



糜子不同性状对光周期的响应及综合评价

杨军学,罗世武,程炳文,张尚沛,张晓娟,李凯,王湛,王勇

(宁夏农林科学院 固原分院,宁夏固原 756000)

摘要 为探讨不同品种糜子各性状指标对光周期的反应,通过遮阴棚处理,设置6、9、12 h光照和自然光照(对照)4个光周期环境,调查15份糜子材料的生育期、农艺性状、产量和短日抽穗促进率的光反应特性,以11个性状指标的相对敏感度值分析各性状指标的光周期敏感度,并采用2种综合评价方法对15个糜子品种的光周期敏感性进行综合评价。结果表明,糜子在三叶期进入光敏感期,12 h光照处理为糜子短日处理标准。与自然日照相比,短日处理缩短了糜子抽穗期,株高、分蘖数、穗长、主穗小穗数、千粒质量、主茎节数和产量随着日照时数的缩短整体上呈递减趋势,日照时数低于6 h或高于12 h均会减少糜子叶片数、缩短糜子穗颈长度,降低糜子有效穗数,短日出穗促进率相对较低的品种表现为更强的适应性。11个性状指标的光周期相对敏感度值在-0.7~1.6之间,株高和主穗小穗数的光周期相对敏感度最强,其次是有效穗数、生育期、主穗长,叶片数和千粒质量的敏感度较弱,结合主成分分析结果显示,株高和主穗小穗数可作为主要评价指标,主穗长和生育期可作为参考评价指标,千粒质量和叶片数不适合做为评价光周期敏感性指标,光周期综合指标评价D值显示‘赤糜2号’和‘固糜21号’为光周期低敏感型糜子品种。

关键词 糜子;光周期;农艺性状;光周期敏感度

光周期是指昼夜周期中光照期和暗期长短的交替变化,作物对昼夜长短变化的响应即为光周期特性^[1]。对于以收获籽粒的小麦、水稻、糜子、谷子等作物,可以通过调节光照时长或者不同纬度异地引种来缩短营养生长期,促使作物能够按时开花抽穗,获得高产^[2]。前人研究结果显示,光周期显著影响作物的生长发育进程,导致不同生态区域作物在株高、穗长等农艺性状以及籽粒品质和产量方面产生差异,且不同性状指标对光周期变化的敏感性不同,而这种差异是限制作物种植区域的主要原因^[3-6]。糜子是宁夏干旱半干旱地区的特色优势作物,具有典型的区域优势^[7-9]。此外,糜子是典型的短日照作物,播期调节能力强,生育期短,且对光周期变化具有较强的敏感性^[10],在满足其生长发育所需光照的条件下,光照时间越短,糜子抽穗越早,反之光照时间长则会造成糜子营养阶段过长而延迟抽穗。因此,研究并探讨不同日照时长变化对糜子生育进程及农艺

性状的影响是科学有效引种的前提。有关研究显示,在12 h短日照光照条件下5 d后糜子开始从营养生长转入生殖生长,幼穗开始分化,而生殖生长开始后不受营养生长阶段延长光照时间的影响^[11]。除开花前的天数外,株高、单株荚数、单株粒质量、百粒质量等其他产量贡献性状也受到不同光周期处理的影响^[12-13];冯艳辉^[14]的研究也表明,短日处理对晚熟小豆品种株高、叶片数、叶面积指数影响比较明显,对茎粗、主茎节数、节间长度影响不明显。在探讨光周期对某一性状指标影响强度的研究中常用光周期相对敏感度值来评价该性状的光周期敏感性,相对敏感度值越大,该品种或该性状对光周期变化越敏感^[15],此外,同一性状、不同生态区域作物品种对光周期的敏感度也不同,利用这一特性可以筛选出光周期不敏感材料,更有利于跨生态区域引种栽培工作^[16-17]。本试验通过研究不同品种糜子农艺性状对光周期变化的响应,调查遮光棚控光条件下和自然光照

收稿日期:2022-06-15 修回日期:2022-09-16

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划(2018BBF02005);宁夏回族自治区农业科技自主创新资金(NGSB-2021-6);宁夏回族自治区重大研发项目(2021BBF02021);国家现代农业产业技术体系(CARS-06-13.5-A18);固原市科技研发类计划项目(2021GYKYF028);宁夏小杂粮创新团队(2020CXTD0062)。

第一作者:杨军学,男,硕士,助理研究员,研究方向为作物育种与栽培。E-mail:gyyangjunxue@qq.com

通信作者:王勇,男,学士,高级农艺师,研究方向为作物栽培。E-mail:wangyong700925@126.com

对照下糜子生育期、农艺性状、生物量、短日抽穗促进率以及各性状指标的光周期敏感度值,比较各性状指标对光周期变化的敏感性,并构建综合评价系统对15个糜子品种进行综合评价,探讨各性状指标的光周期敏感性强弱,为不同生态区糜子播期及品种类型的科学选用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

研究地点为固原市头营镇徐河村固原分院头营基地,头营镇位于固原市原州区中北部,清水河两岸,距城区20 km,地处106°16'E,36°00'N,海拔1 550 m。气候属暖温半干旱气候区,昼夜温差大。年平均气温6.1℃,年平均降水量492.2 mm,降雨主要集中在7—9月份,区域降水差异大,年蒸发量1 753.2 mm,大于10℃的活动积温2 000~2 700℃,无霜期152 d,绝对无霜期83 d。年平均日照时数2 518.2 h,其中2016年5—8月份的月平均光照时长分别为14.51、14.30、13.48、12.40 h。

1.2 试验设计

选用的15份糜子品种材料分别来源于宁夏、内蒙古、东北、山西、河北、甘肃以及陕西等地(表1)。采用盆栽方式,试验地点设置在宁夏农林科学院固原分院头营试验基地,盆栽土壤采用大田表土,风干、碾碎、混匀后过5 mm筛待用。盆栽花盆规格为上口直径30 cm、下口直径20 cm、高25 cm,每盆装7.5 kg过筛土,每盆播种15穴种子,每处理5盆,共75盆。三叶期选留生长一致的幼苗10株,并开始进行控光周期处理。光周期处理选择空旷无遮挡的地方,采用自制网棚按时间间隔搭LG80型黑色遮阳网,遮阳网固定在花盆的上沿,保持下层通风,尽量保持网内外温度接近。共设置4个光周期处理:6 h日照周期(接受自然光照时间为10:00—16:00)、9 h日照周期(接受自然光照时间为8:30—17:30)、12 h日照周期(接受自然光照时间为7:00—19:00)、自然光周期(不遮光,作对照),各处理白天达到计划日长后即用车依次推进暗棚内遮光。

表1 糜子资源信息

Table 1 Resources Information on broomcorn millet

生态区域 Ecological zone	品种名称 Variety	品种育成单位 Breeder
内蒙古 Inner Mongolia	赤糜1号 Chimi 1	赤峰市农牧科学研究所 Chifeng Institute of Agriculture and Animal Husbandry
	赤糜2号 Chimi 2	
山西 Shanxi	伊糜5号 Yimi 5	内蒙古鄂尔多斯市农牧业科学研究院 Inner Mongolia Erdos Institute of Agricultural and Animal Husbandry
	内糜5号 Neimi 5	
	晋糜1号 Jinmi 1	山西省农业科学院右玉农业试验站 Youyu Agricultural Experimental Station of Shanxi Academy of Agricultural Sciences
	晋糜9号 Jinmi 9	
品糜1号 Pinmi 1	山西省农科院农作物品种资源研究所 Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Institute of Crop gene Resources	
	雁黍8号 Yanshu 8	山西省农业科学院高寒区作物研究所 Shanxi Academy of Agricultural Sciences, High Latitude Crops Research Institute
辽宁 Liaoning	辽糜31号 Liaomi 31	辽宁省农业科学院 Liaoning Academy of Agricultural Sciences
黑龙江 Heilongjiang	齐黍1号 Qishu 1	黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院 Qiqihaer Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences
宁夏 Ningxia	宁糜14号 Ningmi 14	宁夏农林科学院固原分院 Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences
	固糜21号 Gumi 21	
	固糜22号 Gumi 22	
甘肃 Gansu	陇糜5号 Longmi 5	甘肃省农业科学院作物研究所 Gansu Academy of Agricultural Sciences, Crop Research Institute,
陕西 Shaanxi	榆糜2号 Yumi 2	西北农林科技大学 Northwest A&F University

1.3 试验指标测定

在试验过程中收集逐日气象资料,记录每天天黑和天亮时间点以及每个生育阶段开始、盛、末期日数时间点和生育阶段天数。拔节期记载糜子分蘖数、出叶数(出叶速度),收获后调查株高、主

穗长、穗颈长、主穗小穗数、有效穗数、主茎节数、千粒质量并测定经济产量,计算短日出穗促进率、短日成熟促进率和光周期相对敏感度值。

某一时期促进率 = (对照天数 - 处理天数) / 对照天数 × 100%

某一性状光周期相对敏感度值用该性状长短日照性相对差值来表示,即光周期相对敏感度=(长日照值-短日照值)/短日照值

1.4 数据统计分析

试验数据用 SPSS20.0 统计软件进行单因素方差分析—多重比较,采用主成分分析、隶属函数和聚类分析进行综合评价,采用 Excel 2010 制图。

隶属函数值计算公式为: $\mu(X_h) = \frac{X_h - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, h=1, 2, 3, \dots, n$

式中 X_h 为第 h 个指标的测定值, X_{\min} 表示第 h 个指标的最小值, X_{\max} 表示第 h 个指标的最大值。

各测定指标的权重计算公式为:

$$W_h = P_h / \sum_{h=1}^n P_h, h=1, 2, 3, \dots, n$$

式中 W_h 为第 h 个综合指标的权重; P_h 代表主成分分析所得到的各处理的第 h 个指标的贡

献率。

综合评价 D 值计算公式为 $D = \sum[\mu(X_h) \times W_h]$

2 结果与分析

2.1 对糜子生育期的影响

如表 2 所示,各品种间和同一品种不同处理间差异明显。糜子在三叶期后光照时长的改变开始对其产生影响,随着日照时间的缩短,各品种糜子的抽穗期和生育期均呈现先减后增的趋势,最短抽穗日数出现在 9 h 日照和 12 h 日照处理,较自然日照时长分别提前了 23~35、26~36 d,说明适当的短日处理促进了糜子抽穗。比较各品种不同处理生育期,日长缩短,各品种生育日数明显减少,减少幅度 24~45 d,但 6、9、12 h 日长处理间的生育日数相差不大,自然光照时长处理各品种生育日数和抽穗时数显著增加,所以 12 h 日长可以认为是糜子光周期敏感的临界值。

表 2 糜子品种不同日照时数生育期

Table 2 Different growth stages of broomcorn millet under different sunshine hours

品种 Variety	处理 Treatment	播种 Seeding	出苗 Emergence	三叶期 Three-leaf stage	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	成熟期 Maturity	生育期/d Growth period
赤糜 1 号 Chimi 1	6 h	05-09	05-18	05-30	06-22	06-23	07-18	61
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-17	60
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-21	07-14	57
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-27	07-17	08-23	97
赤糜 2 号 Chimi 2	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-12	55
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-18	06-19	07-12	55
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-12	55
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-27	07-12	08-5	79
晋糜 1 号 Jinmi 1	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-21	07-13	56
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-10	53
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-12	55
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-22	08-23	97
晋糜 9 号 Jinmi 9	6 h	05-09	05-18	05-30	06-22	06-21	07-12	55
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-18	07-12	55
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-13	56
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-21	08-13	87
辽糜 31 号 Liaomi 31	6 h	05-09	05-18	05-30	06-18	06-21	07-18	61
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-17	06-19	07-10	53
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-13	56
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-26	07-23	08-24	98

(续表 2 Continued table 2)

品种 Variety	处理 Treatment	播种 Seeding	出苗 Emergence	三叶期 Three-leaf stage	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	成熟期 Maturity	生育期/d Growth period
陇糜 5 号 Longmi 5	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-23	07-18	61
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-14	57
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-14	57
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-24	08-24	98
内糜 5 号 Neimi 5	6 h	05-09	05-18	05-30	06-20	06-21	07-12	55
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-12	55
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-13	56
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-26	07-22	08-19	93
宁糜 14 号 Ningmi 14	6 h	05-09	05-18	05-30	06-20	06-21	07-13	56
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-12	55
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-21	07-12	55
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-22	08-20	94
固糜 21 号 Gumi 21	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-12	55
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-18	07-12	55
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-12	55
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-21	08-20	94
固糜 22 号 Gumi 22	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-21	07-12	55
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-14	57
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-12	55
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	07-01	07-24	08-24	98
品糜 1 号 Pinmi 1	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-21	07-14	57
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-18	06-19	07-12	55
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-18	07-09	52
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	07-01	07-24	08-23	97
齐黍 1 号 Qishu 1	6 h	05-09	05-18	05-30	06-21	06-23	07-18	61
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-22	07-17	60
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-20	06-23	07-14	57
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-22	08-14	88
雁黍 8 号 Yanshu 8	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-14	57
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-18	06-19	07-19	52
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-17	06-19	07-14	57
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-29	07-22	08-23	97
伊糜 5 号 Yimi 5	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-21	07-17	60
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-14	57
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-18	06-20	07-15	58
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	06-30	07-20	08-23	97
榆糜 2 号 Yumi 2	6 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-12	55
	9 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-19	07-14	57
	12 h	05-09	05-18	05-30	06-19	06-20	07-11	54
	自然光照 Natural sunshine	05-09	05-18	05-30	07-02	07-21	08-25	99

2.2 对各品种出穗促进率、成熟促进率的影响

出穗促进率是反应作物品种对感光反应敏感程度的重要指标,对光温敏反应相对稳定的品种,在生产上更有稳产和高产的优势。由表 3 可知,各品种 12 h 短日出穗促进率在 41.8%~53.7% 之间,‘品糜 1 号’‘固糜 22 号’出穗促进率最高,分别为 53.7%和 52.2%,‘雁黍 8 号’‘陇糜 5 号’‘晋糜 9 号’‘辽糜 31 号’‘固糜 21 号’‘晋糜 1 号’‘内糜 5 号’中等,促进率在 49.2%~50.8% 之间,‘赤糜 2 号’‘赤糜 1 号’‘齐黍 1 号’‘宁糜 14 号’‘伊糜 5 号’‘榆糜 2 号’短日抽穗促进率最低。

光周期的变化不仅对糜子营养生长阶段有显著影响,对其生殖生长也有影响。分析各品种糜子的抽穗-成熟的日数(生殖生长阶段),统计其成熟促进率,结果显示 12 h 短日处理可以明显缩短糜子抽穗至成熟的天数,且来源于同生态区域的不同品种间差异明显。以来自内蒙古的糜子品种‘赤糜 1 号’‘赤糜 2 号’‘伊糜 5 号’‘内糜 5 号’为例,12 h 成熟促进率分别为 37.8%、4.2%、26.5%、17.9%,品种间差异明显,说明来自同生态区域的不同糜子品种对光周期变化的适应性不同。

表 3 12 h 短日出穗促进率和成熟促进率

Table 3 Enhanced headings and maturities at 12 sunshine hours

品种 Variety	出苗—抽穗时间/d Time from emergence to heading		短日出穗 促进率/% Short-day enhanced heading	抽穗—成熟时间/d Time from heading to maturity		短日成熟 促进率/% Short-day enhanced maturity
	12 h 日长 12 sunshine hours	自然日长 Naturalsunshine		12 h 日长 12 sunshine hours	自然日长 Naturalsunshine	
赤糜 1 号 Chumi 1	34	60	43.3	23	37	37.8
赤糜 2 号 Chumi 2	32	55	41.8	23	24	4.2
伊糜 5 号 Yimi 5	33	63	47.6	25	34	26.5
内糜 5 号 Neimi 5	33	65	49.2	23	28	17.9
晋糜 1 号 Jinmi 1	33	65	49.2	22	32	31.3
晋糜 9 号 Jinmi 9	32	64	50.0	24	23	-4.4
品糜 1 号 Pinmi 1	31	67	53.7	21	30	30.0
辽糜 31 号 Liaomi 31	33	66	50.0	23	32	28.1
齐黍 1 号 Qishu 1	36	65	44.6	21	23	8.7
宁糜 14 号 Ningmi 14	34	65	47.7	21	29	27.6
固糜 21 号 Gumi 21	32	64	50.0	23	30	23.3
固糜 22 号 Gumi 22	32	67	52.2	23	31	25.8
陇糜 5 号 Longmi 5	33	67	50.8	24	31	22.6
雁黍 8 号 Yanshu 8	32	65	50.8	25	32	21.9
榆糜 2 号 Yumi 2	33	64	48.4	21	35	40.0

2.3 对糜子农艺性状及产量的影响

如表 4 所示。糜子株高、分蘖数、穗长、主穗小穗数、千粒质量和主茎节数随着日照时数的缩短整体上呈递减趋势,单盆干物质量和产量也呈递减趋势;叶片数、穗颈长和有效穗数随着日照时长的缩短呈先增后减趋势,12 h 日照时长处理下高于 6 h 和自然光照处理,说明日照时数过短或过长均会减少糜子叶片数、缩短糜子穗颈长度,降低糜子有效穗数。糜子农艺性状指标在 9 和 12 h 日长处理间的变幅不大,12 h 到自然日长处理变幅显著,说明 9~12 h 日照变化对其影响不大,12 h 以上时长下糜子对光周期较敏感。

2.4 所有性状指标对光周期的相对敏感度比较

根据光周期相对敏感度计算公式计算出 15 份糜子材料各性状指标在 12 h 日照长度处理和自然日照长度处理下的平均相对敏感度值,比较各指标对光周期变化的敏感度。由图 1 可知,11 个性状指标对光周期的相对敏感度值在 -0.7~1.6 之间,其中穗颈长、有效穗数、叶片数的相对敏感度为负值,说明适当的短日处理会促进糜子穗颈长、增加有效穗数和叶片数。用相对敏感度探讨各性状指标对光周期的敏感度,主穗小穗数和株高对光周期的敏感度最强,相对敏感度绝对值分别为 1.6 和 1.2;有效穗数、生育期、主穗长、

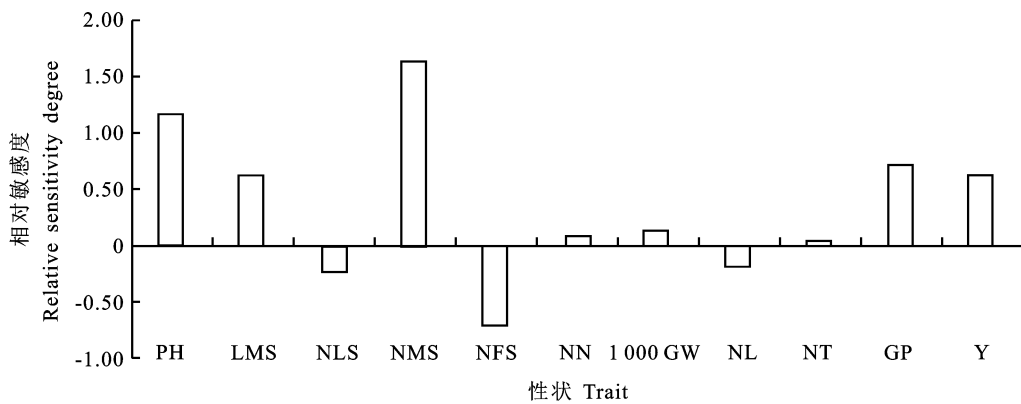
产量的相对敏感度绝对值在 0.6~0.7 之间,敏感
度较强;穗颈长、叶片数、千粒质量、主茎节数、分

蘖数 5 个性状指标的相对敏感度绝对值在 0.1~
0.2 之间,光周期敏感度较弱。

表 4 不同光周期处理糜子农艺性状及产量性状的影响

Table 4 Agronomic and yield traits of broomcorn varieties under different sunshine hours

性状指标 Trait	光周期 Photoperiod treatment			
	6 h 日长 6 sunshine hours	9 h 日长 9 sunshine hours	12 h 日长 12 sunshine hours	自然日长 Natural sunshine length
株高/cm Plant height	31.0	39.7	41.8	88.9
叶片数 Leaf number per plant	7.2	8.2	8.4	6.7
分蘖数 Tiller number per plant	4.3	10.8	11.3	11.8
主穗长/cm Length of main-stem spikes	10.4	12.0	11.7	19.0
穗颈长/cm Neck length of spike	9.4	12.2	12.7	9.4
主穗小穗数 Spikelet number per main stem spike	6.1	7.0	6.1	15.0
有效穗数 Number of fruiting spikes per plant	4.2	4.9	5.4	1.4
主茎节数 Nodes number per main stem	3.1	3.7	3.8	4.0
千粒质量/g 1 000-grain mass	5.3	6.0	6.1	6.9
单盆干物质量/g Dry biomass per pot	10.1	20.8	28.8	104.6
产量/(kg·hm ⁻²) Yield	489.4	930.4	1 558.4	1 926.4



PH. 株高;LMS. 主穗长;NLS. 穗颈长;NMS. 主穗小穗数;NFS. 有效穗数;NN. 主茎节数;1 000-GW. 千粒质量;NL. 叶片数;NT. 分
蘖数;GP. 生育期;Y. 产量。下同

PH. Plant height; LMS. Length of main-stem spikes; NLS. Neck length of spike; NMS. Spikelet number per main stem spike;
NFS. Number of fruiting spikes per plant; NN. Nodes number per main stem; 1 000-GW. 1 000-grain mass; NL. Leaf number per plant;
NT. Tiller number per plant; GP. Growth period; Y. Yield. The same below

图 1 各性状指标对光周期的相对敏感度

Fig. 1 Relative photoperiod sensitivity values of different traits

2.5 各性状指标光敏感性的主成分分析

如表 5 所示,以主成分特征值大于 1 且贡献
率大于 80%作为提取标准,可提取出 5 个主成
分,这 5 个主成分的方差贡献率分别为 27.2%、
20.1%、14.9%、10.2%、9.4%,累积贡献率达
81.8%,代表了原来 11 个指标的 81.8%的信息,
其余主成分的贡献率较小,可以忽略。第 1 主成
分的特征值最大,主要包括株高、主穗长、主穗小
穗数、主茎节数和产量,这个主成分为高敏感度主

成分。第 2 主成分特征值较大,主要包括分蘖数
和生育期,这个主成分的光周期敏感较高。第 3
主成分主要是有效穗数,这个主成分为中敏感度。
第 4 主成分主要包括穗颈长、叶片数,这个主成分
的光周期敏感度较低。第 5 主成分的特征值最小,
主要是千粒质量,这个主成分为低敏感度成分。

根据各主成分(F_i)的函数表达式: $F_i =$ 各指
标特征向量×标准化后的数据之后再求和,将标
准化后的数据代入公式即可得各主成分的得分。

表 5 各综合指标特征向量及贡献率

Table 5 Eigenvectors and contribution Rates of different general traits

性状指标 Trait	第 1 主成分 Principal component 1	第 2 主成分 Principal component 2	第 3 主成分 Principal component 3	第 4 主成分 Principal component 4	第 5 主成分 Principal component 5
株高 PH	0.5	0.1	0.0	-0.2	0.0
主穗长 LMS	0.4	0.1	-0.3	0.1	-0.4
穗颈长 NLS	0.3	-0.3	0.3	0.5	0.3
主穗小穗数 NMS	0.3	0.1	-0.5	-0.2	0.0
有效穗数 NFS	0.1	-0.2	0.5	0.0	-0.5
主茎节数 NN	0.3	0.0	0.1	0.0	-0.3
千粒质量 1 000-GW	0.3	-0.3	0.1	-0.3	0.6
叶片数 NL	0.1	0.4	-0.2	0.7	0.2
分蘖数 NT	-0.1	0.5	0.4	-0.1	0.1
生育期 GP	0.0	0.6	0.1	-0.2	0.1
产量 Y	0.5	0.2	0.3	0.0	0.1
特征值 Eigenvalues	3.0	2.2	1.6	1.1	1.0
贡献率/% Controbution	27.2	20.1	14.9	10.2	9.4
累积贡献率/% Cumulative contribution	27.2	47.3	62.2	72.4	81.8

2.6 糜子光敏敏感性的隶属函数值、综合评价 D 值的确定

根据各主成分得分,按照公式 1、2、3 分别构建综合指标的隶属函数值、权重以及各糜子品种光周期敏感性的综合评价 D 值,根据 D 值大小进行综合排序,如表 6 所示,5 个主成分权重分别为 0.3、0.2、0.2、0.1 和 0.1,各品种糜子的 D 值综合排序从大到小为‘榆糜 2 号’>‘晋糜 1 号’>‘辽糜 31 号’>‘齐糜 1 号’>‘宁糜 14 号’>‘品

糜 1 号’>‘赤糜 1 号’>‘内糜 5 号’>‘雁黍 8 号’>‘固糜 22 号’>‘晋糜 9 号’>‘伊糜 5 号’>‘陇糜 5 号’>‘固糜 21 号’>‘赤糜 2 号’。从中可知榆糜 2 号的 D 值最大(为 0.8),说明该品种糜子在这 15 份材料中的光周期敏感性是最强的,‘固糜 21’和‘赤糜 2 号’的 D 值排在最后两位,D 值均约为 0.3,说明这两个品种糜子对光照时长变化最不敏感,适应性最好。

表 6 各品种糜子因子得分、隶属函数值及综合评价 D 值

Table 6 Component scores, subordinate function values and comprehensive assessment D value of different broomcorn varieties

品种 Variety	因子得分 Component score					隶属函数值 Subordinate function value					D 值 D value	综合评价 Comprehensive assessment
	F1	F2	F3	F4	F5	$\mu(X_1)$	$\mu(X_2)$	$\mu(X_3)$	$\mu(X_4)$	$\mu(X_5)$		
赤糜 1 号 Chimi 1	1.4	-0.7	-2.2	0.2	0.7	0.7	0.3	0.0	0.6	0.8	0.5	7
赤糜 2 号 Chimi 2	0.1	-2.3	-1.2	0.4	-2.2	0.5	0.0	0.2	0.6	0.0	0.3	15
晋糜 1 号 Jinmi 1	2.7	0.7	-0.5	1.0	0.3	0.9	0.6	0.4	0.8	0.7	0.7	2
晋糜 9 号 Jinmi 9	0.2	-1.6	-0.4	-0.5	0.8	0.5	0.1	0.4	0.4	0.8	0.4	11
辽糜 31 号 Liaomi 31	0.7	2.2	-1.5	0.4	1.4	0.6	0.9	0.1	0.6	1.0	0.6	3
陇糜 5 号 Longmi 5	-2.0	0.1	-0.7	-0.6	0.7	0.1	0.5	0.3	0.3	0.8	0.3	13
内糜 5 号 Neimi 5	0.7	-0.7	0.1	-1.6	0.5	0.6	0.3	0.5	0.0	0.8	0.4	8
宁糜 14 号 Ningmi 14	-0.5	1.0	-0.8	1.7	-0.8	0.4	0.7	0.3	1.0	0.4	0.5	5
固糜 21 号 Gumi 21	-1.3	-1.3	0.0	-1.7	-0.3	0.3	0.2	0.5	0.0	0.5	0.3	14
固糜 22 号 Gumi 22	-1.3	1.1	0.7	-0.3	-1.6	0.3	0.7	0.6	0.4	0.2	0.4	10
品糜 1 号 Pinmi 1	-1.8	1.6	1.5	0.0	-0.3	0.2	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	6
齐黍 1 号 Qishu 1	1.1	-2.5	2.7	1.7	1.3	0.6	-0.1	1.0	1.0	1.0	0.6	4
雁黍 8 号 Yanshu 8	-0.6	0.2	0.0	-0.4	-0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	9
伊糜 5 号 Yimi 5	-2.8	0.3	0.5	1.0	-0.2	0.0	0.5	0.6	0.8	0.6	0.4	12
榆糜 2 号 Yumi 2	3.4	2.0	1.7	-1.2	0.3	1.0	0.9	0.8	0.2	0.7	0.8	1
权重 WK						0.3	0.2	0.2	0.1	0.1		

2.7 糜子光敏敏感性聚类分析

采用组间平均方法,以平方欧氏距离为衡量区间对 15 份糜子材料的光周期综合评价 D 值进行聚类分析(图 2),发现对聚类树状图按欧式距离为 5 进行截取时,可将 15 个糜子品种分为 4 类,第 1 类为‘榆糜 2 号’,此品种为光敏性强的糜子品种;第 2 类主要包括‘晋糜 1 号’‘辽糜 31 号’

和‘齐糜 1 号’,为光周期敏感性较强的糜子品种;第 3 类主要包括‘宁糜 14 号’‘品糜 1 号’‘赤糜 1 号’‘内糜 5 号’‘雁黍 8 号’‘固糜 22 号’‘晋糜 9 号’‘伊糜 5 号’和‘陇糜 5 号’,为对光周期变化较不敏感的糜子品种;第 4 类主要包括‘赤糜 2 号’和‘固糜 21 号’,为光周期低敏感型糜子品种。

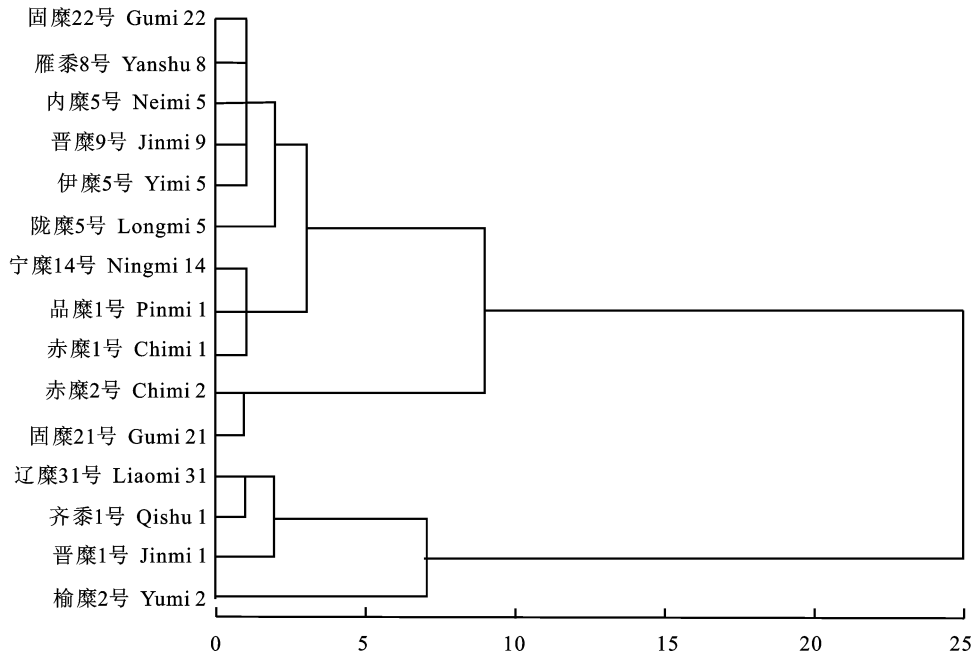


图 2 聚类分析结果

Fig. 2 Cluster analysis result

3 讨论

相关研究发现,光周期变化对作物生育期、农艺性状、品质以及产量的影响显著^[18-20]。本研究结果显示,糜子在三叶期后光照时长的改变开始对其产生影响,也就是说糜子的短光感应期在出苗 12 天后,说明糜子对光周期的敏感反应不是从播种出苗就开始的,而是在出苗一段时间后才呈现出光周期敏感性,刘桃菊等^[21]发现大麦品系在出苗后 10 d 左右就进入光敏感期,谢丽莉等^[22]发现狗尾草在出苗后就开始进入光敏感时期。本试验还发现 6、9、12 h 短日照处理下糜子抽穗期较自然光照时长处理提前了 23~36 d,生育期缩短了 25~45 d,说明适当的短日处理能够促进糜子抽穗,缩短生育期,王君杰等^[23]的研究结果显示,糜子生育期随着日照时长的增加而增加,反面地印证了这一结论。此外,本试验通过研究不同品种糜子间的短日出穗促进率和短日成熟促进

率,结果显示各不同品种糜子间的短日促进率有差异,说明光周期敏感性不同的品种对光周期变化的适应性不同,这与郑茂波等^[24]的研究结果相似;短日成熟促进率结果显示 12 h 短日处理可以明显缩短糜子抽穗至成熟的天数,且来源于同生态区域的不同品种间差异显著,说明光周期的变化不仅对糜子营养生长阶段有显著影响,对其生殖生长也有影响。

光周期变化除对作物的穗分化及生育期产生显著影响外,对作物的农艺性状、产量也会产生影响。张磊等^[25]发现,长日照处理下小豆的单株荚数较短日处理显著增加,但单荚粒数和百粒质量对光周期变化的响应不明显;董伟欣等^[26-27]的研究结果表明短日处理会降低小豆株高、茎粗,产量及产量构成因素也呈降低趋势,同时还会抑制干物质积累。本试验中,随着日照时长的缩短,糜子株高、分蘖数、穗长、主穗小穗数、千粒质量和主茎节数降低,叶片数、穗颈长和有效穗数呈先增后

减,糜子干物质的积累量和籽粒产量均有不同程度的减少,说明缩短光照时长会导致糜子农艺性状降低,经济产量减少,这与董明等^[11]的分析结果具有一致性,同样证明短日处理能够缩短糜子营养生长期,减少干物质积累,降低糜子产量。此外,本试验还发现,糜子农艺性状指标在 6、9 和 12 h 日长处理间的变幅不大,12 h 到自然日长处理变化明显,说明 6~12 h 日照变化对其影响不大,12 h 以上时长下糜子对光周期较敏感,结合抽穗期的变化特征,初步认为 12 h 光照为糜子光周期敏感临界值。

糜子属短日照植物,对光周期变化较敏感,且不同性状指标对日照时间长短变化的敏感性是不同的,有些性状指标对光周期变化较敏感,有些则表现出不敏感性,所以在很多研究中常用某一性状的相对敏感度来评价该性状的光周期敏感性,相对敏感度值越大,该品种或该性状对光周期变化越敏感^[28-29]。邢月等^[30]有关大豆各性状的短日敏感性研究显示各性状的短日照敏感性差异为根干质量>叶面积>株高>单株荚数,且相对其他大豆品种,‘东农 252’各农艺性状短日照敏感性最强。本试验中采用光周期相对敏感度对 11 个性状指标的光周期敏感性进行评价,结果显示主穗小穗数和株高对光周期的敏感度最强,可以作为光周期敏感性主要评价指标,糜子生育期和主穗长的光周期敏感度排第四、五位,可考虑作为光周期敏感性次要参考评价指标,千粒质量、主茎节数、叶片数和分蘖数对光周期敏感性较弱,不适合来评价糜子光周期敏感性,这与王君杰等^[31]有关糜子不同性状光周期敏感性的综合评价的结果具有一致性,但在贾小平等^[32]的研究中株高不适合用来评价谷子光温敏感性,出现这种差异的原因可能是作物种类的差异,在除此之外的大量的有关光周期敏感性研究中^[33-36],很多研究者均认为光照时长的改变最直观地影响就是株高的缩短和增加,说明,株高可以作为评价光周期敏感性的指标这个结论是成立的。

4 结论

对于短日照的糜子,日照时间越短,糜子抽穗期提前,越早成熟;日照时长对糜子株高、穗长等农艺性状也有一定影响,表现为光照时间越短,株高、穗长缩短,分蘖数、主穗小穗数、千粒质量和主茎节数减少,单盆干物质量和产量降低;日照时数

过短或过长均会减少糜子叶片数、缩短糜子穗颈长度,降低糜子有效穗数。株高、主穗小穗数可作为光周期敏感性主要评价指标,主穗长、生育期可作为次要评价指标。12 h 日照长度为短日处理标准,光照 12 h 以上糜子对光周期较敏感。不同品种的光周期敏感性有差异,‘赤糜 2 号’和‘固糜 21 号’,为光周期低敏感型糜子品种,适应性好。

参考文献 Reference:

- [1] 谢婷婷,柳俊.光周期诱导马铃薯块茎形成的分子机理研究进展[J].中国农业科学,2013,46(22):4657-4664.
XIE T T, LIU J. Molecular mechanism underlying photoperiod-induced potato tuber formation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(22): 4657-4664.
- [2] 刘姣.植物光周期现象与作物引种关系的探讨[J].生物学通报,2010,45(2):14-16.
LIU J. Discussion on the relationship between plant photoperiod and crop introduction[J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(2): 14-16.
- [3] TAKATO I, THOMAS F S, FRANK G H, et al. FKF1 F-Box protein mediates cyclic degradation of a repressor of *CONSTANS* in *Arabidopsis*[J]. *Science*, 2005, 309(5732): 293-297.
- [4] 周海宇,程伟东,谢小东,等.14份玉米自交系的光周期敏感性分析[J].西南农业学报,2020,33(9):1877-1883.
ZHOU H Y, CHENG W D, XIE X D, et al. Photoperiod sensitivity analysis of 14 maize inbred lines[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33(9): 1877-1883.
- [5] 汪梦旭,胡原,李兵,等.大豆生长发育光周期响应虚拟仿真实验的开发与应用[J].实验技术与管理,2017,34(12):142-145.
WANG M X, HU Y, LI B, et al. Development and application of virtual simulation experiment on photoperiod response of soybean growth and development[J]. *Experimental Technology and Management*, 2017, 34(12): 142-145.
- [6] 肖关丽,郭华春.马铃薯温光反应及其与内源激素关系的研究[J].中国农业科学,2010,43(7):1500-1507.
XIAO G L, GUO H CH. Sensitivity of potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to temperature and photoperiod and the relationship with some endogenous hormone[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(7): 1500-1507.
- [7] 王建宇,何文寿,董良.宁夏旱地小杂粮产业开发技术研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):187-191.
WANG J Y, HE W SH, DONG L. Discussion on industrialization development of miscellaneous cereals on drylands in south Ningxia[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(1): 187-191.
- [8] 王建宇,杨琳.宁夏南部山区特色小杂粮资源利用与可持续发展战略研究[J].内蒙古科技与经济,2005(24):25-28.
WANG J Y, YANG L. Discussion on utilization and sustain-

- able development strategy of characteristic small miscellaneous grain resources in southern mountainous area of Ningxia[J]. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2005(24):25-28.
- [9] 程 黔. 我国杂粮产业的新态势及发展趋势[J]. 农业展望, 2008(8):17-21.
CHENG Q. New situation and development trend of grain industry in China[J]. *Agricultural Outlook*, 2008(8):17-21.
- [10] 姚小英, 邓振镛, 蒲金涌, 等. 甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划[J]. 干旱气象, 2004, 22(2):52-56.
YAO X Y, DENG ZH Y, PU J Y, *et al.* A Study on ecoclimate of prosomillet and its suitable planting regions in Gansu[J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2004, 22(2):52-56.
- [11] 董 明, 降彦苗, 李海权, 等. 光周期变化对糜子形态建成及幼穗发育进程的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(6):1118-1125.
DONG M, JIANG Y M, LI H Q, *et al.* Effects of photoperiod changes on morphological characters and young panicle development in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(6):1118-1125.
- [12] TAKATOSHI T, NAOKI M, NOBUYUKI A, *et al.* Photoperiod sensing of leaf regulates pod setting in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] [J]. *Plant Production Science*, 2020, 23(3):360-365.
- [13] SHIVALI S, HARI D. Upadhyaya photoperiod response of annual wild cicer species and cultivated chickpea on phenology, growth, and yield traits[J]. *Crop Science*, 2019, 59(2):1-8.
- [14] 冯艳辉. 短日照诱导对小豆花荚发育及产量形成的影响[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2013.
FEN Y H. Effects of short daylight induction on flower-pod development and yield formation of soybean [D]. Baoding Hebei: Henan Agricultural University, 2013.
- [15] 贾小平, 全建章, 王永芳, 等. 不同光周期环境对谷子农艺性状的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(7):1119-1127.
JIA X P, QUAN J ZH, WANG Y F, *et al.* Effects of different photoperiod conditions on agronomic traits of foxtail millet[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(7):1119-1127.
- [16] 杨玉花, 雷 阳, 白志元, 等. 开花前不同光周期对大豆主要农艺性状的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(2):250-257.
YANG Y H, LEI Y, BAI ZH Y, *et al.* Effects of different pre-flowering photoperiod on main agronomic traits of soybean[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 34(2):250-257.
- [17] 马永珍, 王 芳, 王 舰. 马铃薯光周期敏感性研究[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(3):106-111.
MA Y ZH, WANG F, WANG J. Preliminary study on photoperiod sensitivity of potato[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(3):106-111.
- [18] 孔凡江, 赵晓晖, 刘宝辉. 大豆光周期调控开花与产量性状的研究进展[J]. 土壤与作物, 2016, 5(2):65-71.
KONG F J, ZHAO X H, LIU B H. Research progress on photoperiod flowering and yield traits in soybean (*Glycine max* Merr.) [J]. *Soils and Crops*, 2016, 5(2):65-71.
- [19] 王 英, 程立锐, 冷建田, 等. 开花后不同光周期条件下大豆农艺性状和品质性状的 QTL 分析[J]. 作物学报, 2010, 36(7):1092-1099.
WANG Y, CHENG L R, LENG J T, *et al.* QTL mapping of agronomic and quality traits in soybean under different post-flowering photoperiods[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(7):1092-1099.
- [20] 沈韫贇, 郭双生. 受控环境下光周期对小麦生长发育、产量及营养品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(1):64-70.
SHEN Y Z, GUO SH SH. Effects of photoperiod on growth and development, yield and nutritional quality of wheat in controlled environment[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(1):64-70.
- [21] 刘桃菊, 李 晖, 唐建军, 等. 大麦发育模型及其光敏感参数[J]. 生态学报, 2007, 27(11):4412-4418.
LIU T J, LI H, TANG J J, *et al.* Development model and photosensitivity parameters in barley[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11):4412-4418.
- [22] 谢丽莉, 吴连成, 库丽霞, 等. 玉米和狗尾草光周期敏感性的比较研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(2):82-86.
XIE L L, WU L CH, KU L X, *et al.* Comparative study on photoperiod sensitivity of maize and setaria viridis [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(2):82-86.
- [23] 王君杰, 田 翔, 秦慧彬, 等. 光周期对糜子生长发育及叶片内源激素的调控效应[J]. 中国农业科学, 2021, 54(2):286-295.
WANG J J, TIAN X, QIN H B, *et al.* Regulation effects of photoperiod on growth and leaf endogenous hormones in broomcorn millet[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(2):286-295.
- [24] 郑茂波, 丁海燕, 刘 琦, 等. 黑龙江春小麦品种对光周期反应特性研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(7):2920-2922.
ZHEN M B, DING H Y, LIU Q, *et al.* Research on the response properties of Heilongjiang spring wheat varieties to photoperiod[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(7):2920-2922.
- [25] 张 磊, 刘 宇, 韩丽丽, 等. 光周期诱导对小豆顶端花序发育和花解剖学特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2021, 44(4):21-27.
ZHANG L, LIU Y, HAN L L, *et al.* Effects of photoperiod induction on development of apical inflorescence and property of floret in adzuki bean[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2021, 44(4):21-27.
- [26] 董伟欣, 尹宝重, 路战远, 等. 短日照处理对小豆生长、光合

- 特性及产量形成的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2018, 47(1): 38-47.
- DONG W X, YIN B ZH, LU ZH Y, *et al.* Effects of short-day photoperiod on growth, photosynthetic characteristics and yield formation on adzuki bean[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2018, 47(1): 38-47.
- [27] 董伟欣, 尹宝重, 任 帅, 等. 初花后短日照处理对小豆产量和籽粒品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(3): 386-392.
- DONG W X, YIN B ZH, REN SH, *et al.* Effect of short-day photoperiod treatment after early flowering on yield and grain quality of adzuki bean[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2017, 40(3): 386-392.
- [28] 刘 颖, 吴 迅, 郭向阳, 等. 温热玉米 T 32/齐 319 F_{2,3} 家系光周期敏感性分析[J]. 种子, 2020, 39(12): 7-12.
- LIU Y, WU X, GUO X Y, *et al.* Photoperiod sensitivity analysis of F_{2,3} family crossed by T 32 and Qi 319 from tropical regions[J]. *Seed*, 2020, 39(12): 7-12.
- [29] 费志宏, 吴存祥, 孙洪波, 等. 以光周期处理与分期播种试验综合鉴定大豆品种的光温反应[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1525-1531.
- FEI ZH H, WU C X, SONG H B, *et al.* Identification of photothermal response of soybean by integrating photoperiod treatment with planting-date experiment [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(8): 1525-1531.
- [30] 邢 月, 张 健, 曲振示, 等. 基于短日照特性的大豆品种推广种植潜力研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(34): 23-26.
- XING Y, ZHANG J, QU ZH Q, *et al.* Planting promotion potential of soybean varieties based on short sunshine conditions[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(34): 23-26.
- [31] 王君杰, 王海岗, 曹晓宁, 等. 糜子不同性状光周期敏感性综合评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(3): 474-485.
- WANG J J, WANG H G, CAO X N, *et al.* Comprehensive evaluation of photoperiod sensitivity based on different traits of broomcorn millet[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(3): 474-485.
- [32] 贾小平, 袁玺垒, 李剑峰, 等. 不同光温条件谷子资源主要农艺性状的综合评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51(13): 2429-2441.
- JIA X P, YUAN X L, LI J F, *et al.* Comprehensive evaluation of main agronomic traits of millet resources under different light and temperature conditions[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(13): 2429-2441.
- [33] 董伟欣, 张月辰. 遮光处理下不同小豆品种花芽分化进程比较研究[J]. 西北农业学报, 2021, 30(9): 1345-1354.
- DONG W X, ZHANG Y CH. Effect of shading on flower bud differentiation in two adzuki bean varieties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2021, 30(9): 1345-1354.
- [34] 尹宝重, 陶 晔, 张月辰. 短日照对不同叶龄红小豆幼苗的诱导效应[J]. 作物学报, 2011, 37(8): 1475-1484.
- YIN B ZH, TAO F, ZHANG Y CH. Effect of short-day-photoperiod on adzuki bean (*Phaseolus angularis*) seedlings at different leaf ages[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(8): 1475-1484.
- [35] 朱正梅, 卢小良, 解新明, 等. 玉米光周期敏感性的主成分分析[J]. 浙江农业科学, 2009, 41(2): 345-347.
- ZHU ZH M, LU X L, XIE X M, *et al.* Principal component analysis of photoperiod sensitivity of maize[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2009, 41(2): 345-347.
- [36] LIU W M, LIU G ZH, YANG Y SH, *et al.* Spatial variation of maize height morphological traits for the same cultivars at a large agroecological scale[J]. *European Journal of Agronomy*, 2021, 130: 126349.

Photoperiod Responses of Different Traits in Broomcorn Millet and Its Comprehensive Assessment

YANG Junxue, LUO Shiwu, CHENG Bingwen, ZHANG Shangpei,
ZHANG Xiaojuan, LI Kai, WANG Zhan and WANG Yong

(Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Guyuan Ningxia 756000, China)

Abstract In order to explore photoperiod responses of different traits of broomcorn millet, 15 broomcorn millet varieties were studied in terms of light responses of their growth stages, agronomic traits, yields and short-day enhanced heading while they were placed at 6, 9, 12 sunshine hours and a natural sunshine (control) by sun shading; then, 11 traits or indicators were selected and their relative photoperiod response sensitivities were assessed and accordingly two comprehensive assessment methods were employed to holistically assess photoperiod sensitivities of these 15 varieties. The results showed that broomcorn millet was sensitive to light when it grew with three leaves, and its standard sunshine hours was 12 hours of sunshine. In broomcorn millet, short sunshine hours shortened heading duration, plant heights, tiller numbers per plant, spike lengths, spikelet number per main-stem spike, 1 000-kernel mass and node numbers per main stem compared with a natural sunshine, and the yield generally tended to be declining with the decrease of the sunshine hours. The leaf number per plant, the neck lengths of spikes and numbers of fruiting spikes per plant reduced at a sunshine of less than 6 hours or more than 12 hours, the varieties with a lower short-day enhanced heading rate had a stronger adaptability. There were 11 traits or indicators which the photoperiod sensitivity values ranged within $-0.7-1.6$, the plant heights and spikelet numbers were most sensitive to photoperiod, followed by the numbers of fruiting spikes per plant, growth stages, lengths of main-stem spikes, leaf number per plant and 1 000 kernel mass of low photoperiod sensitivities. Considering their PCA results, the plant mass and spikelet numbers per main-stem spike could be taken as major assessment indicators and length of main-stem spikes and growth stages could be taken as reference assessment indicators, however, 1 000 kernel mass and leaf number per plant were not appropriate indicators to be used in photoperiod sensitivity assessment. In addition, the D values obtained in the comprehensive photoperiod sensitivity assessment showed that Chimi 2 and Gumi 21 were ones with lower photoperiod sensitivities.

Key words Broomcorn millet; Photoperiod; Agronomic traits; Photoperiod sensitivities

Received 2022-06-15

Returned 2022-09-16

Foundation item Key R&D Program of Ningxia Hui Autonomous Region (No. 2018BBF02005); Ningxia Hui Autonomous Region Agricultural Science and Technology Independent Innovation Fund (No. NGSB-2021-6); Major R&D Project of Ningxia Hui Autonomous Region (No. 2021BBF02021); China Agricultural Research System (No. CARS-06-13. 5-A18); Science and Technology R&D Plan (No. 2021GYKYF028); Small Grains Innovation Team of Ningxia (No. 2020CXTD0062).

First author YANG Junxue, male, master, assistant research fellow. Research area: crops breeding and cultivation. E-mail: gyyangjunxue@qq.com

Corresponding author WANG Yong, male, undergraduate, senior agronomist. Research area: crops cultivation. E-mail: wangyong700925@126.com

(责任编辑:成敏 Responsible editor: CHENG Min)