

玉米自交系秸秆品质性状鉴定与评价

石平^{1,2}, 白琪林^{1,2}, 陈稳良²

(¹ 山西省农业科学院作物科学研究所, 太原 030032; ² 山西省农业科学院现代农业研究中心, 太原 030031)

摘要: 利用近红外漫反射光谱法, 对 50 份常用普通玉米自交系和 50 份高油自交系秸秆的中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、可溶性糖(WSC)和粗蛋白(CP) 4 个品质性状进行了鉴定评价和相关性分析。结果表明, 各品质性状变异较大, 各性状自交系间差异均达极显著水平。不同品质性状变异程度不同, 其中 WSC 含量变异最大, 变异系数达 34.23%。WSC 与 NDF、ADF 极显著负相关, NDF 与 ADF 含量极显著正相关。高油系表现为高 WSC、CP 和低 NDF、ADF 含量, 总体上高油系秸秆品质优于普通玉米。

关键词: 玉米; 自交系; 秸秆; 品质性状; 相关性

Identification and Evaluation of Stalk Quality Traits in Maize Inbred Lines

SHI Ping, BAI Qi-lin, CHEN Wen-liang

(¹ Institute of Crop Science, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031;

² Modern Agricultural Research Center, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031)

Abstract: 100 inbred lines, including 50 normal oil corn (NOC) and 50 high oil corn (HOC) inbred lines were identified and evaluated on four stalk quality traits such as neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), the water soluble carbohydrate (WSC) and crude protein (CP). The technique of near infrared diffuse reflectance spectroscopy (NIRS) were used to determine these values. The results showed that every quality trait had highly significant variation, the coefficient of variation (CV) in WSC was the highest (34.23%). The correlation analysis among quality traits of inbred lines showed that WSC had a significant negative correlation with NDF and ADF at $P < 0.01$, and NDF had a significant positive correlation with ADF and CP at $P < 0.01$. WSC and CP of HOC were higher than those of NOC, ADF and NDF were lower than those of NOC. In general, the stalk quality of HOC was superior to those of NOC obviously.

Key words: Maize (*Zea mays* L.); Inbred line; Stalk; Quality trait; Relationship

玉米秸秆占整株玉米生物学产量的 50% 以上, 是我国北方农区草食家畜的主要饲料资源, 也是反刍动物青贮饲料的重要原料, 对促进畜牧业发展起着十分重要的作用。中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)、粗蛋白(crude protein, CP)、可溶性糖(water soluble carbohydrate, WSC)含量是衡量玉米秸秆营养价值的重要指标^[1]。关于玉米秸秆品质性状, 国外曾有对杂交种和少量普通玉米自交系

NDF、CP 的报道^[2-4]; 国内仅对个别杂交种从动物营养学的角度和个别性状进行过分析^[5-8], 但关于玉米自交系特别是高油玉米秸秆品质性状的研究尚不多见。鉴定、评价和利用现有种质资源是品质遗传改良的基础性工作^[9], 科学、合理地评价品种资源, 不断挖掘具有重要利用价值的优质玉米秸秆基因源, 对我国青贮玉米育种和畜牧业的发展都具有重要意义。玉米自交系秸秆 NDF、ADF、CP 和 WSC 等品质性状具有遗传特性^[1], 研究它们之间的相关性

收稿日期: 2010-12-08 修回日期: 2011-08-23

基金项目: 山西省科技攻关项目计划(201003110022)

作者简介: 石平, 助理研究员, 主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: spnkyzws@126.com

通讯作者: 白琪林, 研究员

有利于对这些性状进行综合选择。本研究鉴定了普通、高油玉米自交系的秸秆品质,旨在对其全面评价并分析其利用价值,为青贮玉米品种选育和秸秆资源合理利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选用玉米自交系 100 份,包括 50 份普通系和 50 份高油系(表 1)。普通系是在生产上广泛应用

的自交系以及部分自育系;高油系 1~22 引自中国农业大学国家玉米改良中心,其余为自育高油品系,选自 P 群自交系与亚利山索高油组成的综合种。

2009 年春,供试自交系种植于山西省农科院作物科学研究所试验地。随机排列,单行区,3 次重复,每行 20 株,行株距 66.7 cm × 33.3 cm。在子粒 4/4 乳线期每自交系均收获 5 株秸秆,收获后尽快在 105℃ 下杀青 45 min,然后风干,用锤式粉碎机粉碎,过 40 目筛,装入自封袋中,供品质分析之用。

表 1 100 个自交系信息及其来源

Table 1 100 maize inbred lines and pedigree information in the study

编号 No.	自交系 Inbred line	系谱 Pedigree	编号 No.	自交系 Inbred line	系谱 Pedigree
1	BY4944	北农大高油	35	PY21	P 群亚利山索高油
2	BY4960	北农大高油	36	PY23	P 群亚利山索高油
3	BY804	北农大高油	37	PY29	P 群亚利山索高油
4	BY809	北农大高油	38	PY33	P 群亚利山索高油
5	BY815	北农大高油	39	PY35	P 群亚利山索高油
6	BY843	北农大高油	40	PY39	P 群亚利山索高油
7	GY1007	亚利山索高油	41	PY43	P 群亚利山索高油
8	GY1032	亚利山索高油	42	PY44	P 群亚利山索高油
9	GY220	亚利山索高油	43	PY45	P 群亚利山索高油
10	GY237	亚利山索高油	44	PY46	P 群亚利山索高油
11	GY246	亚利山索高油	45	PY53	P 群亚利山索高油
12	GY302	亚利山索高油	46	PY57	P 群亚利山索高油
13	GY386	亚利山索高油	47	PY60	P 群亚利山索高油
14	GY798	亚利山索高油	48	PY61	P 群亚利山索高油
15	GY923	亚利山索高油	49	PY63	P 群亚利山索高油
16	RY684	瑞得高油	50	PY70	P 群亚利山索高油
17	Ry684	瑞得高油	51	1145	美国单交种 78599
18	Ry713	瑞得高油	52	18-599	美国单交种 78599
19	RY729	瑞得高油	53	B73	BSSS74
20	SY1032	抗病高油	54	BT1	8085 × 泰国杂交种
21	SY998	抗病高油	55	C8605-2	铁 7922 × 沈 5003
22	SY999	抗病高油	56	F349	5003 × 丹 340
23	PY08	P 群亚利山索高油	57	K12	黄早四 × 维春
24	PY09	P 群亚利山索高油	58	K22	K11 × 掖 478
25	PY10	P 群亚利山索高油	59	M54	美国杂交种 × 7922
26	PY100	P 群亚利山索高油	60	Mo17	187-2 × C103
27	PY11	P 群亚利山索高油	61	P001-3	美国先玉 335
28	PY111	P 群亚利山索高油	62	P138	美国单交种 78599
29	PY120	P 群亚利山索高油	63	P178	美国单交种 78599
30	PY123	P 群亚利山索高油	64	PH4VC	PH7V0 × PHBE2
31	PY126	P 群亚利山索高油	65	PH6WC	PH01N × PH09B
32	PY130	P 群亚利山索高油	66	Q1261	K12
33	PY133	P 群亚利山索高油	67	R 综 57-3	综合种
34	PY135	P 群亚利山索高油	68	S37	苏湾 1

续表

编号 No.	自交系 Inbred line	系谱 Pedigree	编号 No.	自交系 Inbred line	系谱 Pedigree
69	U8112	美国单交种 3382	85	沈 137	先锋 6JK111
70	昌 7-2	黄早四 × 维春	86	沈 5003	美国单交种 3147
71	成 698	美国单交种	87	苏湾 1611	苏湾 2
72	川 48-2	综合种	88	太 411	综 3 杂选
73	丹 340	旅 9 × 野生近缘有稃玉米	89	太 9137	海 9-21 × 沈 137
74	丹 598	(丹 340 × 丹黄 11) × (丹黄 02 × 丹 599)	90	太 1137	太系 113 × 沈 137
75	丹 599	美国单交种 78599	91	太系 113	驼安 × (MO17/O2 × Tuxpenno)
76	丹 988	美国单交种 78599	92	铁 7922	美国单交种 3382
77	海 9-21	美国杂交种	93	掖 478	U8112 × 沈 5003
78	华 144	综合种	94	豫 8701	美国杂交种 87001
79	黄 C	(黄小 162 × 330/O2) × Tuxpenno	95	郑 32	美国单交种 3382
80	黄早四	塘四平头	96	郑 58	掖 478 变异株
81	冀 53	冀群 2CO-2	97	郑 653	(沈 5003 × 综 31) × 沈 5003
82	金黄 96B	综合种	98	自 330	OH43 × 可利 67
83	金黄 96C	综合种	99	综 3	综合种
84	齐 319	美国单交种 78599	100	综 31	综合种

1 ~ 50: 高油玉米; 51 ~ 100: 普通玉米 1 - 50: High-oil maize; 51 - 100: Normal maize

1.2 品质分析方法

利用 BRUKER 公司生产的 VECTOR/22N 型近红外分析仪, 根据白琪林等^[10-11]建立的近红外反射光谱(NIRS)定量分析模型, 测定秸秆样品的粗蛋白(CP)、可溶性糖(WSC)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量, 每个样品测定 3 次, 取平均值, 结果以干基表示。

1.3 统计方法

利用 Excel 2003 和 SAS9.0 统计软件进行各性

状的计算与统计, 相关分析用 DPS 统计软件进行分析^[12]。

2 结果与分析

2.1 玉米自交系秸秆品质性状差异显著性

对 100 份参试自交系各品质性状分别进行方差分析(表 2)。自交系间所有秸秆品质性状差异均达极显著水平, 说明基因型间各性状的差异是真实存在的, 可进一步进行自交系间各性状的差异分析。

表 2 玉米自交系秸秆子粒品质性状的方差分析

Table 2 Variance (ANOVA) of stalk quality traits of maize inbred lines

变异来源 Source	自由度 df	均方 MS			
		NDF	ADF	CP	WSC
区组 Block	2	7.13	0.60	0.40	0.79
自交系间 Lines	99	49.23**	41.40**	1.79**	20.19**
误差 Error	198	13.63	8.19	0.33	3.23

** : 在 0.01 水平差异显著, 下同 ** : significant difference at 0.01 level, the same as below

2.2 玉米自交系秸秆品质概况

从表 3 可以看出, 在所分析玉米自交系各性状中都具有丰富的遗传变异。100 份自交系秸秆的平均 NDF、ADF、WSC 和 CP 平均含量分别为 63.29%、35.19%、9.08% 和 8.31%。自交系间 WSC 含量相差最大, 最高值为 14.78% (BY815), 最小值为 2.23% (黄早 4) 相差 6.6 倍, 其次为 ADF 和 CP 含量, 变幅

分别为 23.69% ~ 46.13% 和 6.22% ~ 10.69%, 分别相差 1.9 倍和 1.7 倍, NDF 相差最小, 最高值为 74.35% (B73), 最低值为 49.59% (GY220) 只有 1.5 倍。由表 3 还可以看出, 各性状变异系数差异很大, 其大小顺序与其相差倍数顺序相同, 以 WSC 最大, 达 34.23%, ADF 次之, 为 12.78%, CP 和 NDF 差别不大, 分别为 9.73% 和 8.01%。自交系秸秆 NDF、

WSC、ADF 和 CP 含量的次数分布见图 1。由图 1 可见,NDF 含量多集中在 56%~68%, 仅有 5 份自交系高于 72%; WSC 含量多分布在 7.50%~11.50%, 只有 3 份高于 14.25%; ADF 含量多数自交系分布在 29.5%~41.5%, 只有 6 份低于 25.5%; CP 含量多集中在 8.1%~8.7%, 仅有 3 份高于 10.5%。

以上结果表明,供试玉米自交系秸秆品质性状存在很大差异,变异范围广,选择潜力大,通过育种途径改良玉米秸秆品质性状是可能的。特别是 WSC 含量具有更丰富的多样性,其中的优良自交系可以直接作为优质青贮玉米品质育种的亲本利用或可以作为种质改良的优质资源。

表 3 玉米自交系秸秆品质的平均值、变异系数和变化范围
Table 3 Mean, coefficient of variance (CV) and range of stalk quality of maize inbred lines

性状 Traits	平均值(%) Mean	变幅(%) Range	极差 Extremum	变异系数 (%) CV
NDF	63.29 ± 4.62	49.59 ~ 74.35	24.76	8.01
ADF	35.19 ± 4.26	23.69 ~ 46.13	22.44	12.78
CP	8.31 ± 0.79	6.22 ~ 10.69	4.47	9.73
WSC	9.08 ± 2.01	2.23 ~ 14.78	12.55	34.23

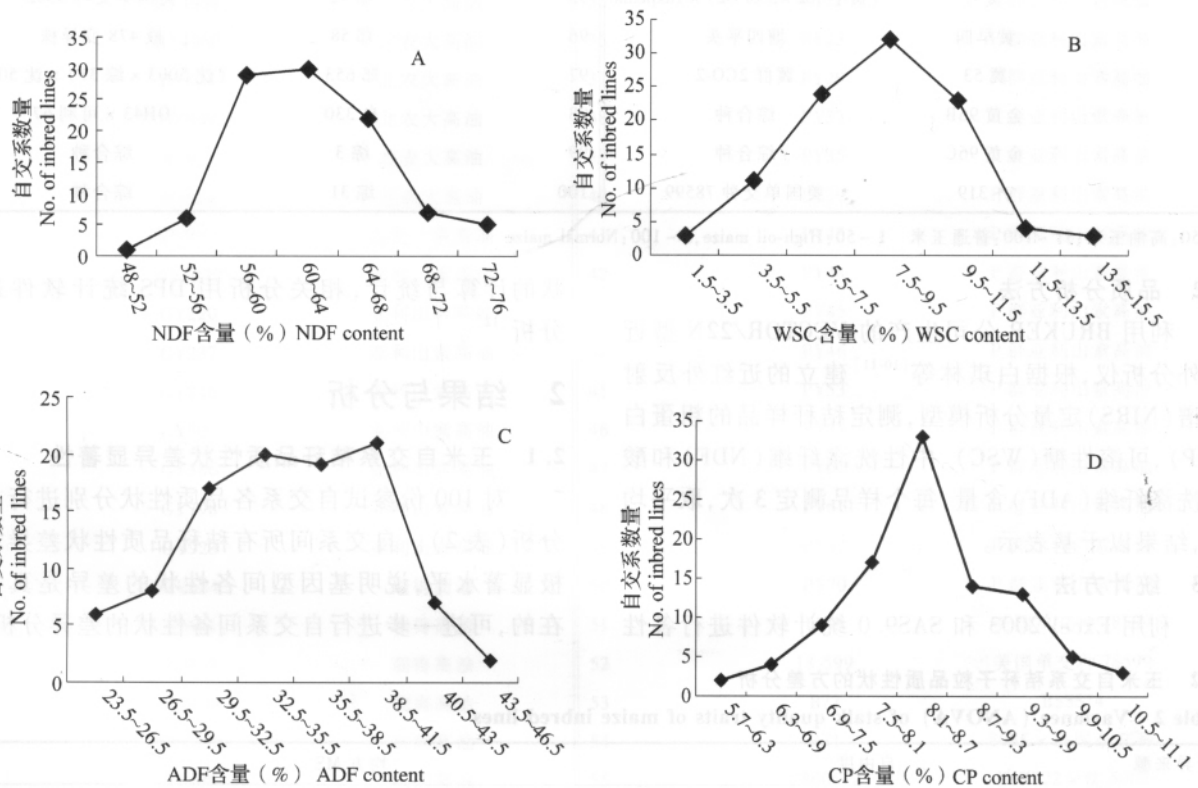


图 1 100 个自交系茎秆 NDF、WSC、ADF 和 CP 含量分布

Fig.1 Distribution in NDF, WSC, ADF and CP content in stems of 100 inbred lines

2.3 普通与高油玉米自交系秸秆品质性状的比较

本研究以 50 份高油和 50 份普通玉米自交系为材料,比较了这两类秸秆品质性状各组分含量的差异(表 4)。由表 4 可见,高油系和普通系各性状含量差异明显,对 WSC 和 CP 含量而言,WSC 高油玉米(12.19%)是普通玉米(8.20%)的 1.5 倍,CP 高油玉米(8.98%)则是普通玉米(8.11%)的 1.1 倍;对 NDF 和 ADF 而言,NDF 普通玉米(63.79%)是高油玉米(57.53%)的 1.1 倍,而

ADF 普通玉米(36.73%)是高油玉米(30.63%)的 1.2 倍,表明高油玉米 WSC 和 CP 含量高于普通玉米,而 NDF 和 ADF 则低于普通玉米。从各品质性状的变化范围和变异系数看,高油玉米 WSC、CP、ADF 和 NDF 含量的最高与最低值相差分别为 2.0 倍、1.6 倍、1.4 倍和 1.3 倍,而普通玉米则分别为 5.8 倍、1.6 倍、1.9 倍和 1.5 倍。除了 CP 含量的变异系数高油玉米(11.38%)大于普通玉米(9.63%)外,WSC、ADF 和 NDF 的变异系数高油玉

米均小于普通玉米,表明秸秆品质性状高油玉米的变化范围和变异程度均小于普通玉米,总体上高油玉米秸秆品质明显优于普通玉米。由于普通与高油

系间性状互补,通过这两类系杂交,可以组配出秸秆营养价值较高的组合。

表 4 普通系与高油系秸秆品质性状的比较

Table 4 Comparison of stalk quality traits between normal and high oil maize lines

性状 Traits	平均值(%) Mean		变幅(%) Range		极差 Extremum		变异系数(%) CV	
	高油系	普通系	高油系	普通系	高油系	普通系	高油系	普通系
NDF	57.530 ± 4.35	63.79 ± 4.21	50.35 ~ 65.36	49.30 ~ 73.86	15.01	24.56	6.73	7.96
ADF	30.63 ± 4.12	36.73 ± 3.98	26.13 ~ 37.86	23.74 ~ 45.17	11.73	21.43	12.05	13.14
CP	8.98 ± 1.10	8.11 ± 0.91	6.39 ~ 10.23	6.11 ~ 9.98	3.84	3.87	11.38	9.63
WSC	12.19 ± 2.01	8.20 ± 2.29	7.24 ~ 14.78	2.23 ~ 13.01	7.54	10.78	19.53	34.94

由于玉米秸秆中含糖量的多少直接影响到其青贮效果和青贮饲料调制品质^[8],因而以 WSC 含量为指标对高油和普通玉米进行排序分别取其前 5 名,进一步比较高油玉米和普通玉米秸秆品质差异。由表 5 可见,每个高油玉米的 WSC 和 CP 值均大于普通玉米,WSC 和 CP 高油玉米比普通玉米均值分别高 2.42 和 1.31 个百分点;而每个高油玉米的 NDF 和 ADF 值则小于普通玉米,NDF 和 ADF 高油玉米

比普通玉米均值分别低 5.18 和 5.34 个百分点。高油系 BY815、BY846、Y220、GY302 和 PY08 的共同特点是 WSC 和 CP 含量高,而 ADF、NDF 含量低。这些优质系为青贮玉米育种、遗传改良或综合利用提供了有价值的种质资源基础。沈 137、黄 C、海 9-21、丹 598 和 18-599 为品质较好的普通系,可与高油玉米进行组配,有可能选育出集优良秸秆品质与高生物学产量于一身的青贮玉米。

表 5 优良普通和高油玉米秸秆品质性状综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of stalk quality traits for the high normal and high-oil maize

高油玉米 High-oil maize	WSC	NDF	ADF	CP	普通玉米 Normal maize	WSC	NDF	ADF	CP
BY815	14.78	52.94	26.25	9.54	沈 137	13.01	60.77	35.75	7.93
BY846	14.61	55.67	27.82	8.68	黄 C	11.61	60.27	32.20	7.83
GY220	14.25	55.41	30.68	9.81	海 9-21	11.56	58.70	31.32	8.97
GY302	13.89	55.25	28.55	9.69	丹 598	11.45	59.66	33.26	7.29
PY08	13.63	55.03	26.73	9.43	18-599	11.40	60.81	34.23	8.59
平均 Mean	14.23	54.86	28.01	9.43	平均 Mean	11.81	60.04	33.35	8.12

2.4 玉米自交系秸秆品质性状间的相关分析

玉米自交系秸秆品质性状 NDF、ADF、CP 和 WSC 具有遗传特性^[2],研究它们之间的相关性有利于对这些性状进行综合选择,起到事半功倍之效。玉米秸秆各品质性状间的相关见表 6。由表中可以看出,WSC 含量与 NDF 和 ADF 含量均呈极显著负相关,NDF 含量与 ADF 含量呈极显著正相关;而 CP 与 NDF 则达显著负相关。从性状间相关系数的大小看,WSC 与 ADF 和 NDF 含量间的相关系数均达 0.9 以上,说明上述 3 个性状间具有较密切的关系。

表 6 玉米自交系秸秆性状间相关分析

Table 6 Correlation between stalk quality traits of maize lines

性状 Traits	ADF	CP	NDF
ADF			
CP	-0.1757		
NDF	0.9422**	-0.2177*	
WSC	-0.9086**	0.1199	-0.9173**

3 讨论

3.1 玉米植株保绿、基因型与秸秆 WSC 含量

据田间观察,18-599、海 9-21、沈 137、丹 598 等

部分茎秆高糖的玉米自交系在取样时,茎叶仍保持碧绿,说明植物仍具有光合作用的能力。玉米茎秆是光合产物向玉米果穗中运输的主要通道,在4/4乳线期时,光合产物向玉米果穗中运输的比例减少,相对在茎秆中的积累量增加^[13],进而相对提高了玉米茎秆中的含糖量。但本研究发现,高油玉米自交系和部分普通玉米自交系叶保绿性一般,保绿性影响有限,但其秸秆在4/4乳线期时含糖量很高,可能与遗传背景或代谢途径不同有关。高油玉米子粒脂肪含量比普通玉米高一倍以上,但其粗淀粉含量却比普通玉米低,是否为光合作用产物代谢转移到茎秆的比例较大,或途径不同,有待进一步研究。

3.2 利用性状间相关进行优良品种选育

WSC 是青贮玉米的重要性状,也是玉米秸秆发酵时乳酸菌形成乳酸的原料^[8],玉米秸秆中 WSC 含量的多少直接影响到青贮效果和青贮饲料的调制品质^[14-15],因而许多欧洲国家将其作为青贮玉米的主要评价指标^[1]。本试验结果表明,WSC 与 CP 显著正相关,与 NDF、ADF、呈极显著负相关,因此可据此相关关系进行定向选择。在玉米抗倒的前提下,通过兼顾高 WSC 含量和低纤维含量材料的平衡选择来选育优良青贮玉米品种,达到提高青贮玉米秸秆品质的目的。

3.3 优良青贮玉米种质的挖掘及其优良自交系的选育

研究表明,供试玉米自交系秸秆品质性状具有丰富的多样性,性状间存在很大的变异,选择潜力很大,具有一批高 WSC 和 CP、低纤维含量的优良自交系,它们是优质青贮玉米育种的宝贵种质资源。其中5份高油系 BY815、BY846、Y220、GY302 和 PY08 的品质接近于 bm3 玉米的品质水平^[3-4],这些自交系不但具有 bm3 所特有的营养品质好、消化率高的优点,且无农艺性状差的缺陷^[16-18],因而是青贮玉米育种宝贵的种质资源。在本研究中,尽管自交系黄 C 茎秆含糖量较高,但其抗病性、茎叶保绿性等都比较差,认为它不是优良的茎秆高糖种质资源。普通玉米自交系沈 137、海 9-21、丹 598、18-599 不仅茎秆高糖,同时株型清秀、抗逆性强、茎叶保绿性好,一般配合力也较高,因此这些系在培育茎秆高糖青贮玉米新品种过程中应加强应用。

高油玉米为在人工长期高强度选择压下选择产生的一种新的玉米类型^[19],其秸秆品质十分优良^[6-7],不仅子粒油分含量高,而且秸秆 WSC 和 CP 含量高,NDF、ADF 含量较低,属于子粒秸秆双优质青贮玉米种质资源^[20],这些优质系为青贮玉米育种、遗传改良或综合利用提供了有价值的种质资源基础,可直

接用于组配优质青贮玉米杂交种,也可将其优良性状基因通过杂交、回交或生物工程等方法导入普通系之中,从而改良普通系的品质。同时对鉴定出的优良自交系组成综合种,采用轮回选择法提高玉米秸秆品质,结合配合力、抗病性、抗倒性和秸秆生物学产量进行综合选择,且重视利用热带、亚热带等外来种质资源,以拓宽青贮玉米种质基因库,克服目前玉米种质的遗传脆弱性和杂种优势模式的局限性。

参考文献

- [1] Argillier O, Barrière Y, Dardenne P, et al. Genotypic variability for in vitro criteria and relationships with in vivo digestibility in forage maize hybrids [J]. *Plant Breed*, 1998, 117(5): 437-441
- [2] Sheperd A C, Kung L. Effects of an enzyme additive on composition of corn silage ensiled at various stages of maturity [J]. *J Dairy Sci*, 1996, 79(10): 1767-1773
- [3] Méchin V, Argillier O, Barrière Y, et al. Genetic variation in stems of normal and brown midrib3 maize lines: towards similarity for in vitro digestibility and cell wall composition [J]. *Maydica*, 1998, 43: 205-210
- [4] Thorstenson E M G, Buxton D R, Cherney J H. Apparent inhibition to digestion by lignin in normal and brown midrib stems [J]. *J Sci Food Agric*, 1992, 59: 183-188
- [5] 刑廷铄. 农作物秸秆营养价值及其利用 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993: 20-25
- [6] 闫贵龙, 孟庆翔, 陈绍江. 玉米类型和籽粒成熟期影响秸秆营养成分与活体外消化率的比较研究 [J]. *动物营养学报*, 2005, 17(3): 50-55
- [7] 闫贵龙, 陈绍江, 孟庆翔. 高油 647 玉米秸秆营养价值随籽粒成熟期的变化规律 [J]. *中国农业大学学报*, 2005, 10(4): 102-108
- [8] 卞云龙, 杜凯, 王益军, 等. 玉米茎秆高糖种质资源筛选与评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(3): 315-319
- [9] 顾晓红. 中国玉米种质资源品质性状的分析与评价 [J]. *玉米科学*, 1998, 6(1): 14-16
- [10] 白琪林, 陈绍江, 董晓玲, 等. 近红外漫反射光谱法测定玉米秸秆 NDF 与 ADF 含量 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2004, 24(11): 1345-1347
- [11] 白琪林, 陈绍江, 严衍禄, 等. 近红外漫反射光谱法测定青贮玉米品质性状的研究 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(7): 1346-1351
- [12] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 300-445
- [13] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 131-135
- [14] 张德玉, 李忠秋, 刘春龙. 影响青贮饲料品质因素的研究进展 [J]. *家畜生态学报*, 2007, 28(1): 109-112
- [15] Froetschel M A, Ely L O, Amos H E. Effects of additives and growth environment on preservation and digestibility of wheat silage to holstein heifers [J]. *J Dairy Sci*, 1991, 74: 546-556
- [16] Miller J E, Geadelmann J L, Marten G C. Effect of the brown midrib-allele on maize silage quality and yield [J]. *Crop Sci*, 1983, 23: 493-496
- [17] Lee M H, Brewbaker J L. Effect of brown midrib-3 on yields and yield components of maize [J]. *Crop Sci*, 1984, 24: 105-108
- [18] Welle R, Greten W, Rietmann B. Near infrared spectroscopy on chopper to measure maize forage quality parameters online [J]. *Crop Sci*, 2003, 43: 1407-1413
- [19] 陈绍江. 高油玉米发展回顾与展望 [J]. *玉米科学*, 2001, 9(4): 80-83
- [20] 宋同明. 我国高油玉米育种及其发展趋势 [J]. *中国农业科技导报*, 2001, 3(3): 40-43