

### 3 种披碱草属 (*Elymus*) 牧草交配系统研究

德 英<sup>1</sup>, 乌吉玛<sup>2</sup>, 穆怀彬<sup>1</sup>, 解继红<sup>1</sup>, 赵来喜<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院草原研究所/农业部草原资源与生态重点开放实验室, 呼和浩特 010010;

<sup>2</sup> 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022)

**摘要:** 通过测定 3 种披碱草属 (*Elymus*) 牧草, 即老芒麦 (*E. sibiricus*)、麦薷草 (*E. tangutorum*) 和披碱草 (*E. dahuricus*) 的花粉-胚珠比 (P/O 值)、杂交指数 (OCI), 结合不同授粉方式下这 3 种牧草的结实率, 探讨这 3 种披碱草属牧草的交配系统, 为披碱草属牧草杂交育种、丰产栽培等提供理论依据。结果表明, 这 3 种牧草的花粉-胚珠比 (P/O 值) 均介于 31.9~396.0 之间, 交配系统属于兼性自交; 杂交指数 OCI 值均为 2, 交配系统也属于兼性自交; 结实率统计表明, 以自交为主, 异交可育。因此, 这 3 种披碱草属牧草的交配系统属于兼性自交类型。

**关键词:** 披碱草属 (*Elymus*) 牧草; 交配系统; 花粉-胚珠比; 杂交指数; 结实率

### Study on Mating System of Three *Elymus* spp.

DE Ying<sup>1</sup>, WU Ji-ma<sup>2</sup>, MU Huai-bin<sup>1</sup>, XIE Ji-hong<sup>1</sup>, ZHAO Lai-xi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Grassland Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Grassland

Resources and Ecology, Ministry of Agriculture, Hohhot 010010; <sup>2</sup> College of Life Science and

Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022)

**Abstract:** To provide a theoretical basis for crossbreeding, yielding cultivation of *Elymus*, an experiment was conducted to study mating system of *E. sibiricus*, *E. tangutorum* and *E. dahuricus* by pollen-ovule ration (P/O value), outcrossing index and seed setting rate under different pollination methods. The results showed that the pollen-ovule ration (P/O value) was between 31.9 and 396.0, mating system was the facultative autogamy. Outcrossing index (OCI) value was two, was the facultative autogamy too. Seed setting rate showed that they were selfing, out-cross compatible. As a result, mating system of three *Elymus* spp. belong to the facultative autogamy.

**Key words:** *Elymus* spp.; mating system; pollen-ovule ration; outcrossing index; seed setting rate

披碱草属 (*Elymus* L.) 是禾本科 (Gramineae) 小麦族 (Triticeae) 重要的多年生属, 该属是小麦族植物中遗传和物种多样性较为丰富的类群之一, 老芒麦 (*E. sibiricus*)、麦薷草 (*E. tangutorum*) 和披碱草 (*E. dahuricus*) 是披碱草属的优质牧草, 具有营养价值高、抗旱、抗寒、适应性强和适口性好等优点, 对退化草地改良、种草养畜都具有重要意义; 小麦近缘种基因组中含有普通小麦不具有的抗逆、抗病虫害基因, 可作为改良小麦的基因资源库<sup>[1-4]</sup>。

近年来, 关于披碱草属植物的研究较多, 主要集中在抗性、遗传多样性、基因组组成、进化等方面<sup>[5-8]</sup>, 关于繁育系统方面的研究较少。繁育系统 (breeding system) 是植物繁殖生物学的重要内容, 也是进化生物学最活跃的研究领域之一。繁育系统主要涉及花部特征、花粉活力与柱头可受性以及交配系统, 其中交配系统, 即授粉方式是核心, 包括自交、异交和混合型<sup>[9]</sup>。盘朝邦<sup>[10]</sup>曾记载老芒麦为异花授粉植物, 闵继淳<sup>[11]</sup>也指出老芒麦是异花授粉植

收稿日期: 2014-05-01 修回日期: 2014-08-06 网络出版日期: 2015-06-10

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150610.1602.004.html>

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程草原研究所草种质资源与育种团队; “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2012BAD13B07, 2011BAD17B01); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (1610332015016)

第一作者研究方向为牧草资源与育种。E-mail: dy20060701@163.com

通信作者: 赵来喜, 研究方向为牧草资源。E-mail: zhaolaixi3630@sina.com

物;徐柱<sup>[12]</sup>记载披碱草属牧草为自花授粉植物; J. L. Hamrick 等<sup>[13]</sup>曾对涉及 165 个属、449 个种的不同类型植物的遗传变异水平和居群分化程度进行统计,结果发现自花授粉植物 51% 的遗传变异存在于居群间,异交风媒植物绝大部分(90.1%)的遗传变异存在于居群内,只有 9.9% 的存在于居群间;本课题先前研究表明<sup>[14]</sup>,居群间表型分化系数为麦薷草(37.30%) > 披碱草(26.7%) > 老芒麦(22.76%),所以从这个结论来看这 3 种披碱草属牧草并不属于严格意义上的自花授粉植物。许多学者的研究已经表明,杂交指数、P/O 值是一种可信且在野外条件下比较简便的检测两性显花植物交配系统的方法<sup>[15-16]</sup>。目前,未见关于披碱草属牧草交配

系统方面的报道,本文通过测定花粉-胚珠比(P/O 值)、杂交指数(OCI)以及不同授粉方式下结实率确定这 3 种牧草的交配系统,旨在为披碱草属牧草杂交育种、丰产栽培等提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

按照《老芒麦种质资源描述规范和数据标准》<sup>[17]</sup>中规定,老芒麦有早熟、中熟和晚熟 3 种熟性;披碱草和麦薷草有中熟和晚熟 2 种熟性。供试材料为不同熟性的老芒麦 8 个居群、麦薷草 5 个居群和披碱草 5 个居群,共计 18 个居群,详见表 1。

表 1 供试材料名录

Table 1 Directory of *Elymus* species used in this study

种 Species	熟性 Maturity	单位编号 Identity code	来源 Origin	经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude	海拔(m) Altitude	
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	早熟	ES011	甘肃合作	102°55'	35°01'	2960	
		ES025	青海省海晏金滩乡	101°05'	36°48'	2918	
	中熟	ES016	吉林省敦化	128°16'	43°21'	509	
		ES021	呼和浩特市和林县摩天岭	112°00'	40°25'	1627	
		晚熟	ES036	新疆乔尔玛兵站	84°27'	43°46'	2322
			ES040	吉林延吉	129°35'	43°05'	330
ES022	呼和浩特市苻蓉山庄	111°47'	41°02'	1727			
ES038	内蒙古克什克腾旗	117°18'	42°35'	1616			
麦薷草 <i>E. tangutorum</i>	中熟	ET018	四川道鄂	101°13'	30°53'	3280	
		ET022	青海海晏县金滩乡	101°05'	36°48'	2918	
	晚熟	EV009	呼市北郊大青山小井沟	111°47'	41°02'	1727	
		EC018	内蒙古锡盟白旗	115°15'	42°34'	1208	
		EC020	内蒙古拉布达林	120°38'	52°45'	721	
披碱草 <i>E. dahuricus</i>	中熟	EC003	柴达木盆地南边伊克高里工区	97°30'	36°02'	2962	
		EC009	青海省都兰县巴隆乡	97°07'	36°02'	3378	
	晚熟	ET007	青海海晏县金滩乡	101°05'	36°48'	2918	
		EC013	新疆天山中部巩乃斯	84°01'	43°16'	1884	
ED005	山西沁源县灵空山	112°14'	36°34'	1000			

### 1.2 方法

#### 1.2.1 花粉量和花粉-胚珠比的估算

**1.2.1.1 花粉量的统计** 每居群选 1 个健壮无病害的单穗进行花粉量统计。取未开裂花药 3 枚于干净的载玻片上,在室温条件下干燥散粉,待花药完全开裂散粉后,加几滴 I<sub>2</sub>-KI 溶液,用镊子充分捣碎后移入 1.5 mL 离心管中定容至 1 mL,涡旋振荡器上振荡摇匀成悬浮液。采用血细胞计数法:吸取

10 μL 悬浮液滴在 25 × 16 型血球计数板上, Motic BA200 体式显微镜(40 ×)下直接镜检计数,重复 10 次,取平均值,以单个花药的花粉粒数作为该居群的花粉量。按下列公式计算每个花药的花粉量:

$$\text{单个花药花粉粒数} = (\text{每个计数板花粉粒数} \times 100) / 3$$

**1.2.1.2 花粉-胚珠比(P/O, pollen-ovule ratio)的估算** 3 种披碱草属牧草的胚珠数均为 1,

则花粉量即为 P/O 值。依据 R. W. Cruden<sup>[18]</sup> 的标准:P/O 值在 18.1 ~ 39.0 时,其交配属于专性自交;P/O 值在 31.9 ~ 396.0 时,其交配系统属于兼性自交;P/O 值在 244.7 ~ 2588.0 时,其交配系统属于兼性异交;P/O 值在 2108.0 ~ 195525.0 时,其交配系统属于专性异交。

**1.2.1.3 杂交指数 (OCI, outcrossing index) 的估算** 选取 5 个单株,每株 2 个花序,按照 A. Dafni<sup>[19]</sup> 的标准进行 3 种披碱草属牧草小花直径、大小和开花行为的测量和评判。具体方法是:(1)小花直径小于 1 mm 记为 0,在 1 ~ 2 mm 之间记为 1,2 ~ 6 mm 间记为 2,大于 6 mm 记为 3;(2)花药与柱头同时成熟或雌蕊先熟记为 0,雄蕊先熟记为 1;(3)柱头与花药在同一高度记为 0,空间分离记为 1,三者之和为 OCI 值。交配系统的评判标准为:OCI 为 0 时,属闭花受精;OCI 为 1 时,属专性自交;OCI 为 2 时,属于兼性自交;OCI 为 3 时,属于自交亲和,有时需要传粉者;OCI 为 4 时,繁育系统以异交为主,部分自交亲和,需要传粉者。

表 2 花粉-胚珠比与交配系统的检测结果

Table 2 Results of pollen-ovule ration and mating systems

种 Species	熟性 Maturity	单个花药花粉量 Pollen number of per anther	胚珠数 No. of ovule	花粉-胚珠比 Pollen-ovule ration	繁育系统 Breeding system
老芒麦	早熟	138.00 ± 18.55 cD	1	138.00 ± 18.55	兼性自交
<i>E. sibiricus</i>	中熟	106.00 ± 4.17 dD	1	106.00 ± 4.17	兼性自交
	晚熟	135.50 ± 3.43 cD	1	135.50 ± 3.43	兼性自交
麦薷草	中熟	236.50 ± 6.28 bC	1	236.50 ± 6.28	兼性自交
<i>E. tangutorum</i>	晚熟	258.00 ± 5.54 bBC	1	258.00 ± 5.54	兼性自交
披碱草	中熟	302.50 ± 7.24 aA	1	302.50 ± 7.24	兼性自交
<i>E. dahuricus</i>	晚熟	287.00 ± 5.54 aAB	1	287.00 ± 5.54	兼性自交

不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。下同

The different small and capital letters represent significant at 5% and 1% probability level, respectively. The same as below

## 2.2 杂交指数

老芒麦早熟、中熟和晚熟居群小花直径分别为  $1.39 \pm 0.05$  mm、 $1.45 \pm 0.06$  mm 及  $1.28 \pm 0.05$  mm, 麦薷草中熟和晚熟居群的分别为  $1.30 \pm 0.06$  mm 和  $1.14 \pm 0.07$  mm, 披碱草中熟及晚熟居群的分别为  $1.22 \pm 0.05$  mm 和  $1.38 \pm 0.07$  mm, 依据 A. Dafni<sup>[19]</sup> 的标准,小花直径介于 1 ~ 2 mm, OCI 记为 1;刚开始进入初花期时,测定了开花前的柱头可受性表明,这 3 种牧草的柱头在开花前均具有可受性,而花药尚未散粉,即雌蕊先熟,OCI 记为 0;花药均高于柱头,具有空间分离,OCI 记为 1。老芒麦、

**1.2.2 授粉方式及结实率的统计** 方法同乌吉玛等<sup>[20]</sup> 的研究。

**1.2.3 数据分析** 数据采用 SPSS 18.0 软件进行单因素 ANOVA 方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 花粉-胚珠比

3 种披碱草属牧草的小穗均由 3 ~ 5 枚小花组成,每朵小花含有 3 个花药和 1 个雌蕊,以单个花药花粉量为每居群的花粉量。7 个不同熟性居群花粉量的方差分析结果见表 2,披碱草中熟和晚熟居群的花粉量分别为  $302.50 \pm 7.24$  粒及  $287.00 \pm 5.54$  粒,极显著高于其他居群 ( $P < 0.01$ );麦薷草不同熟性居群的花粉量极显著高于老芒麦 ( $P < 0.01$ )。老芒麦、麦薷草和披碱草的小花为单雌蕊,具有 1 粒胚珠,故花粉-胚珠比 (P/O 值) 等于花粉量,按照 R. W. Cruden<sup>[18]</sup> 的标准,当 P/O 值处于 31.9 ~ 396.0 时,交配系统属于兼性自交型。

麦薷草和披碱草的 OCI 值均为 2,因此老芒麦、麦薷草和披碱草的交配系统均为兼性自交。

### 2.3 结实率

**2.3.1 老芒麦结实率** 老芒麦开放授粉、自交及异交下的结实率详见表 3,早熟居群开放授粉和自交的结实率没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ),但它们极显著高于异交结实率 ( $P < 0.01$ );中熟居群开放授粉极显著高于自交和异交的结实率 ( $P < 0.01$ ),自交和异交的结实率没有显著性差异 ( $P > 0.05$ );晚熟居群开放授粉、自交和异交的结实率没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

表 3 老芒麦开放授粉、自交及异交结实率比较

Table 3 Comparison of open pollination, selfing and outcrossing seed setting rate of *E. sibiricus*

授粉方式 Pollination	早熟居群 Early-maturing populations			中熟居群 Mid-maturing populations			晚熟居群 Late-maturing populations		
	小花数 Floret number	结实小花数 Floret number of maturing	结实率 (%) Maturing rate	小花数 Floret number	结实小花数 Floret number of maturing	结实率 (%) Maturing rate	小花数 Floret number	结实小花数 Floret number of maturing	结实率 (%) Maturing rate
	开放授粉 Open pollination	5420	760	14.02 aA	7000	1490	21.29 aA	5700	1090
自交 Inbred	6800	780	11.47 aAB	6740	1020	15.13 bAB	5830	830	14.24 aA
异交 Outcrossing	6220	120	1.93 bB	5850	620	10.60 bB	6800	1020	15.00 aA

2.3.2 麦薷草结实率 麦薷草开放授粉、自交及异交下的结实率详见表 4, 中熟居群开放授粉和自交结实率没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 均极显著高于

异交的结实率 ( $P < 0.01$ ); 晚熟居群开放授粉与自交结实率没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 但二者均极显著高于异交的结实率 ( $P < 0.01$ )。

表 4 麦薷草开放授粉、自交及异交结实率比较

Table 4 Comparison of open pollination, selfing and outcrossing seed setting rate of *E. tangutorum*

授粉方式 Pollination	中熟居群 Mid-maturing populations			晚熟居群 Late-maturing populations		
	小花数 Floret number	结实小花数 Floret number of maturing	结实率 (%) Maturing rate	小花数 Floret number	结实小花数 Floret number of maturing	结实率 (%) Maturing rate
开放授粉 Open pollination	5350	1020	19.07 aA	8030	3670	45.70 aA
自交 Inbred	6270	1000	15.95 aA	8350	2840	34.01 aA
异交 Outcrossing	6520	620	9.51 bB	9680	810	8.37 bB

### 3 讨论

交配系统一直被视为影响植物种群遗传结构的一个重要因素<sup>[13,21]</sup>, 它控制着基因由配子体在 2 个世代间的传递与延续, 决定着后代遗传变异的水平和种群数量, 对植物种群遗传结构有着重要的作用<sup>[18]</sup>。传统的选育种以杂交的方式培育出优良的品种, 这本身就是在利用植物交配系统的基础上进行的。虽然已有关于披碱草属牧草交配系统的报道, 但是报道的交配系统却不统一<sup>[10-12]</sup>。本研究按照 R. W. Cruden<sup>[18]</sup>的标准, 老芒麦、麦薷草和披碱草的交配系统属于兼性自交, 根据 A. Dafni<sup>[19]</sup>的标准得到的杂交指数也表明它们的交配系统属于兼性自交。套袋授粉试验结果表明, 老芒麦、麦薷草具有较高的自交结实率, 即自交亲和; 异交的结实率虽低但也说明了异交可育, 然而均低于开放授粉的结实率。披碱草中熟居群开放授粉结实率极显著高于自交和

异交结实率 ( $P < 0.01$ ), 自交结实率显著高于异交结实率 ( $P < 0.05$ ); 晚熟居群开放授粉与自交的结实率没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 显著高于异交结实率 ( $P < 0.05$ )<sup>[20]</sup>。这结果表明, 它们具有以自交为主, 兼有异交的混合型交配系统, 这 3 种披碱草属牧草的遗传多样性分析也表明, 它们的遗传分化系数属于自交物种的范围<sup>[13-14]</sup>, 与此试验结果一致。

### 4 结论

老芒麦、麦薷草和披碱草花粉-胚珠比 (P/O 值) 均介于 31.9 ~ 396.0 之间, 交配系统属于兼性自交; 杂交指数 OCI 值为 2, 交配系统也属于兼性自交; 结实率统计表明, 以自交为主, 异交可育。因此, 3 种披碱草属牧草的交配系统均属于兼性自交类型。

(下转 913 页)