

# 20个小黑麦品系的芒性分析

马军, 田新会, 杜文华\*

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**【目的】筛选无芒或短芒且综合性状较好的品系, 为无芒小黑麦新品种的选育提供理论依据。【方法】以石大1号小黑麦为对照材料, 研究供试小黑麦的穗及其芒等性状, 采用灰色关联度法对参试材料小黑麦进行综合评价。【结果】20个小黑麦品系顶芒、侧芒、穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重均存在极显著差异。顶芒最短的为L6(4.15 mm), 侧芒最短的为L9(4.37 mm), 穗长、小穗数与穗粒重最大的均为L14, 其值分别为17.40 cm、38.20个、3.67g, 穗粒数最多的为L5, 其值为67.00个。17个品系的顶芒长于侧芒或两者差异不大, 3个品系的侧芒长于顶芒。相关性分析表明, 芒长与穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重之间无显著相关性, 有芒或无芒对籽粒产量的影响无显著相关性; 穗长与小穗数、穗粒数、穗粒重呈显著正相关, 小穗数与穗粒数、穗粒重呈显著正相关, 穗粒数与穗粒重也呈显著正相关。【结论】L6、L9、L8、L13品系均可作为选育无芒小黑麦新品种的备选材料。L14芒长较短, 穗部性状较好, 综合评价较高, 可作为培育短芒小黑麦品种的潜在材料。

**关键词:** 小黑麦; 选育; 芒; 穗部性状; 综合评价

**中图分类号:** S544.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)05-0029-08

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cycp.2023.05.005



小黑麦(*×Triticosecale*)是小麦属与黑麦属植物经属间杂交而产生的新物种, 作为一种优质牧草, 具有种植范围广、成本低、环境要求低, 管理方便、经济效益好等特点, 在牧区广泛的种植<sup>[1-2]</sup>。芒作为一部分禾本科作物穗部外稃的突出结构, 存在于小麦(*Triticum aestivum*)、小黑麦、大麦(*Hordeum vulgare*)和水稻(*Oryza sativa*)等作物中<sup>[3]</sup>。根据芒的有无、长短以及生长的位置可分为无芒、短芒、顶芒、全芒4种类型<sup>[4-5]</sup>。植物的芒具有增大光合面积、提高光合效率、参与植物蒸腾等作用<sup>[6-7]</sup>。在草牧业生产中, 绝大多数小黑麦品种为有芒品种, 如果有芒小黑麦品种

不及时刈割, 芒逐渐蜡质化, 饲喂牲畜时口腔会被卡被扎, 饲草的适口性降低。另外, 芒对籽粒收获也有一定影响, 而且不容易清理干净<sup>[8]</sup>, 因此, 培育无芒小黑麦品种对提高饲草的适口性和大规模机械化收获具有重要意义。

目前, 国内外对无芒品种农艺性状的研究主要集中在芒对穗粒数、穗粒重、穗重以及产量的影响等方面。Weyhrich等<sup>[9]</sup>通过对比美国3个硬质红粒冬小麦品种的有芒与无芒近等基因系的芒性与穗粒数发现, 无芒品系TAM107的穗粒数比有芒系的多, 是因为芒与小花在发育上竞争, 导致小花数量的减少, 进而导致穗粒数的减少。大麦芒的作用因品种与环境的不同而异, 环境条件较好时, 芒对穗粒重的影响较大; 当环境条件较差时, 芒对穗粒重的影响较小<sup>[10]</sup>。官晶等<sup>[11]</sup>通过研究66个有芒小麦品种的芒与穗粒数、穗重的线性关系, 认为有芒小麦的芒长与穗粒数、穗重之间的线性关系并不显著, 小麦芒的长短并不能决定小麦产量。Rebetzke等<sup>[12]</sup>认为, 无芒小麦和有芒小麦的

收稿日期: 2021-12-30; 修回日期: 2022-03-22

基金项目: 国家自然科学基金(32260339); 西藏重大专项(XZ202101ZD003N); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-49)

作者简介: 马军(1984-), 男, 山东昌乐人, 博士研究生。

E-mail: 296292847@qq.com

\*通信作者。E-mail: duwh@gsau.edu.cn

平均产量无显著差异,小麦芒性对产量的影响更容易受到环境因素的影响。有芒小麦的产量性状在某些条件下会得到改善,而无芒小麦则更适合高产与有利。Mckenzie等<sup>[13]</sup>通过比较两种春小麦的杂交后代中的无芒小麦品系 awnleted Lee 与有芒小麦品系 awned Thatcher的产量,发现无芒小麦品系的产量要高于有芒小麦品系。国内外对芒性的研究主要集中于小麦、水稻等作物<sup>[14-15]</sup>,对小黑麦的芒性研究较少,本研究利用课题组前期培育的20个 $F_6$ 代小黑麦品系,通过对其穗部和芒等性状的分析,筛选出无芒或短芒且综合性状较好的品系,为无芒小黑麦新品种的选育提供理论依据。

表1 供试材料编号及品系名称

Table 1 Test material number and strain names

编号	品系名称	编号	品系名称	编号	品系名称	编号	品系名称
L1	19-6001	L6	19-6006	L11	19-6011	L16	19-6016
L2	19-6002	L7	19-6007	L12	19-6012	L17	19-6017
L3	19-6003	L8	19-6008	L13	19-6013	L18	19-6018
L4	19-6004	L9	19-6009	L14	19-6014	L19	19-6019
L5	19-6005	L10	19-6010	L15	19-6015	L20	19-6020

### 1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,设20个小黑麦品系处理和石大1号对照。供试材料均点播2行,行长3 m,行距与株距均为20 cm,播种深度1~2 cm,小区面积1.2 m<sup>2</sup>(3 m×0.4 m),重复3次。播种日期为2019年10月13日。播种前施磷酸二铵333 kg/hm<sup>2</sup>,返青期和拔节期分别施尿素196 kg/hm<sup>2</sup>。试验期间及时中耕除草,灌溉3次(返青期、拔节期、抽穗期)。

### 1.4 测定指标与方法

种子成熟期刈割前,从各品系随机选取10个单株的主穗,齐地面刈割,带回实验室测定芒长(顶芒与侧芒)、穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重。

顶芒:取单株主穗,用游标卡尺测量主穗顶部小穗最长芒的长度。

侧芒:测量主穗两侧中部小穗最长芒的长度,取平均值。

穗长:从基部小穗节至穗顶端(不包括芒)的长度。

小穗数:包括结实小穗数与不育小穗数。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于甘肃农业大学牧草试验站(甘肃兰州),N 36°03'、E 103°53',海拔1 560 m,年平均气温7.9℃,无霜期150 d,年降水量320 mm。土壤类型为栗钙土,肥力均匀,土壤有机质2.3 g/kg,碱解氮90.05 mg/kg,速效磷7.36 mg/kg,速效钾172.8 mg/kg,pH值7.35。前茬作物为甜高粱,有灌溉条件。

### 1.2 试验材料

供试材料为甘肃农业大学利用系谱法选育的20个小黑麦品系,编号为L1~L20(表1),对照(CK)为国家草品种委员会审定的石大1号小黑麦品种。

穗粒数:统计主穗的实际籽粒数。

穗粒重:用电子天平对穗粒数进行称重。

### 1.5 数据处理与分析

利用Excel 2007、SPSS 20.0与Origin 2017软件进行数据整理、分析与作图。

### 1.6 综合评价

用灰色关联度法对20个无芒小黑麦品系与石大1号对照组的农艺性状进行综合评价。取各参试小黑麦农艺指标的最优值组成一个“理想品种”的数列,该数列作为参考数列,记为 $X_0(k)$ ;将各参试小黑麦的农艺指标组成的数列作为比较数列,记为 $X_i(k)$ ;其中 $i$ 为各小黑麦品种(系), $k$ 为各农艺指标。先对原始数据进行无量纲化处理,再根据公式得出关联系数、等权关联度与加权关联度,其中 $\rho$ 取值为0.5,由于小黑麦各农艺性状的重要性各不相同,本试验根据育种人员对期望获得的理想育种目标,对权重系数赋予不同的值。计算公式如下:

关联系数

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|\min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}$$

$$\text{等权关联度 } \gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

$$\text{加权关联度 } \gamma_i = \sum_{k=1}^n \xi_i(k) W_k$$

## 2 结果与分析

### 2.1 小黑麦品系穗部性状各项指标的方差分析

各小黑麦品种(系)间的顶芒、侧芒、穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重均存在极显著差异( $P < 0.01$ )(表 2),需要进行多重比较。

表 2 小黑麦品系穗部性状各项指标的方差分析

Table 2 Analysis of variance of ear traits of triticale lines

变异来源	F 值					
	顶芒	侧芒	穗长	小穗数	穗粒数	穗粒重
品系间	14.25**	3.32**	12.25**	3.79**	5.52**	15.50**

注:\*差异达显著水平;\*\*差异达极显著水平

### 2.2 顶芒

在参试小黑麦品系中,顶芒最短的为 L6(4.15 mm),比 CK(31.59 mm)短 27.44 mm,且显著低于 CK、L1、L2、L3、L4、L5、L12、L15( $P < 0.05$ );顶芒最长的为 L1,为 22.47 mm,比 CK 短 4.15 mm,显著低于 CK( $P < 0.05$ ),显著高于除 L2、L3、L4、L5、L7、L12、L15 之外的其他小黑麦品系( $P < 0.05$ )。从顶芒芒长看,L6、L8、L9、L13、L16 顶芒均小于 5 mm,达到无芒小黑麦的顶芒标准(顶芒小于 5 mm),以上 5 个品系可作为培育无芒小黑麦品种的潜在材料(图 1)。

### 2.3 侧芒

20 个小黑麦品系中侧芒最短的为 L9(4.37 mm),且显著低于 L5( $P < 0.05$ ),但与 CK(12.63 mm)差异

不显著;侧芒最长的为 L5,为 18.45 mm,显著高于 L6、L8、L9、L13、L14、L16、L18、L20 小黑麦品系( $P < 0.05$ )。从侧芒芒长看,达到无芒小黑麦侧芒芒长(小于 5 mm)标准的品系有 L6、L8、L9、L13、L16,这 5 个品系可作为培育无芒小黑麦品种的潜在材料。

从顶芒与侧芒的长度看,顶芒长于侧芒的品系有 9 个,而侧芒长于顶芒的品系有 3 个,侧芒与顶芒长度差异不大的品系有 8 个,说明在选育的 20 个小黑麦品系中,大部分品系的顶芒长于侧芒或两者差异不大,只有小部分品系的侧芒长于顶芒。综合顶芒与侧芒长度看,顶芒与侧芒芒长均小于 5 mm 有 L6、L8、L9、L13、L16,这 5 个品系可作为培育无芒小黑麦品种的潜在材料(图 1)。

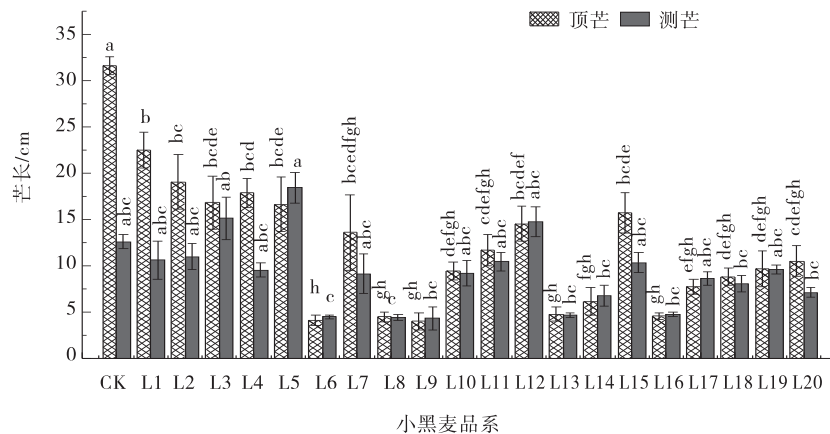


图 1 不同小黑麦品系的芒长

Fig. 1 Awn length among triticale lines

### 2.4 穗长与穗粒重

从穗长上看,20 个参试小黑麦品系中穗长最长的为 L14(17.40 cm),其次为 L6、L8、L11、L15,5 个品系

的穗长均在 15.70 cm 以上,显著高于 CK 与其他小黑麦品系( $P < 0.05$ );穗长最短的为 L17(10.54 cm),除与 L1、L2、L13、L16、L19、L20 无显著差异外,显著低

于CK和其他小黑麦品系( $P < 0.05$ );其余8个品系的穗长为13.22~15.44cm。在芒极短(顶芒与侧芒芒长均小于5 mm)的L6、L8、L9、L13、L16品系中,L8的穗长显著大于CK( $P < 0.05$ ),而L13、L16的穗长显著小于CK( $P < 0.05$ ),L6、L9的穗长与CK差异不显著(图2)。

从穗粒重看,穗粒重最重的是L14(3.67 g),除与L11与L15无显著差异外,显著高于CK与其他参试小

黑麦品系( $P < 0.05$ );L19的穗粒重最低,为1.17 g,显著低于CK( $P < 0.05$ ),但L1、L2、L4、L16、L17、L20与无显著差异(图5);其余品系的穗粒重为1.52~3.02 cm。在芒极短的L6、L8、L9、L13、L16品系中,L9与L16的穗粒重(2.08 g与1.21 g)显著低于CK( $P < 0.05$ ),而L6、L8、L13的穗粒重与CK无显著差异(图2)。

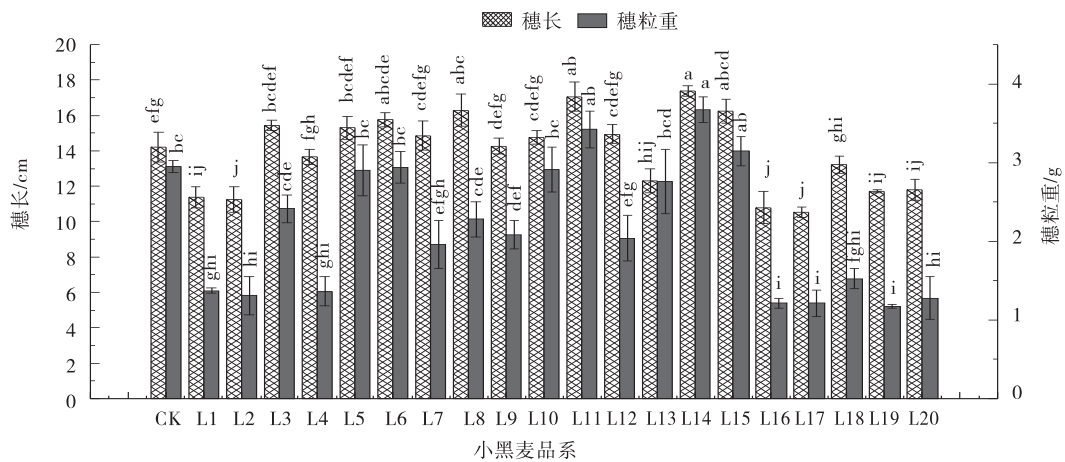


图2 不同小黑麦品系的穗长、穗粒重

Fig. 2 Spike length and grain weight per spike among triticale lines

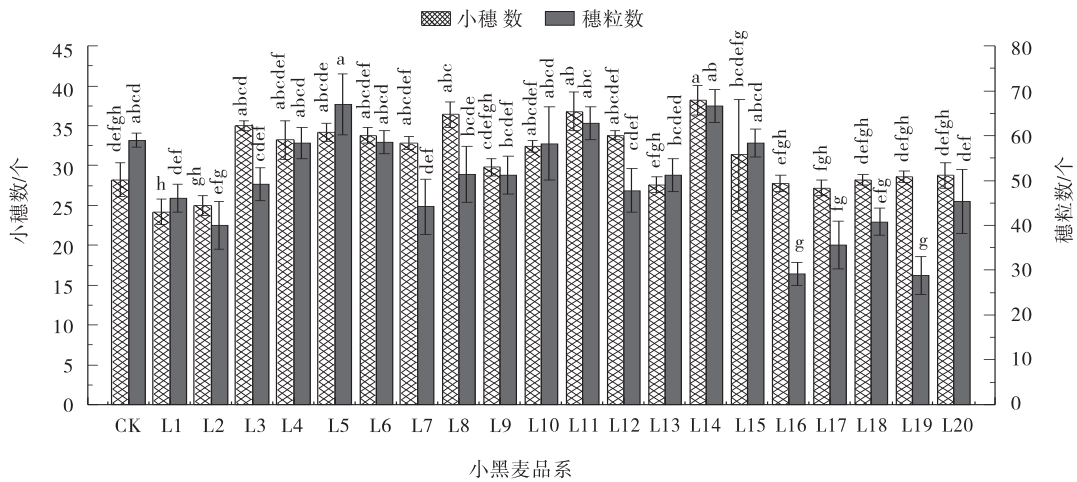


图3 不同小黑麦品系的小穗数、穗粒数

Fig. 3 Number of spikelet and grains per spike among triticale lines

2.5 小穗数与穗粒数

在20个小黑麦品系中,L14的小穗数最多,为38.20个,除与L3、L4、L5、L6、L7、L8、L11差异不显著外,显著高于CK(28.20个)与其他小黑麦品系( $P < 0.05$ )。小穗数较少的品系有L1、L2、L16、L17,均低于CK,但与CK无显著差异,其中小穗数最少的品系是L1,为24.20个,与CK无显著差异;其余小黑麦品

系的小穗数为27.60~33.80。在芒极短的L6、L8、L9、L13、L16品系中,L8的小穗数(36.40个)显著高于CK( $P < 0.05$ ),而L6、L9、L13、L16的小穗数与CK无显著差异(图3)。

从穗粒数看,穗粒数最多的品系是L5,为67.00个,除L4、L6、L10、L11、L14、L15外,显著高于其他参试小黑麦品系( $P < 0.05$ ),但与CK(59.00个)差异不

显著;L19 的穗粒数最少,为 28.80 个,除 L2、L16、L17、L18 外,显著低于 CK 与其他小黑麦品系 ( $P < 0.05$ );其余小黑麦品系的穗粒数为 40.00~51.40。在芒极短的 L6、L8、L9、L13、L16 品系中,L16 的穗粒数(29.2 个)显著低于 CK ( $P < 0.05$ ),而 L6、L8、L9、L13 穗粒数与 CK 无显著差异(图 3)。

## 2.6 芒长与其他穗部指标之间的相关性分析

根据芒长与其他穗部指标之间的相关性分析可知,顶芒芒长与侧芒芒长呈极显著正相关,而顶芒、侧芒与穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重之间无显著相关性,说明芒长对产量的构成因素无显著影响,即有芒品系与无芒品系对产量无显著影响。穗长与小穗数、穗粒数、穗粒重呈极显著正相关,小穗数与穗粒数、穗粒重呈极显著正相关,穗粒数与穗粒重呈极显著正相关,说明这 4 个产量的构成因素之间的相关性极显著(表 3)。

表 3 芒长与其他穗部指标之间的相关性分析

Table 3 Correlation between awn length and other spike index

	顶芒	侧芒	穗长	小穗数	穗粒数	穗粒重
顶芒	1.00					
侧芒	0.71**	1.00				
穗长	-0.05	0.14	1.00			
小穗数	-0.23	0.12	0.89**	1.00		
穗粒数	0.18	0.22	0.79**	0.64**	1.00	
穗粒重	-0.01	0.11	0.84**	0.65**	0.84**	1.00

## 2.7 综合评价

各参试小黑麦材料的穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重取最大值作为小黑麦最优指标( $X_0$ ),顶芒、侧芒取最小值作为最优指标( $X_0$ )。根据各性状在无芒小黑麦新品系中所占的重要程度,对权重( $W_i$ )进行赋值,顶芒、侧芒、穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重分别赋值为 0.35,0.20,0.10,0.10,0.10,0.15。

根据灰色关联度分析的原则,关联度的值越大,表明参试品种(品系)与期望育成的“理想品种”越接近,性状越好。在 20 个小黑麦新品系中,L6 的加权关联度的值最大,为 0.977 4;其次为 L9 与 L8,分别为 0.965 7 与 0.962 8;L1 的加权关联度的值最小,为 0.690 1(表 4),由此表明,L6 与期望育成的“理想品

表 4 各小黑麦品种(系)的加权关联度与排序

Table 4 Weighted incidence degree and order of each triticale lines

编号	加权关联度	排序	编号	加权关联度	排序
CK	0.671 7	21	L11	0.810 6	10
L1	0.690 1	20	L12	0.734 1	16
L2	0.702 9	19	L13	0.944 8	4
L3	0.721 3	17	L14	0.924 6	5
L4	0.736 3	15	L15	0.765 4	14
L5	0.720 7	18	L16	0.924 4	6
L6	0.977 4	1	L17	0.825 7	8
L7	0.772 8	13	L18	0.823 8	9
L8	0.962 8	3	L19	0.791 4	12
L9	0.965 7	2	L20	0.808 6	11
L10	0.831 2	7			

种”最为接近,综合性状最优;其次最接近期望育成“理想品种”的品系为 L9 与 L8,综合性状较好;L1 与期望育成的“理想品种”差异性较大,综合性状最差。

## 3 讨论

芒的有无、长短、形状以及颜色是区别不同品种的重要标志。根据不同学者分类方法<sup>[4-5,16]</sup>,短芒芒长小于 40 mm,且穗顶部及中部均有芒,而无芒则为完全无芒或者芒极短(小于 5 mm)。小黑麦的芒长不仅受到自身遗传基因的影响,还会受到环境等因素的影响,从而产生芒性性状分离的现象<sup>[17-18]</sup>。Sato 等<sup>[19]</sup>研究发现,芒性属于显性遗传的数量性状,受到多个基因的调控且存在相互作用。普通六倍体小麦的芒由 1 个促芒基因 A 与 4 个主要抑制基因(B1、B2、B3、Hd)协同调控<sup>[20]</sup>。lu 等<sup>[21]</sup>在光照对光周期敏感核雄性不育(PGMS)晚粳水稻的影响试验中指出,光周期对芒性有影响,芒性受到日照长度的影响发生变化,而 Kowata<sup>[22]</sup>研究发现冷水灌溉也会对芒性产生影响。本试验中,同一品系不同株之间的顶芒与侧芒也存在性状分离的现象,可能与环境因素有关。在顶芒与侧芒芒长为 5~10 mm 的 5 个品系 L10、L14、L17、L18、L19 中,其出现短芒的可能性较大,可进一步筛选并加以培育成短芒品种。此外,本试验采用传统的系谱法选育无芒与短芒小黑麦,耗费时间长,工作量大,效率低,为克服这些缺陷,可与效率更高、效果更好的分子

育种工作结合开展。

在饲草型小黑麦的筛选中,穗部性状是一个重要的影响因素,包括芒长、穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重等指标,穗部营养成分含量要高于茎秆部分,因此在筛选小黑麦新品系时要对穗部的各个指标进行考虑。穗部性状指标是影响籽粒产量的重要因素,不同学者对无芒品种与有芒品种与籽粒产量的关系进行了研究。Rebetzke等<sup>[12]</sup>则认为,无芒小麦和有芒小麦的平均产量无显著差异,小麦芒性对产量的影响更容易受到环境因素的影响,无芒小麦则更适合高产与有利的环境。Mckenzie等<sup>[13]</sup>发现无芒小麦品系 awnletted Lee的产量要高于有芒小麦品系 awned Thatcher。本研究通过对21个小黑麦品种(系)穗部性状指标的研究发现,21个参试小黑麦品种(系)的芒长与穗长、小穗数、穗粒数、穗粒重之间无显著相关性,说明芒长对籽粒产量的构成因素无显著影响,即有芒或无芒对籽粒产量的影响并无显著相关性,这与Rebetzke<sup>[12]</sup>和Mckenzie<sup>[13]</sup>的研究结果一致。因此,在未来推广小黑麦品种时,从产量因素看,芒的有无并不能成为其推广的限制因素。在本研究中,参试小黑麦的穗长与小穗数、穗粒数呈正相关,这与赵方媛<sup>[23]</sup>研究结果一致,而与赵丹<sup>[24]</sup>研究结果相反,这可能与不同品种(系)的小黑麦穗部紧实度与籽粒的饱满度不同有关。本研究发现,小穗数与穗粒数、穗粒重呈正相关关系,穗粒数与穗粒重也呈正相关关系,这与陈丽霞<sup>[25]</sup>的研究结果一致。

灰色关联度分析法克服了以单一性状评价作物新品系优劣的片面做法,运用多个性状对参试品种(系)进行综合评价,能够更加全面地对参试品种(系)做出客观评价,筛选出育种者期望的优良品种,在小麦、小黑麦、水稻<sup>[26-27]</sup>等作物综合评价上应用较多。研究表明,L6、L9、L8、L13的芒长极短,穗部性状较好,综合评价较高,可作为新品系选育的备选材料。L14的顶芒与侧芒均较短(6.18 mm与6.80 mm),符合短芒小黑麦的标准,且穗长、穗粒数、穗粒重最大,小穗数较多,穗部性状较好,综合评价较高,可作为培育短芒小黑麦品种的潜在材料。

## 4 结论

小黑麦的芒长不仅受到自身遗传基因的影响,还

会受到环境等因素的影响,会产生性状分离的现象。通过顶芒与侧芒的长度比较显示,17个品系的顶芒长于侧芒或两者差异不大,3个品系的侧芒长于顶芒。相关性分析显示,小黑麦各品系的芒长对产量的构成因素无显著影响,而穗长、小穗数、穗粒数与穗粒重这4个产量的构成因素之间的相关性极显著。通过灰色关联度分析法评价得出,供试小黑麦材料综合性状由高到低依次为:L6>L9>L8>L13>L14>L16>L10>L17>L18>L11>L20>L7>L15>L19>L4>L5>L12>L3>L2>L1>CK。筛选出的综合性状最优的无芒小黑麦品系为L6,其次为L9、L8、L13、L14,而L1的综合性状最差。因此,L6、L9、L8、L13可作为选育“理想品种”无芒小黑麦新品种的备选材料。L14芒长较短,穗部性状较好,综合评价较高,可作为培育短芒小黑麦品种的潜在材料。

## 参考文献:

- [1] 马文馨,宋谦,田新会,等. 小黑麦不同材料的抗寒性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(3):85-91.
- [2] 裴亚斌. 甘南高寒牧区秋播小黑麦与复种作物的耦合效应及耦合机制[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020.
- [3] 杨思晴,胡乐佳,胡鑫,等. 小麦芒抑制基因Hd的定位和候选基因分析[J]. 农业生物技术学报,2020,28(11):1901-1912.
- [4] 童一中. 小麦细胞遗传学[M]. 北京:中国农业出版社,1983.
- [5] 金善宝. 中国小麦品种志(1983-1993)[M]. 北京:中国农业出版社,1997.
- [6] 郑建敏,蒲宗君,孙华,等. 顶芒×长芒小麦的两种遗传模式分析[J]. 分子植物育种,2014,12(5):891-894.
- [7] 陈培元,李英. 小麦芒的功能及去芒对籽粒重的影响[J]. 作物学报,1981,7(4):279-282.
- [8] 赵吉平,任杰成,郭鹏燕,等. 我国小麦育种方向的创新与实践分析[J]. 山西农业科学,2019,47(1):139-142.
- [9] Weyhrich R A, Carver B F, Smith E L. Effect of awn suppression on grain yield and agronomic traits in hard red winter wheat[J]. Crop science, 1994, 34(4):965-969.
- [10] Yuo T, Yamashita Y, Kanamori H, et al. A SHORT INTERNODES (SHI) family transcription factor gene regulates awn elongation and pistil morphology in barley [J]. Journal of experimental botany, 2012, 63 (14) : 5223-5232.

- [11] 宫晶,傅兆麟,孙丽娜,等. 有芒小麦芒与穗粒重的关系研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(24): 11977—11979.
- [12] Rebetzke G J, Bonnett D G, Reynolds M P. Awns reduce grain number to increase grain size and harvestable yield in irrigated and rainfed spring wheat[J]. Journal of experimental botany, 2016, 67(9): 2573—2586.
- [13] Mckenzie, Hugh. Adverse influence of awns on yield of wheat[J]. Canadian journal of plant science, 1972, 52(1): 81—87.
- [14] 杜斌,崔法,王洪刚,等. 小麦芒长抑制基因B1近等基因系的鉴定及遗传分析[J]. 分子植物育种, 2010, 8(2): 259—264.
- [15] Song Z J, Du C Q, Zhang X Z, *et al.* Studies on awns in polyploid rice (*Oryza sativa* L.) and preliminary cross experiments of a special awnless tetraploid rice[J]. Genetic resources and crop evolution, 2014, 61(4): 79—807.
- [16] 黄瑾,骆惠生,张勃,等. 普通小麦芒的遗传分析[J]. 甘肃农业科技, 2011(2): 11—12.
- [17] 李本. 水稻芒性基因Awn3-1、Awn4. 1、Awn8-1的精细定位及Awn4-2的图位克隆[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [18] 王军,朱金燕,周勇,等. 基于染色体单片段代换系的水稻芒性QTL定位[J]. 华北农学报, 2013, 28(3): 7—11.
- [19] Shigetoshi Sato, Setsuji Ishikawa, Masaki Shimono, *et al.* Genetic Studies on an Awnness Gene Au-4 on Chromosome 8 in Rice *Oryza sativa* L. [J]. Breeding Science, 1996, 46(4): 321—327.
- [20] 李玲,刘盼,张蕾,等. 小麦芒基因定位及其与农艺性状的相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 102—114.
- [21] Lu X C, He Y, Chen M, *et al.* Daylength responses of various morphogenetic events after panicle initiation in late japonica rice (*Oryza sativa* L. ssp. japonica) [J]. Plant Biology, 2010, 10(3): 365—373.
- [22] Kowata H, Hatakeyama H. Effects of cool water irrigation treatment on the awn characters in rice [*Oryza sativa*] [J]. Tohoku Journal of Crop Science, 1997(40): 1—3.
- [23] 赵方媛,曲广鹏,田新会,等. 饲料型小黑麦品系籽粒产量及其营养价值研究[J]. 草地学报, 2018, 26(6): 1374—1381.
- [24] 赵丹,杜文华,赵雅姣,等. 不同小黑麦品种的种子产量及产量构成因素比较[J]. 草原与草坪, 2013, 33(6): 61—66.
- [25] 陈丽霞,田新会,杜文华. 小黑麦新品系在甘肃省陇中冬小麦区的种子产量及产量构成因素的研究[J]. 草原与草坪, 2015, 35(5): 70—74+83.
- [26] 王开华,王平,郑建超,等. 小麦发育后期茎秆抗倒伏性的数学模型[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(15): 12—19.
- [27] 杨婷婷,崔金凤,吴文革,等. 21个杂交水稻品种主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J]. 安徽科技学院学报, 2015, 29(3): 1—5.

## Awn analysis of 20 triticale lines

MA Jun, TIAN Xin-hui, DU Wen-hua\*

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose of this study was to screen the awnless or short-awned strains with good comprehensive traits, and to provide theoretical basis for breeding new varieties of awnless triticale. [Method] The spikes and awns of 20 awnless triticale were studied with Shida No. 1 as the control material and comprehensive evaluation for the 21 triticale materials was done by grey correlation degree analysis in this paper. [Result] The results showed that 21 triticale varieties (lines) had very significant differences in tip awn, side awn, spike length, the number of spikelet, the number of grains per spike, and grain weight per spike. L6 had the shortest tip awn which was 4.15mm and L9 had the shortest side awn which was 4.03 mm. The largest number of spike length, spikelet and

grain weight per spike of triticale line were L14 (17.40cm, 38.20 and 3.67 g, respectively). The largest number of grains per spike of triticale line was L5, which was 67.00. The tip awn of 17 lines were longer than side awn or they had little difference and the side awn of 3 lines were longer than the tip awn. Correlation analysis showed that there was no significant correlation between awn length and spike length, the number of spikelet, the number of grains per spike, and grain weight per spike. There was no significant correlation between awn line or awnless line on grain yield. The spike length was significantly positively correlated with the number of spikelet, the number of grains per spike, and grain weight per spike. The number of spikelet was significantly positively correlated with the number of grains per spike and grains weight per spike, and the number of grains per spike was also significantly positively correlated with grains weight per spike. **【Conclusion】** Comprehensive analysis showed that L6 had the best comprehensive performance, followed by L9, L8, L13 and these four lines could be used as candidates for breeding new varieties of awnless triticale. L14 had shorter awn length, better spike traits and higher comprehensive evaluation which could be used as a potential material for cultivating short awn triticale.

**Key words:** triticale; breeding; awn; spike traits; comprehensive evaluation