

不同光周期条件下谷子农艺性状的光周期敏感性评价

贾小平¹, 李剑峰¹, 全建章², 王永芳², 董志平², 张博¹, 袁玺玺¹

(¹河南科技大学农学院, 洛阳 471023; ²河北省农林科学院谷子研究所/国家谷子改良中心, 石家庄 050035)

摘要:本研究连续2年在海南和洛阳两个不同日照长度的生态区调查了156份谷子材料的株高、叶片数、抽穗期、穗长、穗粗、穗码数、码粒数、穗粒重、千粒重9个主要农艺性状,通过9个性状的相对光周期敏感度比较分析、构建光周期敏感性综合评价指标D值对各性状进行回归分析两种方法评价9个性状的光周期敏感性,筛选能够准确反映谷子光周期敏感性的指标性状,为开展谷子光周期敏感性遗传学分析、光周期敏感性相关基因的定位奠定基础。结果表明:光周期相对敏感度排列顺序为:穗码数>抽穗期>穗长>株高>叶片数>穗粒重;各个农艺性状对光周期敏感综合指标D的回归方程为 $D = -8.803 \times 10^{-18} + 0.187X_1 + 0.041X_2 + 0.146X_3 + 0.202X_4 + 0.130X_5 + 0.081X_6 + 0.098X_7 - 0.086X_8 + 0.126X_9$,其中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 分别代表抽穗期、穗粒重、株高、叶片数、穗长、穗粗、穗码数、码粒数、千粒重。9个农艺性状对光周期敏感综合指标D的直接作用最大的是穗码数(0.395),其次是穗长(0.239)、抽穗期(0.228)、穗粒重(0.176)、叶片数(0.164)、株高(0.144)。结合各个农艺性状的相对敏感度比较分析结果以及各农艺性状对综合指标D的回归分析结果,得出穗码数、穗长、抽穗期3个性状为谷子光周期极敏感指标,叶片数光周期敏感度较弱,可以作为谷子光周期敏感性评价的次要指标,株高、穗粒重在两种评价方法中排序差异较大,稳定性差,不适合作为谷子光周期敏感性评价指标。

关键词:谷子;光周期敏感性;抽穗期;穗码数

Evaluation of Photoperiod Sensitivity of Agronomic Traits of Foxtail Millet Varieties (*Setaria italica*) under Different Photoperiod Conditions

JIA Xiao-ping¹, LI Jian-feng¹, QUAN Jian-zhang², WANG Yong-fang²,
DONG Zhi-ping², ZHANG Bo¹, YUAN Xi-lei¹

(¹College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023;

²Institute of Millet, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/National Millet Improvement Center, Shijiazhuang 050035)

Abstract: In order to evaluate the photoperiod sensitivity of foxtail millet cultivars, here we investigated nine agronomic traits of 156 cultivars in two calendar years under two ecological areas with different photoperiod conditions. By deployment of photoperiod relative sensitivity comparison analysis and photoperiod sensitivity comprehensive index D, we evaluated nine agronomic traits that associated with the photoperiod. The large phenotypic variations were observed (spikelet number > heading stage > panicle length > plant height > number of leaves > grain weight per panicle). The formula to calculate the light sensitivity comprehensive index D was $D = -8.803 \times 10^{-18} + 0.187X_1 + 0.041X_2 + 0.146X_3 + 0.202X_4 + 0.130X_5 + 0.081X_6 + 0.098X_7 - 0.086X_8 + 0.126X_9$, where X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 , X_7 , X_8 and X_9 represented heading stage, grain weight per panicle, plant height, number of leaves, panicle length, panicle diameter, spikelet number, grain number per spikelet and 1000-grain weight, respectively. The D values of spikelet number, panicle length, heading stage and grain weight per panicle number of leaves and plant height were 0.395, 0.239, 0.228, 0.176, 0.164 and 0.144, respectively. Taken together, this result suggested

收稿日期:2018-02-07 修回日期:2018-03-09 网络出版日期:2018-07-05

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180704.1720.001.html>

基金项目:国家自然科学基金(31471569)

第一作者研究方向为谷子资源评价与分子育种。E-mail: jiaxiaoping2007@163.com

that spikelet number, panicle length and heading stage were strongly photoperiod sensitive indices, while number of leaves showed moderate photoperiod sensitivity, both of which could serve as indexes for evaluating foxtail millet photoperiod sensitivity. Due to the large variation on plant height and grain weight per panicle, both traits might be not considered to be deployed in photoperiod sensitivity evaluation in foxtail millet.

Key words: foxtail millet; photoperiod sensitivity; heading stage; spikelet number

光周期作为一个重要的环境因子影响着农作物的生态适应性,目前对光周期敏感性研究较深入的是模式作物拟南芥和水稻,这些作物均为 C₃ 作物。而谷子具有抗旱、耐瘠、高光合、较小基因组等特点,是一个理想的 C₄ 作物模型,和玉米、高粱等基因组较大的 C₄ 作物比较,开展谷子光周期敏感性研究相对更加容易。目前谷子相关研究主要集中在抗旱性鉴定^[1-3]、品种评价^[4-5]、遗传多样性分析^[6-7]、相关基因克隆^[8-10],有关光周期敏感性评价指标筛选的基础性研究工作还没有报道。在玉米和大豆的研究中,Gouesnard 等^[11]以积温与散粉期的回归方程的斜率作为玉米光周期敏感性鉴定的量化指标;大豆光周期反应存在于出苗至开花的全过程^[12-13],杨志攀等^[14-15]提出了开花前短日敏感度、长日敏感度,开花后短日敏感度、长日敏感度等参数来评价大豆不同阶段的光周期反应。谷子因为尚未有光周期敏感性评价指标的研究,国内外学者参考其他作物研究方法以开花期作为评价指标进行了光周期敏感性 QTL 定位研究,在谷子第 4 号染色体定位到短日照条件与光周期敏感性相关的 QTL 位点,在 3 号、9 号染色体定位到长日照条件下与光周敏感相关的 QTL 位点^[16-17];日照长度在 8~12 h 定位的开花时间 QTL 具有共线性,而日照长度为 16 h 长日照定位的开花时间 QTL 与 8~12 h 定位的 QTL 存在差异,说明长日照(16 h)控制开花时间的遗传机制与短日照(8~12 h)有所不同^[18]。还有学者利用生物信息学方法从谷子基因组中鉴定了光周期途径关键

基因 CO 基因,并且利用转录组测序研究了这些基因在叶片中的表达量,发现 4 号染色体的 CO 基因(Seita. 4G192300)表达量最高^[19]。

目前谷子全基因组序列已经由美国和中国测定^[20-21],这极大方便了开展光周期敏感性分子水平的研究,筛选合适的光周期敏感性评价性状指标则是深入开展光周期反应分子机制的前提。本研究以 156 份来源于不同国家、不同生态区域的谷子品种(系)为材料,连续 2 年在海南和洛阳两个不同日照长度的生态区调查了株高、叶片数、抽穗期、穗长、穗粗、穗码数、码粒数、穗粒重、千粒重 9 个主要农艺性状,筛选能够准确反映谷子光周期敏感性的指标性状,为开展谷子光周期敏感性遗传学分析、光周期敏感性相关基因的定位奠定基础。

1 材料与方法

1.1 谷子材料及种植方法

本研究所用的 156 份谷子材料包括来自河南、河北、山东、山西、陕西、黑龙江、吉林、辽宁、新疆、内蒙古、甘肃、青海、宁夏、西藏等中国各地区的品种资源 143 份和来自国外的品种资源 13 份。2015 年 5 月中旬至 10 月中旬,2016 年 5 月中旬至 10 月中旬,将 156 份谷子材料种植于河南科技大学试验田(34°37' N, 112°26' E),2015 年 11 月中旬至 2016 年 2 月中旬,2016 年 11 月中旬至 2017 年 2 月中旬,将 156 份谷子材料种植于海南乐东县九所镇(18°45' N, 109°10' E),两个年份洛阳、海南两地谷子生育期间日照时数见表 1。

表 1 洛阳、海南谷子生育期月平均日照时数

Table 1 Average sunshine time per month during foxtail millet growth period in Luoyang and Hainan (h)

年份 Years	洛阳 Luoyang					海南 Hainan					
	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	1 月 January	2 月 February	3 月 March
2015-2016	202.4	131.7	195.9	148.8	142.2	159.9	180.2	77.4	27.4	113.4	154.1
2016-2017	204.2	227.9	189.4	151.0	164.1	107.5	115.7	98.5	25.8	110.7	148.5

种植方式为每品种(系)种植 1 行,行长 2 m,行距为 60 cm,株距为 3~5 cm,地两头设 3 行保护行,

管理方式按当地常规方法。所测定的 9 个性状包括抽穗期、株高、叶片数、穗长、穗粗、穗码数、码粒数、

穗粒重、千粒重,其中抽穗期以每个品种(系)从出苗至超过 50% 植株抽穗的天数表示,其他各性状均选择每个品种(系)行中部 10 株进行测量,测量方法见贾小平等^[22-23],取均值作为该性状的最终值。

1.2 统计分析

1.2.1 各性状光周期相对敏感度比较 采用长短日照条件下某一性状的相对差值 $RD = [(L-S)/S \times 100]$ 来评价 9 个性状的光周期敏感度,用 Excel 2003 软件绘制柱形图,比较 9 个性状光周期敏感性强弱。

1.2.2 主成分分析 利用 SPSS 17.0 软件对株高、叶片数、抽穗期、穗长、穗粗、穗码数、码粒数、穗粒重、千粒重 9 个性状在 156 个品种中的相对光周期敏感度进行主成分分析。

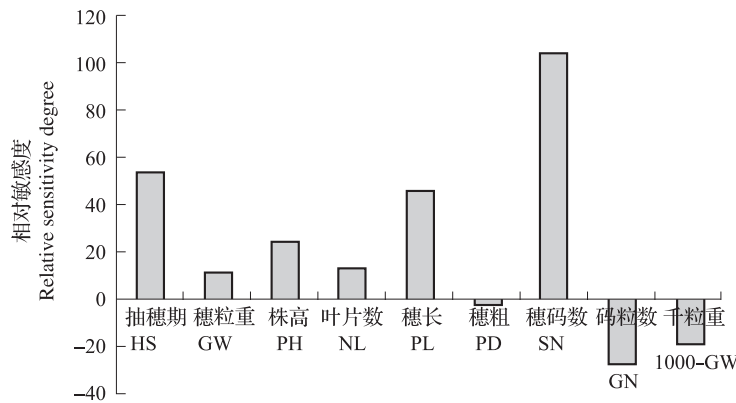
1.2.3 相关分析、回归分析与通径分析 根据梁文科^[24]的计算公式,计算综合指标贡献率大小,用公

式 $w_j = p_j/S_{p_j}$ 获得综合指标权重,公式中 w_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度; p_j 为各品种第 j 个综合指标的贡献率。各品种光周期敏感性综合值用公式 $D = \sum[\mu(x_j) \cdot w_j]$ 计算。最后以 9 个性状的相对值为自变量,D 值为因变量进行回归分析,对进入回归方程的变量进行相关分析和通径分析。

2 结果与分析

2.1 各性状光周期相对敏感度比较

根据光周期相对敏感度计算公式计算出 9 个性状在 156 份谷子材料中的平均相对敏感度值,比较各性状光周期相对敏感度强弱。从图 1 可以看出,光周期相对敏感度排在前 4 位的是穗码数、抽穗期、穗长、株高,而穗粗与穗粒重却排在了倒数第 1 位和第 2 位,说明这两个性状受光周期影响小。



HS:Heading stage,GW:Grain weight per panicle,PH:Plant height,NL:Number of leaves,PL:Panicle length,PD:Panicle diameter, SN:Spikelet number,GN:Grain number per spikelet,1000-GW:1000-grain weight. The same as below

图 1 9 个性状光周期相对敏感度比较

Fig. 1 Sensitivity of 9 agronomic traits under different photoperiod conditions

2.2 性状的主成分分析

对 9 个性状在两种光周期条件下表现的相对值进行主成分分析,结果见表 2,表中各个特征值的大小代表各个主成分对总遗传方差的贡献,主成分分析时取特征值大于 1 的主成分,从表 2 可知前 3 个主成分的方差贡献率分别为 43.364%、16.937%、11.317%,累积方差贡献率为 71.618%,而其余主成分贡献率较小可以忽略。最终把 9 个性状转换成 3 个相互独立的主成分,代表了原来 9 个性状 71.618% 的信息。

各个农艺性状在 3 个主成分中的加权系数见表 3,结果表明,在第 1 个主成分中主要包括了抽穗期、株高、叶片数、穗长、穗码数,而且这 5 个农艺性状的加权系数中抽穗期的最高,此结果与图 1 相结合,因

表 2 各个主成分的特征值

Table 2 The eigenvalues of each principal component

主成分 Component	性状的初始特征值 Initial eigenvalues		
	特征值 Eigenvalues	方差贡献率(%) Variance contribution	累积方差贡献率(%) Cumulative variance contribution
1	3.903	43.364	43.364
2	1.524	16.937	60.301
3	1.019	11.317	71.618
4	0.762	8.470	80.088
5	0.601	6.675	86.763
6	0.426	4.729	91.492
7	0.351	3.896	95.388
8	0.304	3.382	98.770
9	0.111	1.230	100.000

此这个主成分也可以称高度敏感主成分。第 2 个主成分里主要包括穗粒重、穗粗、码粒数,这个主成分也可以称中度敏感主成分。第 3 个主成分主要包含了 1 个农艺性状即千粒重,这个主成分也可以称低度敏感主成分。这 3 个主成分包含的各个农艺性状也可以通过图 2 得到验证,在同一主成分内的性状相距比较近。

表 3 农艺性状在 3 个主成分中的加权系数

Table 3 The weighted coefficients of agronomic traits in three principal components

性状 Character	主成分 Principal component		
	1	2	3
抽穗期 HS	0.414	-0.269	0.001
穗粒重 GW	-0.097	0.338	0.128
株高 PH	0.177	0.154	0.013
叶片数 NL	0.353	-0.108	0.100
穗长 PL	0.163	0.160	-0.040
穗粗 PD	0.017	0.271	0.042
穗码数 SN	0.194	0.048	-0.193
码粒数 GN	-0.240	0.388	-0.204
千粒重 1000-GW	-0.016	-0.043	0.922

表 4 农艺性状与光周期敏感综合指标 D 的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between agronomic characters and photoperiod sensitivity index

性状 Character	抽穗期 HS	穗粒重 GW	株高 PH	叶片数 NL	穗长 PL	穗粗 PD	穗码数 SN	码粒数 GN	千粒重 1000-GW	D 值 D value
抽穗期	1	0.000	0.315 **	0.573 **	0.346 **	0.079	0.278 **	-0.080	-0.052	0.569 **
穗粒重	0.000	1	0.586 **	0.242 **	0.541 **	0.600 **	0.312 **	0.409 **	0.203 *	0.558 **
株高	0.315 **	0.586 **	1	0.659 **	0.834 **	0.676 **	0.472 **	0.236 **	0.055	0.828 **
叶片数	0.573 **	0.242 **	0.659 **	1	0.500 **	0.442 **	0.392 **	0.051	0.056	0.729 **
穗长	0.346 **	0.541 **	0.834 **	0.500 **	1	0.673 **	0.480 **	0.217 **	0.024	0.819 **
穗粗	0.079	0.600 **	0.676 **	0.442 **	0.673 **	1	0.383 **	0.317 **	0.110	0.634 **
穗码数	0.278 **	0.312 **	0.472 **	0.392 **	0.480 **	0.383 **	10	0.061	-0.063	0.769 **
码粒数	-0.080	0.409 **	0.236 **	0.051	0.217 **	0.317 **	0.061	1	0.008	0.084
千粒重	-0.052	0.203 *	0.055	0.056	0.024	0.110	-0.063	0.008	1	0.112
D 值	0.569 **	0.558 **	0.828 **	0.729 **	0.819 **	0.634 **	0.769 **	0.084	0.112	1

数、码粒数、千粒重,各个性状的系数表示各个性状对光周期敏感性评价指标 D 的影响权重,回归方程的决定系数 $R^2 = 0.997$,而且各个性状的回归系数的显著性水平达到 $P < 0.001$,说明光周期敏感性评价指标 D 受株高、抽穗期、穗码数、穗长、叶片数、千粒重、穗粒数、穗粒重、码粒数这 9 个性状的影响。

各个农艺性状与光周期敏感综合指标 D 的通

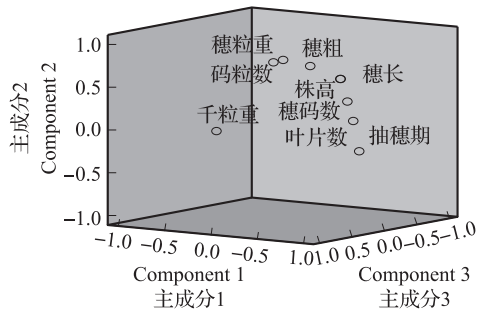


图 2 各个农艺性状的主成分图

Fig. 2 Principal component diagrams of various agronomic traits

2.3 性状的相关与通径分析

按照公式构建各个品种的光周期敏感综合指标 D,分析各个农艺性状与光周期敏感综合指标 D 的相关性(表 4),结果表明,与光周期敏感综合指标 D 的简单相关系数最高的分别是株高(0.828)、穗长(0.819)、穗码数(0.769)、叶片数(0.729)。各个农艺性状对光周期敏感综合指标 D 的回归方程: $D = -8.803 \times 10^{-18} + 0.187X_1 + 0.041X_2 + 0.146X_3 + 0.202X_4 + 0.130X_5 + 0.081X_6 + 0.098X_7 - 0.086X_8 + 0.126X_9$,其中 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$ 分别代表抽穗期、穗粒重、株高、叶片数、穗长、穗粗、穗码

径分析结果见表 5,对光周期敏感综合指标 D 的直接作用最大的是穗码数,为 0.395,其次是穗长(0.239)、抽穗期(0.228)、穗粒重(0.176)、叶片数(0.164)等农艺性状。虽然株高与光周期敏感综合指标 D 的简单相关系数也很高,但是株高对光周期敏感综合指标 D 的直接作用却比较小,仅为 0.144,株高更多的是通过其他农艺性状间接作用对光周期敏感综合指标 D 产生影响。

表 5 农艺性状与光周期敏感综合指标 D 的通路分析

Table 5 Path analysis between agronomic characters and photoperiod sensitivity index

性状 Character	与 D 的 简单相关 Simple relevant with D	直接作用 Direct effect	抽穗期 HS	穗粒重 GW	株高 PH	叶片数 NL	穗长 PL	穗粗 PD	穗码数 SN	码粒数 GN	千粒重 1000-GW
抽穗期	0.569	0.228		0.000	0.045	0.094	0.083	0.005	0.110	0.008	-0.004
穗粒重	0.558	0.176	0.000		0.084	0.040	0.129	0.031	0.123	-0.043	0.017
株高	0.828	0.144	0.072	0.103		0.108	0.199	0.035	0.186	-0.025	0.005
叶片数	0.729	0.164	0.131	0.043	0.095		0.120	0.023	0.155	-0.005	0.005
穗长	0.819	0.239	0.079	0.095	0.120	0.082		0.035	0.190	-0.023	0.002
穗粗	0.634	0.053	0.018	0.106	0.097	0.072	0.161		0.151	-0.033	0.009
穗码数	0.769	0.395	0.063	0.055	0.068	0.064	0.115	0.020		-0.006	-0.005
码粒数	0.084	-0.105	-0.018	0.072	0.034	0.008	0.052	0.016	0.023		0.001
千粒重	0.112	0.085	-0.012	0.036	0.008	0.009	0.006	0.026	-0.025	-0.021	

3 讨论

对作物光周期敏感性指标进行研究,是开展优异广生态适应性种质评价及筛选、揭示光周期敏感性遗传规律、进行光周期敏感相关性状 QTL 定位及基因克隆的基础性工作。谷子作为短日照作物,对光周期较敏感,目前谷子全基因组序列已经测定,和玉米、高粱等 C₄ 作物相比,谷子具有较小的基因组、较短的生育期,因此方便开展研究,可以作为研究 C₄ 作物光周期敏感性遗传、分子机制的模式作物。然而谷子光周期敏感性研究较少,缺乏系统性,特别是有关光周期敏感性评价指标研究的基础性工作目前还未有报道。光周期敏感性评价指标的研究在玉米、大豆中报道较多,研究表明玉米的生育性状如吐丝期、穗位高、抽雄期、散粉期、株高、ASI(雌雄间隔期)、叶片数与光周期敏感性密切相关^[24-25]。大豆的开花期和成熟期也被认为是光周期反应的重要生态指标,许多光周期反应相关的基因都是通过定位生育期 QTL 位点获得的^[26]。本研究发现谷子抽穗期也是与光周期反应密切的生育性状,谷子花器官较小,田间鉴定开花期存在一定难度,成熟期鉴定靠谷穗颜色变化和手工掐籽粒也会产生一定的误差,且耗时较长。水稻光周期控制开花研究成果表明,抽穗期可以代替开花期作为可靠的指标性状来定位开花途径的关键基因,如 *Hd3a*、*Hdl*、*Ehd1*、*Ghd7*^[27]。而谷子抽穗期田间鉴定相对开花期、成熟期更简单、可靠、省时,因此,可以借鉴水稻研究成果,将抽穗期用于谷子光周期敏感性 QTL 定位研究。除了抽穗期,本研究还发现穗码数、穗长两个穗

部性状也与谷子光周期敏感性密切相关,而在玉米的研究中穗部性状的光周期敏感性要低于生育性状,这可能反映了不同物种对光周期的敏感性存在差异。本研究认为穗码数、穗长与抽穗期结合可以实现对谷子光周期敏感性的可靠评价。株高虽然在玉米的研究中被认为与光周期敏感性密切相关,但本研究发现株高的光周期敏感性要低于抽穗期、穗长、穗码数,相对光周期敏感度比较分析结果中株高光周期敏感度高于叶片数和穗粒重,排在第 4 位,但 D 值通路分析结果中排在叶片数和穗粒重之后的第 6 位,两种分析方法结果不一致。近期国外学者研究表明排除其他影响因素,单独光周期对谷子开花期影响显著,但对株高影响较小^[28],这表明株高的遗传控制机制较复杂,除了光周期,可能还受其他许多因素的影响,并不适合作为谷子光周期敏感性鉴定的指标。

参考文献

- [1] 朱学海,宋燕春,赵治海,石云素,刘颖慧,黎裕,王天宇. 用渗透胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 62-67
- [2] 张文英,智慧,柳斌辉,彭海成,李伟,王永芳,李海权,栗雨勤,刁现民. 谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 560-565
- [3] 张文英,智慧,柳斌辉,谢俊雪,李积铭,李伟,贾冠清,王永芳,李海权,柴杨,栗雨勤,刁现民. 谷子孕穗期抗旱指标筛选. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 765-772
- [4] 张艾英,郭二虎,刁现民,范惠萍,李瑜辉,王丽霞,郭红亮,程丽萍,吴引生. 2005-2015 年西北春谷中晚熟区谷子育成品种评价. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4486-4495
- [5] 张艾英,刁现民,郭二虎,范惠萍,王丽霞,李瑜辉,程丽萍,吴引生,张莉. 西北春谷早熟区谷子品种十五年变化趋势及主要性状分析. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4496-4506
- [6] 田伯红. 谷子地方品种和育成品种的遗传多样性研究. 植物

- 遗传资源学报,2010,11(2):224-228
- [7] 丁银灯,聂石辉,王仙,胡相伟,冯国郡,耿洪伟,战帅帅. 谷子主要育成品种在新疆的遗传多样性研究. 植物遗传资源学报,2018,19(2):232-242
- [8] 元香梅,禾璐,张凯焯,武雪,马芳芳,王军,韩渊怀. 谷子 XTH 基因家族与抗旱相关基因的分析. 山西农业大学学报:自然科学版,2017,37(1):1-6
- [9] 程璐,张彬,张耀元,苏彦冰,魏东,郭展,李红英. 谷子 MYB 转录因子家族与抗旱关系的研究. 山西农业大学学报:自然科学版,2016,36(12):846-849,867
- [10] 贾小平,董志平,董普辉,郁飞燕. 谷子天冬氨酸转氨酶基因部分片段的克隆. 华北农学报,2015,30(4):21-24
- [11] Gouesnard B,Rebourg C,Welcker C,Charcosset A. Analysis of photoperiod sensitivity within a collection of tropical maize populations. *Genetic Resources and Crop Evolution*,2002,49:471-481
- [12] 韩天富,王金陵. 大豆开花后光周期反应的研究. 植物学报,1995,37(11):863-869
- [13] Sun H B,Jia Z,Cao D,Jiang B J,Wu C X,Hou W S,Liu Y K,Fei Z H,Zhao D Z,Han T F. GmFT2a, a soybean homolog of flowering locus T, is involved in flowering transition and maintenance. *PLoS One*,2011,6(12):e29238
- [14] 杨志攀,张晓娟,蔡淑平,邱德珍,王国勋,周新安. 大豆“短青春期”品种的光(温)反应研究 II. 对短日照的反应. 中国油料作物学报,2001,23(2):35-39
- [15] 杨志攀,张晓娟,蔡淑平,邱德珍,王国勋,周新安. 大豆“短青春期”品种的光(温)反应研究 III. 对长日照的反应. 大豆科学,2001,20(3):191-196
- [16] 谢丽莉. 谷子光周期敏感相关性状的 QTL 定位与分析. 郑州:河南农业大学,2012
- [17] Margarita M H,Wang X W,Barbier H,Brutnell T P,Devos K M,Doust A N. Genetic control and comparative genomic analysis of flowering time in *Setaria* (Poaceae). *G3-Genes Genomes Genetics*,2013,3(2):283-295
- [18] Doust A N,Mauro-Herrera M,Hodgeand J G,Stromsk J. The C₄ model grass *Setaria* is a short day plant with secondary long day genetic regulation. *Frontiers in Plant Science*,2017,8:1-10
- [19] 穆彩琴,屈聪玲,张瑞娟,李燕,杨致荣. 谷子 CO 家族基因的全基因组鉴定与分析. 山西农业科学,2016,44(9):1243-1246
- [20] Bennetzen J L,Schmutz J,Wang H,Percifield R,Hawkins J,Pontaroli A C,Estep M,Feng L,Vaughn J N,Grimwood J,Jenkins J,Barry K,Lindquist E,Hellsten U,Deshpande S,Wang X W,Wu X M,Mitros T,Triplett J,Yang X H,Ye C Y,Mauro-Herrera M,Wang L,Li P H,Sharma M,Sharma R,Ronald P C,Panaud O,Kellogg E A,Brutnell T P,Doust A N,Tuskan G A,Rokhsar D,Devos K M. Reference genome sequence of the model plant *setaria*. *Nature Biotechnology*,2012,30(6):555-564
- [21] Zhang G Y,Liu X,Quan Z W,Cheng S F,Xu X,Pan S K,Xie M,Zeng P,Yue Z,Wang W L,Tao Y,Bian C,Han C L,Xia Q J,Peng X H,Cao R,Yang X H,Zhan D L,Hu J C,Zhang Y X,Li H N,Li H,Li N,Wang J Y,Wang C C,Wang R Y,Guo T,Cai Y J,Liu C Z,Xiang H T,Shi Q X,Huang P,Chen Q C,Li Y R,Wang J,Zhao Z H,Wang J. Genome sequence of foxtail millet (*Setaria italica*) provides insights into grass evolution and biofuel potential. *Nature Biotechnology*,2012,30(6):549-556
- [22] 贾小平,董普辉,张红晓,孔祥生. 不同谷子品种(系)生长发育及抗倒性分析. 河南农业科学,2015,44(8):27-31
- [23] 贾小平,董普辉,张红晓,全建章,董志平. 谷子抗倒伏性和株高、穗部性状的相关性研究. 植物遗传资源学报,2015,16(6):1188-1193
- [24] 梁文科. 热带温带玉米群体育种价值评估及光周期反应敏感性指标研究. 武汉:华中农业大学,2008
- [25] 陈彦惠,吴连成,吴建宇,席章营. 两种纬度生态条件下热带、亚热带玉米种质群体的鉴定. 中国农业科学,2000,33(S):40-48
- [26] 夏正俊. 大豆光周期反应与生育期基因研究进展. 作物学报,2013,39(4):571-579
- [27] 徐铨,奥本裕,王晓雪. 水稻开花期调控分子机理研究进展. 植物遗传资源学报,2014,15(1):129-136
- [28] Doust A N,Diao X M. Genetics and genomics of *setaria*. Berlin: Springer,2017:197-210

欢迎订阅 2019 年《上海农业学报》

《上海农业学报》由上海市农业委员会主管、上海市农业科学院和上海市农学会主办,同方知网、万方、维普等数据库全文收录,为 CSCD 来源期刊。主要刊载农业各学科偏重应用或与应用联系较紧密的未曾发表过的研究论文、简报和综述,内容涉及遗传育种与分子生物学、作物栽培与生理生化、植物保护与资源环境、畜牧与兽医、园林与园艺、质量安全、农业经济管理与农业信息技术等。

双月刊,每期定价 10 元,全年 60 元。邮发代号:4-523,国内统一刊号:CN 31-1405/S,国际标准刊号:ISSN 1000-3924。可通过全国各地邮局订阅,也可向编辑部直接订购。

地址:上海市奉贤区金齐路 1000 号,上海市农业科学院信息所(3 号楼 314 室)

邮编:201403

电话:021-52235461,62202980

传真:021-62206698

E-mail:xx6@saas.sh.cn

网址:www.nyxb.sh.cn