위한 것이다. 특히 북한의 청소년들의 단백질 공급원이 매우 부족한 실정이기 때문에 육류뿐만 아니라 우유 등 축산물 생산량 향상을 위해 가축의 조사료로서 가치가 매우 높은 옥수수의 재배 시험을 수행하였다. 시험은 북한의 수양산 이남지역과 기후 특성이 유사한 수원에서 국산품종 등 11개 품종을 시험하였다. 그 결과 수량 및 사료가치 특성에서 우수한 품종들이 확인되었지만, 그 중에서도 다청옥이 가장 재배에 적합할 것으로 판단되었다. 다청옥은 건물과 TDN 수량은 각각 26.37 ton/ha과 12.9 ton/ha로 다른 품종보다

많았고, 다음으로 평강옥, 신흥옥, 광평옥 등이 많았다. 또한 다청옥은 후기 녹체성이 우수하기 때문에 수량뿐만 아니라 사료가치 측면에서도 매우 우수하다. 따라서 이들 결과와 함께 앞으로 북한의 수양산 이남지역 현장에서 직접 재배시험을 수행하여 다청옥에 대한 재배기술을 추가로 확립한다면 앞으로 북한의 식량문제를 해결하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

V. 사사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(과제명: 고위도 지역 적응 사료용 옥수수 최적 안정 생산 및 활용기술 개발, 과제번호: PJ015752012023, RS-2021-RD009755)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

VI. REFERENCES

- AOAC. 1995. Official method of analysis (15th ed.). Association & Official Analytical Chemists. Washington DC.
- Choi, K.C., Jo, N.C., Jung, M.W., Lee, K.D., Kim, J.G., Lim, Y.C., Kim, W.H., Oh, Y.K. and Choi, J.H. 2011. Effect of harvest stage of corn on nutritive values and quality of roll baled corn silage manufactured

Selection of Maize Varieties Adapted to High Latitude

- with corn grown in paddy land. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 31(1):65-74. doi:10.5333/KGFS.2011.31.1.65
- Go, Y.S., Ha, J.Y., Bae, H.H., Son, J.H., Kang, K.M., Son, B.Y. and Jung, T.W. 2022. Comparison of growth characteristics and nutritive value of silage corn hybrids grown at paddy and upland field. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 422(4):249-257.
- Holland, C., Kezar, W., Kautz, W.P., Lazowski, E.J., Mahanna, W.C. and Reinhart, R. 1990 The pioneer forage manual; A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred. Des Moines. IA.
- Ji, H.C., Kim, W.H., Lee, S.H., Cho, J.H. and Kwon, O.D. 2011. Evaluation of agronomic characteristics, forage production and quality of corn hybrids for silage at paddy field in the middle region of Korea. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 31(2):127-134.
- Kim, D.A., Lee, K.N., Shin, D.E., Kiim, J.D. and Han, K.J. 1996. Effect of planting date on forage yield and quality of corn flour maturity groups. Journal of Korean Society of Grassland Science. 16(4): 327-337.
- Kim, J.G., Li, Y.F., Wei, S.N., Jeong, E.C. and Kim, H.J. 2020. Comparison of the forage quality and productivity according to varieties and plant parts of imported silage corn (*Zea mays* L). The Korean Society of Grassland and Forage Science. 40(2):98-105. doi:10.5333/KGFS.2020.40.2.98
- Kim, J.G., Li, Y.W., Park, H.S. and Kim, J.D. 2017. Comparative study on the productivity for silage corn (*Zea mays* L.) variety certified import adaptability in Pyeongchang area. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 37(2):161-167. doi:10.5333/KGFS.2017.37.2.161
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2022. Trend of agriculture in North Korea. 24(2):1-167.
- Moon, H.G., Son, B.Y., Cha, S.W., Jung, T.W., Lee, Y.H., Seo, J.H., Min, H.K., Choi, K.J., Huh, C.S. and Kim, S.D. 2001. A new single cross hybrid for silage "Kwangpyeongok". Korean Journal of Breeding Science. 33:350-351.
- Na, S.I., Kim, Y.J., Park, C.W., So, K.H., Park, J.M. and Lee, K.D. 2017. Evaluation of feed value of IRG in middle region using UAV. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 50(5):391-400.
- NICS (National Institute of Crop Science). 2010. Information of Korean n maize variety "Kwangpyeongok". <https://www.nics.go.kr/search/searchMain.do?kwd=%EA%B4%91%ED%8F%89%EC%98%A5>
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Agricultural science and technology of analysis based on research. Korea. pp. 315-374.
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S. and Bae, H.H. 2018. Single cross maize hybrid for silage with lodging tolerance and high yield, 'Dacheongok'. Korean Journal of Breeding Science. 50(2):145-149.
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S., Bae, H.H., Park, C.H., Seo, M.J. and Lee, J.H. 2017. Single cross maize hybrid for grain, 'Sinhwangok'. Korean Journal of Breeding Science. 49(2):19-112.
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S., Hwan, G.J., Kim S.L., Jung, G.H., Kwon, Y.U., Ji, J.H., Heo, C.S. and Park, J.Y. 2013. Growth characteristics and productivity of single cross maize new hybrid for silage and grain, 'Yanganok'. Journal of the Korean Society of Grassland Science. 33(2):94-99.
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S., Hwang, J.J., Kim, S.L., Jung, G.H., Kwon, Y.U., Huh, C.S. and Park, J.Y. 2014. Growth characteristics and productivity of new single cross maize hybrid for grain, 'Singwangok'. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 34(1):21-25. doi:10.5333/KGFS.2014.34.1.21
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S., Hwang, J.J., Kwon, Y.U., Ji, H.J., Huh, C.S. and Park, J.Y. 2012. A new single cross maize hybrid for grain and silage, 'Pyeongangok'. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 32(3):203-208. doi:10.5333/KGFS.2012.32.3.203
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S., Ku, J.H., Kwon, Y.U., Huh, C.S. and Park, J.Y. 2013. Growth characteristics and productivity of single cross maize hybrid for grain, 'Andaok'. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science. 33(1):1-5. doi:10.5333/KGFS.2013.33.1.1
- Son, B.Y., Kim, J.T., Lee, J.S., Bae, H.H. and Go, Y.S. 2022. 'Sinhwangok2': A single cross maize hybrid for early-maturing grain use. Korean Journal of Breeding Science. 54(3):211-214.
- Son, B.Y., Kim, J.T., Lee, J.S., Baek, S.B., Kim, W.H. and Kim, H.D. 2010. Comparison of growth characteristics and yield of silage corn hybrids by different planting dates at paddy and upland field. The Korean Society of Grassland and Forage Science. 30(3):237-246. doi:10.5333/KGFS.2010.30.3.237
- Son, B.Y., Kim, S.L., Jung, T.W., Kim, J.T., Song, S.Y., Kim, C.K., Kim, S.J., Ji, H.J., Huh, C.S. and Park, J.Y. 2009. A new single cross maize hybrid for silage, "Pyeonganok". Korean Journal of Breeding Science. 41(3):310-313.
- Son, J.H., Go, Y.S., Bae, H.H., Son, B.Y., Shin, S. and Jung, T.W. 2022. Analysis of metabolites expression of corn roots in waterlogging condition. Journal of Agriculture & Life Science. 56(6):91-100.
- UN (United Nations). 2019. The price of rights: The price of one's right to live in the Democratic People's Republic of Korea. file:///C:/Users/A/Downloads/%EC%9C%A0%EC%97%94(UN)%20%EB%B6%81%ED%95%9C%20%EA%B2%BD%EC%A0%9C%EA%B6%8C%20%EA%B4%80%EB%A0%A8%20%EB%B3

Selection of Maize Varieties Adapted to High Latitude

%B4%EA%B3%A0%EC%84%9C(%EA%B6%8C%EB%A6%AC
%EC%9D%98_%EB%8C%80%EA%B0%80)(2019)_%EA%B5%
AD%EB%AC%B8%20(1).pdf

doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74(10): 3583-3597.

(Received : October 24, 2023 | Revised : December 08, 2023 |
Accepted : December 11, 2023)