

播期对夏谷幼穗分化及叶龄指数的影响

李国瑜¹, 丛新军¹, 秦岭², 邹仁峰¹, 杨延兵², 颜丽美¹, 陈二影², 李妮¹, 管延安²

(¹泰安市农业科学研究院, 山东泰安 271000; ²山东省农业科学院作物研究所, 济南 250100)

摘要:【目的】研究不同播期条件下, 夏谷品种幼穗分化进程及各分化阶段与叶龄指数之间的关联, 为谷子生产调控和生长模拟提供依据。【方法】在山东省农业科学院作物研究所济南试验基地, 以抗拿捕净除草剂夏谷品种济谷 16 和糯性新品种济谷 18 为材料, 于 2015 年 4 月 29 日至 7 月 8 日设置 8 个播期处理, 处理间隔为 10 d。60 万株/hm² 大田生产条件下按播期顺序种植试验小区。在 5 叶期, 每个小区内标记生长均匀一致的谷子植株 120 株, 之后到抽穗每隔 1—2 d 选取有代表性的植株 3—5 株, 在 OLYMPUS SZX16 数显体视显微镜下剥去样品苞叶至露出完整幼穗, 进行系统观察与拍照, 并详细记载不同播期条件下 2 个品种在各幼穗分化阶段的叶龄以及成熟期植株的总叶片数。【结果】播期和品种对夏谷幼穗分化的方式及形态特征没有影响, 依据营养生长期、生长锥伸长期、枝梗分化期、小穗刚毛分化期和雌雄蕊分化期等 5 个幼穗分化阶段的特点, 以济谷 16 的系列穗发育图片为例, 清晰完整的描述了夏谷幼穗发育过程。播期对谷子生育期的影响主要是由于幼穗分化时期的起始时间和持续天数的变化引起。随着播期的推迟, 幼穗分化时期的起始时间提前, 由出苗后 32 d 变为 22 d 左右; 幼穗分化过程的持续时间缩短, 由 28 d 变为 19 d 左右; 谷子生育期缩短, 由 109 d 变为 83 d 左右。在不同的幼穗分化时期, 叶龄和叶龄指数随播期的推迟变化趋势不同, 而叶龄指数与幼穗分化时期在不同播期间保持着更为稳定的对应关系。2 个品种在不同播期条件下, 幼穗分化阶段与叶龄指数均符合直线回归关系, R^2 值在 0.977—0.997, 表现为极显著正相关, 幼穗分化期 Y 依叶龄指数 X 的直线回归方程通式为: $Y = bX + a$, 且不同品种在不同播期条件下对应的直线回归方程之间的差异达到极显著水平, 济谷 16、济谷 18 在不同播期条件下幼穗分化时期与叶龄指数的直线回归关系不可以用共用的直线回归方程来表示。【结论】2 个夏谷品种幼穗分化发育形态基本一致, 但播期对 2 品种幼穗分化的影响有所不同。播期造成的幼穗分化时间的差异是影响谷子生育期的主要原因。根据植株外部叶龄状态判断谷子幼穗分化时期是可行的。

关键词: 谷子; 幼穗分化; 叶龄指数; 播期

Effects of Sowing Dates on Panicle Differentiation and Leaf Number Index of Summer-Sowing Foxtail Millet [*Setaria italica* (L.) Beauv.]

LI GuoYu¹, CONG XinJun¹, QIN Ling², ZOU RenFeng¹, YANG YanBing²,
YAN LiMei¹, CHEN ErYing², LI Ni¹, GUAN YanAn²

(¹Taian Academy of Agricultural Sciences, Taian 271000, Shandong; ²Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100)

Abstract: 【Objective】The panicle differentiation of summer-sowing foxtail millet and its relationship with leaf number index were investigated under different sowing times, so as to provide an application basis for millet production and growth simulation. 【Method】Summer-sowing foxtail millet varieties Jigu 16 with setoxydim resistance and Jigu 18 with waxy endosperm were used as materials, which were planted in plots in the order of sowing time in Jinan Experiment Station of Crop Research Institute,

收稿日期: 2016-08-30; 接受日期: 2016-11-07

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-07-12.5-A11)、山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队专项 (SDAIT-15-09)、山东省农业科学院院地科技合作引导计划 (2014YDZH17)

联系方式: 李国瑜, Tel: 0538-8503377; E-mail: lgy_fish@126.com. 通信作者管延安, Tel: 0531-83178115; E-mail: Yguan65@163.com

Shandong Academy of Agricultural Sciences. Eight sowing treatments were applied during April 29 to July 8, 2015 at the interval of 10 days. Plant density was set at 600 000/hm². One hundred and twenty uniform seedlings at five-leaf stage were tagged in each plot for sampling. Thereafter, 3 to 5 plants were sampled at the interval of 1 to 2 days until heading. The young leaves were deliberately stripped till the young inflorescence fully presented under the OLYMPUS SXZ16 digital stereoscopic microscope to observe the morphological development of young inflorescence, and the leaf number and leaf number index were determined at different stages. The total leaf number was recorded at mature stage. **【Result】** The sowing date and varieties had no effect on the development pattern and morphological characteristics of the panicle differentiation in summer-sowing foxtail millet. Based on panicle differentiation characteristics of vegetative stage, elongation stage, panicle branch differentiation stage, spikelet and bristles protuberances stage and gynoecium and stamen formation stages, the young panicle development process was clearly and systematically characterized by referring series pictures of Jigu 16 panicle differentiation. The influence of sowing date on foxtail millet was predominantly incurred by the starting date and lasting time of young panicle differentiation. With sowing date delayed, the starting date of panicle differentiation was advanced from 32 days to 22 days after germination compared the earliest sowing treatment with the latest sowing treatment. The lasting time of panicle differentiation process was shortened from 28 days to 19 days. And the growth duration was from 109 days to 83 days. The changing tendency of leaf number and leaf number index showed a significant difference at each panicle differentiation stage, and the relationship of panicle differentiation stage with corresponding leaf number index was relatively stable in various sowing treatments. The regression analysis showed significant differences and positive linear correlation at 0.01 level between the panicle differentiation stage and leaf number index for each variety in different sowing treatments. The value of R^2 was in the range of 0.977 to 0.997. The linear regression formula of young panicle differentiation stage (Y) to leaf number index (X) was as follows: $Y = bX + a$, and the linear regression relationship of panicle differentiation stage with leaf number index could not be expressed by a same formula for Jigu 16 and Jigu 18 with different sowing times. **【Conclusion】** The development pattern of panicle differentiation of two summer-sowing foxtail millet varieties was basically similar, however, the influence of sowing dates on panicle differentiation was different. The time difference of panicle differentiation stages caused by sowing date primarily determined the growth duration. Panicle differentiation stages of foxtail millet could be forecasted according to leaf number indexes.

Key words: foxtail millet; panicle differentiation; leaf number index; sowing date

0 引言

【研究意义】 谷子抗旱耐瘠、适应性广、营养丰富，在中国北方旱作农业中占有重要地位^[1-4]。谷子的幼穗分化标志着营养生长向生殖生长的转变，是个体生长发育的重要阶段，具有自身的规律性。叶片是谷子的主要同化器官，其同化能力与叶龄指数紧密关联^[5-6]。研究谷子穗分化和叶龄指数的关系，是形态诊断的核心内容，在栽培指标化管理中发挥着重要作用^[7]。**【前人研究进展】** 早在 1940 年 EVANS 等^[8]描述了谷子生长初期的花序发育；朱澍等^[9]1957 年对春谷农家品种的穗分化进行了详细观察，奠定了谷子穗分化研究的基础；1986 年，辛淑芳等^[10]通过研究谷子外部形态与幼穗分化各个时期的关系时发现，以叶龄指数作为判断穗分化时期的标准比较理想。1998 年，段胜军等^[11]通过扫描电镜观察，将谷子穗分化过程划分为 5 个时期，并就其与栽培育种的关系等问题进行了讨论；2012 年，卢海博等^[12]以杂交谷为研究对象，指出可以利用回归方程，根据叶龄指数来预测穗分化时期。**【本研究切入点】** 近年来，国内外对幼穗分化及其与外部形

态器官的相关性研究主要集中在小麦、水稻、玉米等主要禾谷类作物^[13-19]，谷子相关研究较为迟缓且报道甚少^[20-25]。谷子品种类型繁多，不同叶数的品种在同一叶龄的生育进程及各部器官生长状态不同，播期等栽培管理措施对其影响也较大，而目前的相关研究较少，同时，前人描述谷子幼穗分化过程的观察手绘草图或实物照片受当时试验条件的限制，不够清晰系统，因此，亟需深入研究不同品种谷子幼穗分化进程的差异以及幼穗分化与叶龄指数的关系，探究播期对其的调控效应，从而明确不同品种谷子在不同播期条件下生育进程的简易叶龄诊断方法，并完善谷子幼穗分化进程图。**【拟解决的关键问题】** 本研究通过观察不同品种谷子在不同播期条件下的幼穗分化详细过程，同时记录不同生育期的叶龄，揭示谷子穗分化与叶龄指数的对应关系，旨在为谷子生产中的科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

济谷 16、济谷 18 分别为抗拿捕净除草剂和糯性谷子新品种，由山东省农业科学院作物研究所提供。

试验于 2015 年在山东省农业科学院作物研究所济南试验基地进行,土壤质地为壤土,0—20 cm 耕层土壤含有机质 16.9 g·kg⁻¹、速效氮 72.4 mg·kg⁻¹、速效磷 18.8 mg·kg⁻¹、速效钾 168 mg·kg⁻¹, pH 为 7.8, 每公顷基施氮磷钾 (15-15-15) 三元素复合肥 375 kg, 腐熟有机肥 750 kg。试验地前茬为冬小麦,栽培管理措施同丰产田。试验从 4 月 29 日开始播种,之后每 10 天播种 1 期直至 7 月 8 日,共播种 8 期,依次编号为“1—8”。小区行长 5 m, 6 行区,行距 0.5 m,密度为 60 万株/hm²,依品种按播期顺序排列。

1.2 测定方法

在谷子 5 叶期,每个小区选择 120 株生长均匀一致的植株进行标记,每隔 1—2 d 选取有代表性的植株 3—5 株在解剖镜下观察幼穗分化结果,并详细记载幼穗发育的阶段及其对应的叶龄。

幼穗分化过程观察:在 OLYMPUS SZX16 体视显微镜下,剥去样品苞叶至露出完整幼穗,进行观察并拍照。

幼穗分化时期划分:营养生长期(穗分化前期)、生长锥伸长期(II)、枝梗分化期(III-1、III-2、III-3)、小穗和刚毛分化期(IV)以及雌雄蕊分化期(小花分化期,V)共 5 个时期^[11]。

叶龄(leaf number, LN):展开叶片数,以叶片与叶鞘交界处的叶枕露出为准^[26],半展开叶按照比例值估算。

总叶片数(total leaf number, TLN):按田间标记叶龄的 20 个植株主茎总叶片数的平均值计算。

叶龄指数(leaf number index, LNI):已出叶片数占主茎总叶片数的百分比,即 $LNI(\%) = \frac{LN}{TLN} \times 100$ 。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理,SPSS 20.0 数据处理软件进行方差分析、相关分析、回归分析及配合力分析,Origin 8.0 绘图软件进行图形分析及绘制^[27]。

2 结果

2.1 谷子幼穗分化过程

谷穗的分化形成,是一个连续分化发育的过程,根据各阶段生长和分化的形态特征差异,可以将其划分为 5 个分化时期,而不同品种谷子在不同播期条件下幼穗分化的方式及其形态特征基本一致,因此,用一组济谷 16 的幼穗发育图片即可描绘谷子幼穗分化

的整个过程(图 1)。

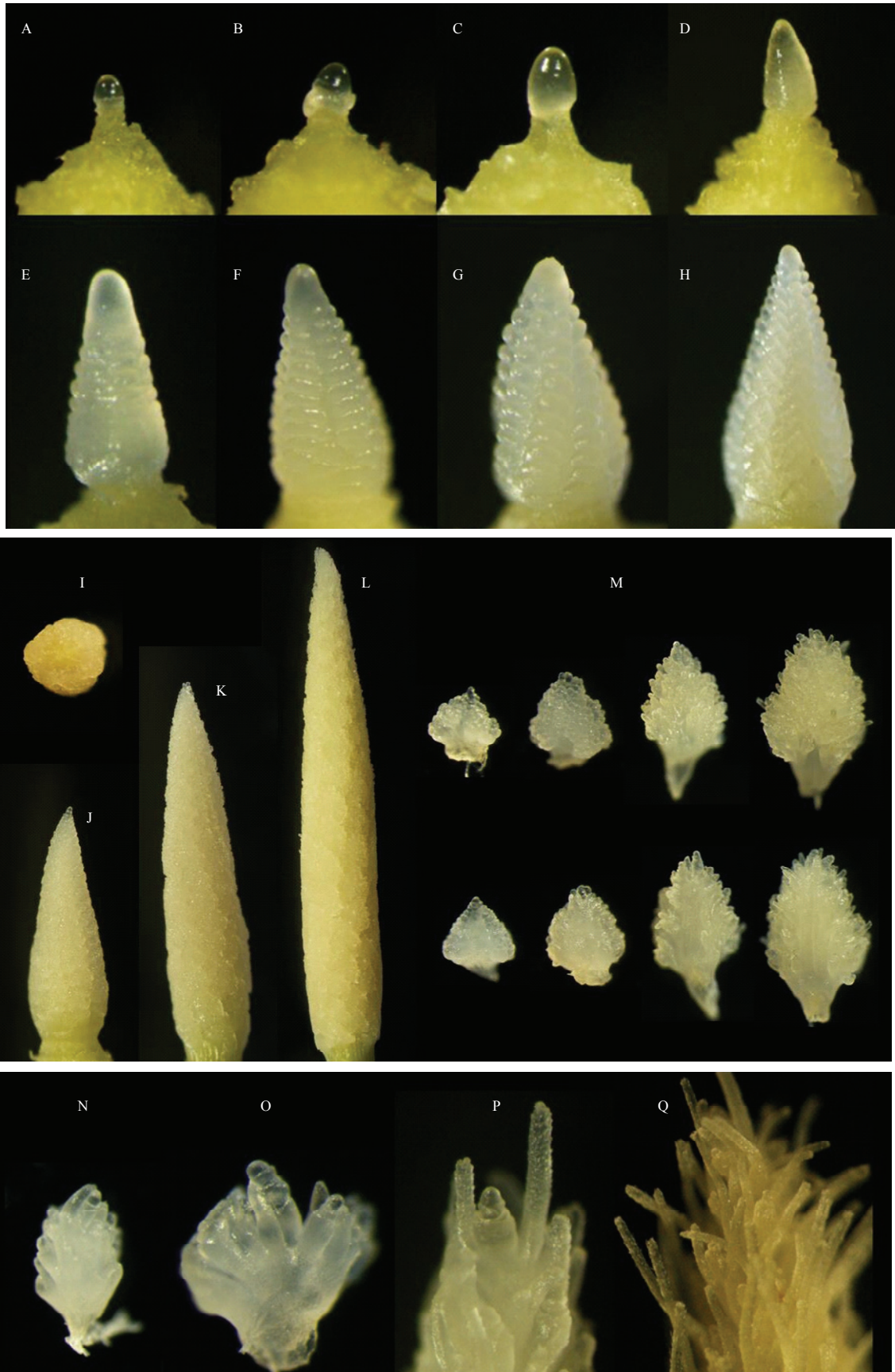
2.1.1 营养生长期 幼苗出土至拔节阶段为营养生长期,生长锥呈光滑的半球体(图 1-A),并未开始伸长,主要进行叶、节和节间的分化。生长点随着叶龄的增加逐渐增大,基部一般可见 2 个明显的半环状互生突起,即为叶原基(图 1-B)。叶原基继续生长包围生长锥,继而形成叶片和叶鞘。谷子营养生长期的持续时间随着播期的推迟逐渐缩短。

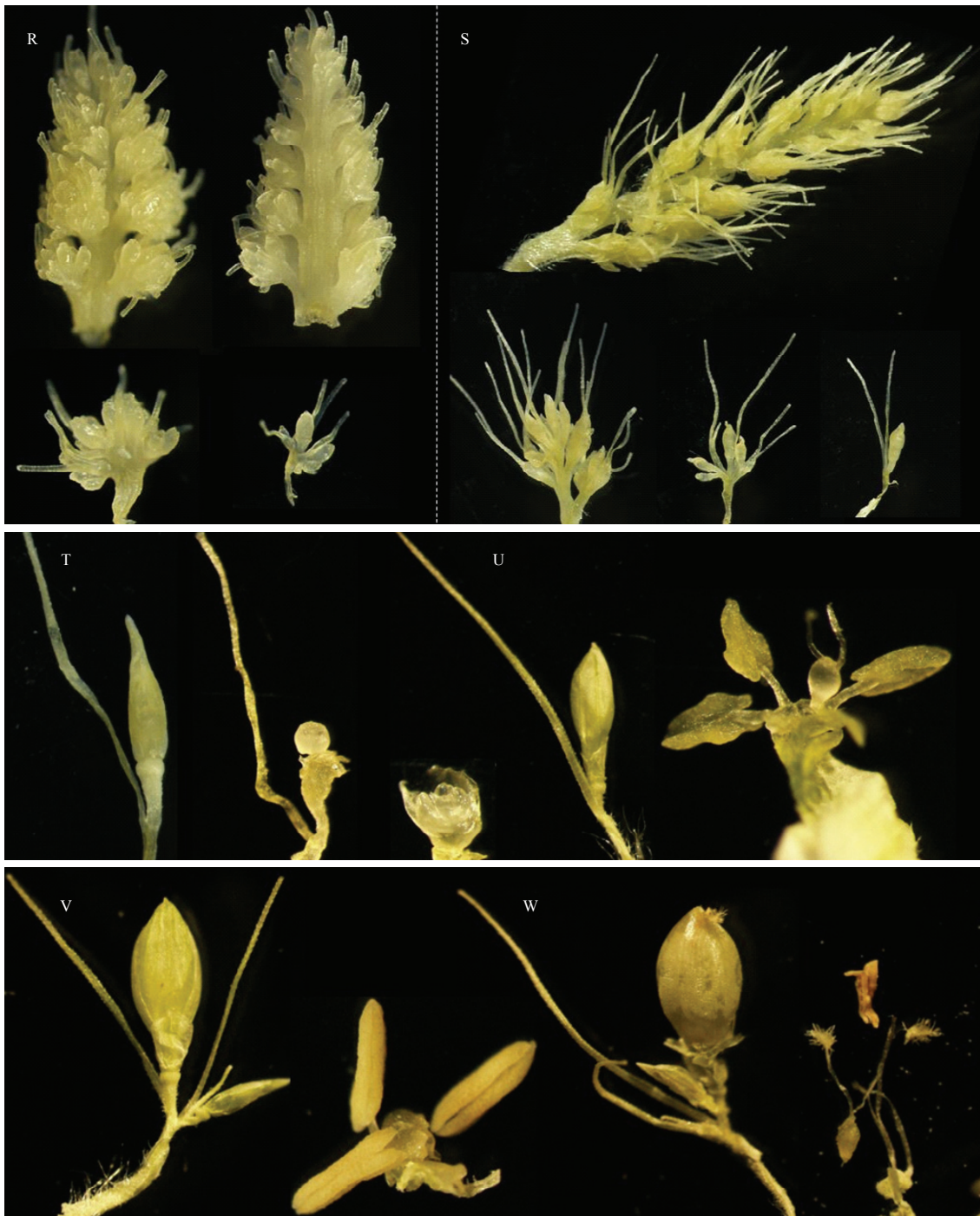
2.1.2 生长锥伸长期 茎的节和节间进行居间生长,标志着拔节的开始;叶原基分化停止,生长锥开始伸长(图 1-C 和图 1-D),标志着幼穗分化阶段的正式开始,营养生长逐渐转变为生殖生长。较早播种的谷子拔节期比生长锥伸长期开始的早,随着播期的推迟,其间隔时间逐渐缩短直至基本同步,甚至会有生长锥伸长期早于拔节期的情况出现。

2.1.3 枝梗分化期 生长锥的顶端保持光滑并继续延伸形成谷穗中轴,在其基部出现小的突起,即为一级枝梗原基(图 1-E),呈向顶式生长,各枝梗原基之间略有凹陷。当每列的一级枝梗原基数达十多个后,生长锥不再伸长,而由于中轴上部一级枝梗的发育时间较晚且速度较慢,故顶部的谷码较小(图 1-F)。在幼穗分化的早中期,一级枝梗原基表现为排列整齐的纵列,每个中轴上有 6—8 列(图 1-I),之后随着生长发育的进程逐渐变为旋转式分布(图 1-G)。中轴伸长的长短和一级枝梗原基的多少决定了谷穗的谷码数,进而决定了谷穗的大小。

当一级枝梗的发育达到一定体积后,在其基部出现左右互生的突起,即为二级枝梗原基(图 1-H)。二级枝梗也呈向顶式分化,从而使得一级枝梗在整体上表现为三角形状;三级枝梗原基在二级枝梗上以同样的方式发生(图 1-J)。谷穗中下部的一级枝梗分化出的二、三级枝梗数量多,而上部的一级枝梗的分枝数明显较少(图 1-K),在很大程度上决定了谷码的大小,进而影响结实粒数。

2.1.4 小穗和刚毛分化期 三级枝梗分化完成后(图 1-L 和图 1-M),在其上产生众多乳头状突起,即为小穗或刚毛原基(图 1-N),顶端多数是光滑的,少部分表现为钝形的凹陷。刚毛原基和小穗原基的初期形态基本一致,难以区分。小穗原基基部继续膨大,顶端钝圆光滑,基部出现同叶原基分化形式相似的外颖片原基和内颖片原基,而刚毛原基不发生增粗变化,只进行伸长,且速度快于小穗,顶端变成梯形或其他不规则形状(图 1-O)。当小穗上的小花分化进行到





A—B: 营养生长期; C—D: 生长锥伸长期; E—G: 一级枝梗分化期; H—I: 二级枝梗分化期; J—L: 三级枝梗分化期; M: 一级枝梗分化过程;
 N—Q: 小穗刚毛分化期; R—W: 雌雄蕊分化期
 A-B: Vegetative stage; C-D: Elongation stage; E-G: Primary panicle branch differentiation stage; H-I: Secondary panicle branch differentiation stage; J-L: Third panicle branch differentiation stage; M: Panicle differentiation stages of Primary panicle; N-Q: Spikelet and bristles protuberances stage; R-W: Gynoecium and stamen formation stage

图 1 济谷 16 的幼穗分化过程

Fig. 1 The panicle differentiation stages of Jigu16

雌雄蕊原基形成时, 刚毛上产生许多细小突起, 谷穗成熟后这些突起形成刚毛上的刺(图 1-P 和图 1-Q)。

穗轴和枝梗上的毛刺也是以这种方式形成的。

2.1.5 雌雄蕊分化期 内外护颖原基形成, 标志着小

花分化的开始(图 1-R 和图 1-S)。谷子每个小穗有 2 朵小花,第 1 朵花为败育花,第 2 朵花才是正常发育结实的小花。第 1 朵花的外稃相对于小穗内颖而生,内稃位于外稃对面,其外稃的上方有偏圆形突起,即为第 1 朵花原基。第 1 朵花至此基本上完成,不再进行雌雄蕊等其他器官的分化,在以后发育过程中逐渐消失。第 2 朵花原基位于第 1 朵花之上,是小穗原基的原生长点转变形成。可育花的外稃相对于第 1 朵花的生长点而生,其最初形状为偏半球形突起,但分化后生长较快,内稃位于外稃之上的相对侧,分化后生长相对较慢。可育花的内外稃分化完成之后,在其生长点顶部的侧面出现 3 个顶部较平坦的雄蕊原基(图 1-T),1 个位于外稃的正上方,另 2 个在原基侧面呈相对状(图 1-V)。花药原基形成后,可育花原基的顶端部分由平坦转变为突起,即为雌蕊原基。雌蕊分化最早的为子房,形状新月形,然后在其左右两侧形成 2 个尖角突起,以后形成花柱和柱头(图 1-U)。小花分化完成之后,各部分器官进行增大生长和发育,由于护颖的生长,开花前一直将雌雄蕊等器官包被在其内。开花前雌蕊发育成具有子房、花柱和羽毛状二歧柱头的完整器官,花柱侧生子房内侧(图 1-W)。雌蕊原基增粗增大,形成具有花粉囊的花药。

2.2 不同播期夏谷的幼穗发育进程

随着播期的推迟,幼穗分化开始日期逐渐提前(表 1),济谷 16 由出苗后 32 d 开始穗分化缩短到 23 d,变异系数为 11.03%,济谷 18 由 31 d 缩短到 22 d,变异系数为 10.86%;幼穗分化持续时间逐渐缩短,济谷 16 由 28 d 减少到 22 d,变异系数为 8.92%,济谷 18 由 28 d 减少到 19 d,变异系数为 13.18%;从抽穗到成熟阶段的持续天数逐渐缩短,济谷 16 由 49 d 变为 41 d,变异系数为 5.39%,济谷 18 由 49 d 变为 42 d,变异系数分别为 4.96%;从出苗到成熟阶段的生育期持续天数逐渐缩短,济谷 16 由 109 d 变为 86 d,变异系数为 7.77%,济谷 18 由 108 d 变为 83 d,变异系数分别为 8.57%。通过比较变异系数可以发现,随着播期的推迟,谷子幼穗分化阶段开始的时间及持续天数的变化幅度较大,而抽穗到成熟阶段持续天数的变化幅度较小,说明播期对谷子生育期的影响主要是由于幼穗分化阶段的开始时间和持续天数的变化引起的。

谷子幼穗各分化时期的持续时间也随着播期的推迟逐渐缩短,最早播种处理与最晚播种处理的天数相差在 2 d 左右,其中,以生长锥伸长期(II 期)的变化幅度最大,济谷 16 和济谷 18 的变异系数分别为

16.64%和 21.54%,其他各时期(III 期、IV 期、V 期)的变异系数也均在 10%左右,济谷 16 分别为 7.88%、11.19%和 8.82%,济谷 18 分别为 17.04%、9.75%和 7.25%。拔节期到生长锥伸长期(II 期)的时间间隔随着播期的推迟明显减少,济谷 16 由 7 d 缩短为 4 d,变异系数为 19.73%,济谷 18 由 6 d 缩短为 1 d,变异系数为 46.48%。

2.3 不同播期夏谷的叶龄及叶龄指数

结合表 2、图 2 可以看出,随着播期的推迟,在生长锥伸长期(II 期),谷子的叶片数逐渐减少,由 11.9—12.0 片叶变为 9.3—9.4 片叶,呈“∩”型下降状态;从枝梗分化期到小穗刚毛分化期(III-1 期到 IV 期),谷子叶片数整体变化趋势仍为逐渐降低,但在第 4 个处理有反超早播和晚播的现象,呈“∞”型降升降状态;雌雄蕊分化期(V 期)之后,谷子叶片数先增加后减少,呈“∧”型升降状态;到成熟期时,不同播期条件下的谷子总叶片数差异显著,且济谷 16 和济谷 18 都是在第 4 处理最多、第 8 处理最少,分别为 21.8、17.2 和 21.1、17.3 片叶。

随着播期的推迟,谷子从出苗到抽穗的生长发育过程中,叶片生长速率逐渐提高,由每天的 0.31 片叶增加为 0.40 片叶。其中,出苗到拔节阶段,叶片生长速率并不随着播期的推迟而有较大变化,基本都维持在每天 0.40 片叶的状态,济谷 16 和济谷 18 之间的差异也较小;拔节到抽穗阶段,济谷 16 的叶片生长速率随着播期的推迟逐渐升高,由每天 0.26 片叶变为 0.37 片叶,均比上一个阶段有明显降低,济谷 18 的叶片生长速率也随着播期的推迟逐渐升高,由每天 0.26 片叶提高到 0.43 片叶,与上一个阶段相比,前 4 个处理明显降低,后 4 个处理明显提高。

在一级枝梗分化期之前的各阶段,叶龄指数随着播期的推迟先降低后升高,呈“∨”型降升状态,在二级枝梗分化期之后的各阶段,叶龄指数随着播期的推迟先降低后略微升高再降低之后再逐渐升高,呈“W”型降升降升状态,与叶龄的变化趋势相比存在明显差异。可见,播期对谷子成熟期植株总叶片数的影响,造成了幼穗各分化时期内叶龄与叶龄指数变化趋势的不同。通过比较叶龄与叶龄指数在同一幼穗分化时期的变异系数发现,叶龄指数的 CV 值均较小,表明叶龄指数与幼穗分化阶段在不同播期间保持着更为稳定的对应关系。

济谷 16 和济谷 18 叶龄和叶龄指数的变化趋势基本一致,但数值差异显著。通过分析均值可知,进入

表 1 不同播期条件下夏谷各幼穗分化时期的开始日期及持续天数

Table 1 The occurred date and continued days of each panicle differentiation stage in different sowing date

品种 Cultivar	处理 Treatment	出苗期 Seeding stage		拔节期 Jointing stage		III期			IV期			V期			抽穗期 Heading stage			成熟期 Mature stage			
		出苗期 Seeding stage		拔节期 Jointing stage		III-1	III-2	III-3	IV-1	IV-2	IV-3	V-1	V-2	V-3	Heading stage	Heading stage	Heading stage	Mature stage	Mature stage	Mature stage	
		日期 Date	天数 Days(d)	日期 Date	天数 Days(d)	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date	日期 Date
济谷16 Jigu16	1	5.8	25	6.2	7	6.9	5	6.14	6.18	6.22	12	6.26	5	7.1	6	7.7	49	8.25	109		
	2	5.17	24	6.10	6	6.16	5	6.21	6.25	6.29	12	7.3	5	7.8	6	7.14	47	8.30	105		
	3	5.26	23	6.18	6	6.24	5	6.29	7.3	7.7	12	7.11	5	7.16	5	7.21	46	9.5	102		
	4	6.4	22	6.26	6	7.2	4	7.6	7.10	7.14	12	7.18	5	7.23	5	7.28	46	9.12	100		
	5	6.13	22	7.5	5	7.10	4	7.14	7.17	7.21	11	7.25	5	7.30	5	8.4	46	9.19	98		
	6	6.22	21	7.13	5	7.18	4	7.22	7.25	7.29	11	8.2	4	8.6	5	8.11	45	9.25	95		
	7	7.2	20	7.22	4	7.26	4	7.30	8.2	8.5	10	8.9	4	8.13	5	8.18	43	9.30	90		
	8	7.11	19	7.30	4	8.3	3	8.6	8.9	8.12	10	8.16	4	8.20	5	8.25	41	10.5	86		
CV		9.09		19.73		16.64					7.88		11.19		8.82		5.39		7.77		
济谷18 Jigu18	1	5.9	25	6.3	6	6.9	5	6.14	6.18	6.22	13	6.27	5	7.2	5	7.7	49	8.25	108		
	2	5.18	24	6.11	5	6.16	5	6.21	6.25	6.29	13	7.4	5	7.9	5	7.14	47	8.30	104		
	3	5.27	23	6.19	5	6.24	4	6.28	7.2	7.6	12	7.10	5	7.15	5	7.20	47	9.5	101		
	4	6.5	23	6.28	4	7.2	4	7.6	7.9	7.13	11	7.17	5	7.22	5	7.27	46	9.11	98		
	5	6.13	23	7.6	3	7.9	4	7.13	7.16	7.19	10	7.23	5	7.28	5	8.2	46	9.17	96		
	6	6.22	22	7.14	3	7.17	3	7.20	7.23	7.26	10	7.30	5	8.4	5	8.9	45	9.23	93		
	7	7.1	22	7.23	2	7.25	3	7.28	7.31	8.3	9	8.6	4	8.10	5	8.15	43	9.27	88		
	8	7.11	21	8.1	1	8.2	3	8.5	8.7	8.10	8	8.13	4	8.17	4	8.21	42	10.2	83		
CV		5.45		46.48		21.54					17.04		9.75		7.25		4.96		8.57		

II: 生长锥伸长期; III-1: 一级枝梗分化期; III-2: 二级枝梗分化期; III-3: 三级枝梗分化期; IV: 小穗和刚毛分化期; V: 雌雄蕊分化期; CV: 变异系数(%)。日期格式为“月.日”。下同
 II: Elongation stage; III-1: Primary panicle branch differentiation stage; III-2: Secondary panicle branch differentiation stage; III-3: Third panicle branch differentiation stage; IV: Spikelet and bristles protrudences stage; V: Gynoeceum and stamen formation stage. CV: Coefficient of variation (%). The date format: "Month.Day". The same as below

表 2 不同播期条件下夏谷幼穗各分化时期的叶片数和叶龄指数

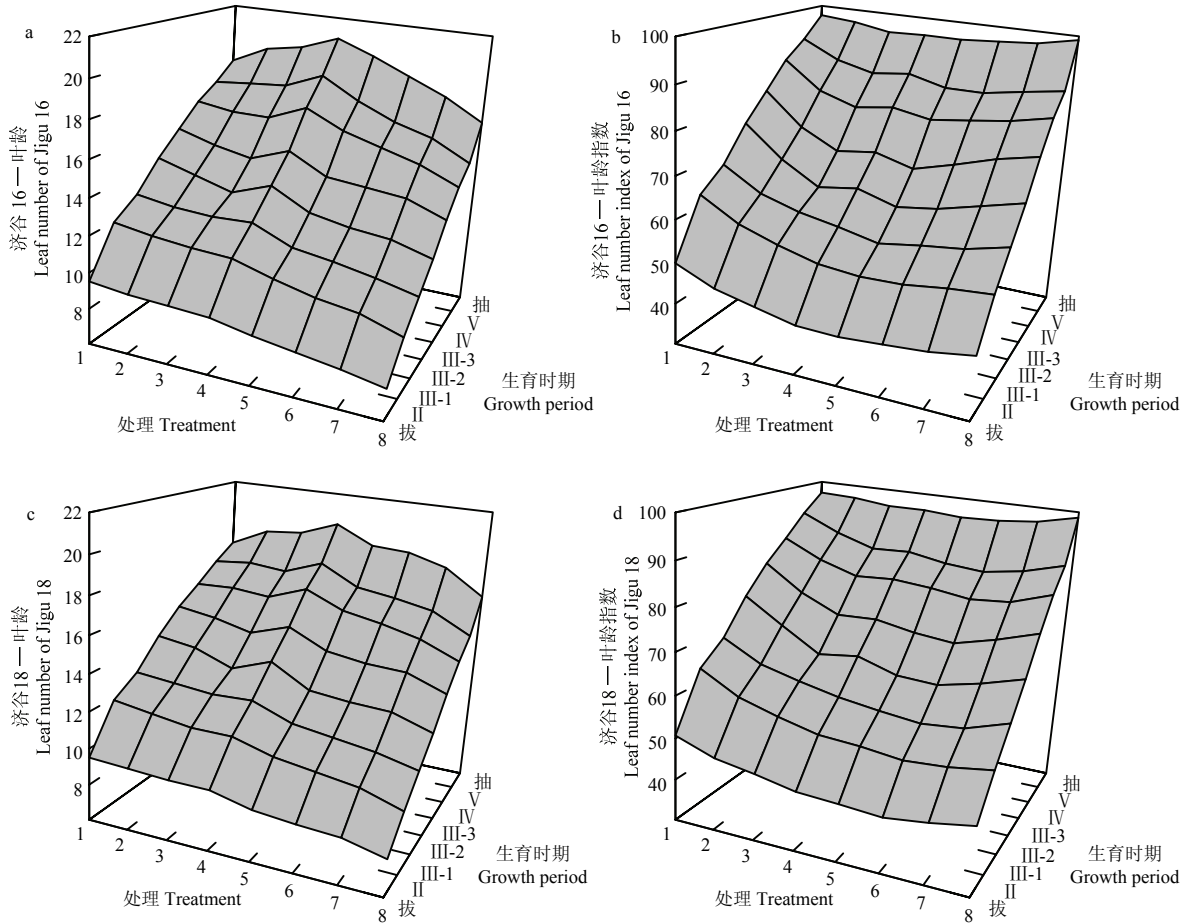
Table 2 The leaf number and leaf number index of each panicle differentiation stage in different sowing date

品种 Cultivar	处理 Treatment	拔节期 Jointing stage			II期 II			III-1期 III-1			III-2期 III-2			III-3期 III-3			IV期 IV			V期 V			抽穗期 Heading stage			成熟期 Mature stage		
		叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	叶龄 LN		叶龄指数 LNI	总叶片数 TLN		
		LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	LN	LNI	LNI	TLN		
济谷 16 Jigu 16	1	9.5	49.79	12.0	62.89	12.9	67.61	14.4	75.47	15.6	81.76	16.8	88.05	17.6	92.24	18.6	97.48	19.6	102.72	20.0	107.00	20.0	111.28	20.0	115.56	20.0	119.84	19.08
	2	9.3	45.93	11.7	57.78	12.6	62.22	13.8	68.15	15.0	74.07	16.5	81.48	17.8	87.90	19.6	96.79	20.2	101.18	20.0	105.46	20.0	109.74	20.0	114.00	20.25		
	3	9.2	43.81	11.5	54.76	12.5	59.52	13.2	62.86	14.6	69.52	16.5	78.57	18.0	85.71	20.0	95.24	21.00	99.52	20.0	103.00	20.0	106.76	20.0	110.52	21.00		
	4	9.1	41.84	11.4	52.41	12.6	57.93	14.0	64.37	15.4	70.80	17.4	80.00	18.9	86.90	20.8	95.63	21.75	100.12	20.0	104.00	20.0	107.76	20.0	111.52	21.75		
	5	8.7	41.59	10.8	51.63	11.7	55.93	12.9	61.66	14.3	68.36	16.4	78.39	17.7	84.61	20.0	95.60	20.92	100.12	20.0	104.00	20.0	107.76	20.0	111.52	20.92		
	6	8.4	42.36	10.3	51.94	11.4	57.49	12.5	63.04	14.1	71.10	15.8	79.68	16.8	84.72	19.1	96.32	19.83	100.84	19.1	103.76	19.1	107.52	19.1	111.28	19.83		
	7	8.1	43.20	10.0	53.33	11.0	58.67	12.3	65.60	13.9	74.13	15.2	81.07	16.2	86.40	18.2	97.07	18.75	101.76	18.2	105.00	18.2	108.76	18.2	112.00	18.75		
	8	7.7	44.85	9.3	54.16	10.5	61.15	11.7	68.14	13.1	76.30	14.3	83.28	15.1	87.94	17.0	99.01	17.17	102.72	17.0	106.00	17.0	109.76	17.0	113.52	17.17		
均值 A	8.8	44.17	10.9	54.86	11.9	60.07	13.1	66.16	14.5	73.26	16.1	81.32	17.3	87.05	19.2	96.64	19.84	101.76	19.2	105.00	19.2	108.76	19.2	112.00	19.84			
CV	7.28	6.15	8.65	6.92	7.38	6.08	7.07	6.73	5.71	5.92	6.08	3.88	3.88	6.87	2.82	6.30	7.43	7.43	6.30	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	7.43		
济谷 18 Jigu 18	1	9.5	50.67	11.9	63.47	12.8	68.27	14.3	76.27	15.5	82.67	16.4	87.47	17.4	92.80	18.2	97.07	18.75	101.76	18.2	105.00	18.2	108.76	18.2	112.00	18.75		
	2	9.4	47.40	11.6	58.50	12.6	63.54	14.0	70.60	15.2	76.65	16.5	83.21	17.6	88.75	19.2	96.82	19.83	101.76	19.2	105.00	19.2	108.76	19.2	112.00	19.83		
	3	9.3	45.93	11.3	55.80	12.4	61.23	13.2	65.19	14.7	72.59	16.3	80.49	17.4	85.93	19.4	95.80	20.25	101.76	19.4	105.00	19.4	108.76	19.4	112.00	20.25		
	4	9.3	44.12	11.3	53.61	12.5	59.30	14.0	66.41	15.4	73.06	17.1	81.12	18.2	86.34	20.2	95.83	21.08	101.76	20.2	105.00	20.2	108.76	20.2	112.00	21.08		
	5	8.8	43.63	10.7	53.05	11.7	58.01	12.8	63.46	14.4	71.39	16.2	80.32	17.1	84.78	19.2	95.19	20.17	101.76	19.2	105.00	19.2	108.76	19.2	112.00	20.17		
	6	8.6	43.00	10.4	52.00	11.4	57.00	12.6	63.00	14.1	70.50	15.8	79.00	16.8	84.00	19.1	95.50	20.00	101.76	19.1	105.00	19.1	108.76	19.1	112.00	20.00		
	7	8.5	44.34	10.1	52.69	11.1	57.90	12.5	65.21	14.0	73.03	15.3	79.81	16.4	85.55	18.5	96.50	19.17	101.76	18.5	105.00	18.5	108.76	18.5	112.00	19.17		
	8	8.0	46.16	9.4	54.24	10.6	61.17	11.8	68.09	13.2	76.17	14.4	83.09	15.3	88.29	17.1	98.67	17.33	101.76	17.1	105.00	17.1	108.76	17.1	112.00	17.33		
均值 A	8.9	45.66	10.8	55.42	11.9	60.80	13.2	67.28	14.6	74.51	16.0	81.81	17.0	87.06	18.9	96.42	19.57	101.76	18.9	105.00	18.9	108.76	18.9	112.00	19.57			
CV	5.98	5.48	7.77	6.95	6.77	6.11	6.70	6.52	5.46	5.26	5.20	3.33	3.33	5.17	3.25	4.92	5.86	5.86	4.92	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	5.86			

LN: 叶龄; LNI: 叶龄指数; TLN: 总叶片数; A: 均值; CV: 变异系数
 LN: Leaf number; LNI: Leaf number index; TLN: Total leaf number; A: Average; CV: Coefficient of variation

拔节期时, 济谷 16 约有 8.8 片叶、LNI 为 44.17%, 济谷 18 约有 8.9 片叶、LNI 为 45.66%; 进入生长锥伸长期时, 济谷 16 约有 10.9 片叶、LNI 为 54.86%, 济谷 18 约有 10.8 片叶、LNI 为 55.42%; 进入一级枝梗分化期时, 济谷 16 约有 11.9 片叶、LNI 为 60.07%, 济谷 18 约有 11.9 片叶、LNI 为 60.80%; 进入二级枝梗分化期时, 济谷 16 约有 13.1 片叶、LNI 为 66.16%, 济谷 18 约有 13.2 片叶、LNI 为 67.28%; 进入三级枝

梗分化期时, 济谷 16 约有 14.5 片叶、LNI 为 73.26%, 济谷 18 约有 14.6 片叶、LNI 为 74.51%; 进入小穗刚毛分化期时, 济谷 16 约有 16.1 片叶、LNI 为 81.32%, 济谷 18 约有 16.0 片叶、LNI 为 81.81%; 进入雌雄蕊分化期时, 济谷 16 约有 17.3 片叶、LNI 为 87.05%, 济谷 18 约有 17.0 片叶、LNI 为 87.06%; 进入抽穗期时, 济谷 16 约有 19.2 片叶、LNI 为 96.64%, 济谷 18 约有 18.9 片叶、LNI 为 96.42%。



a: 济谷 16 的叶龄; b: 济谷 16 的叶龄指数; c: 济谷 18 的叶龄; d: 济谷 18 的叶龄指数
a: Leaf number of Jigu16; b: Leaf number index of Jigu16; c: Leaf number of Jigu18; d: Leaf number index of Jigu18

图 2 叶片数及叶龄指数的三维图形

Fig. 2 3D graphics of leaf number and leaf number index

2.4 不同播期夏谷的幼穗分化与叶龄指数的关联

用自然数 1—8 分别代表“拔节期、II 期、III-1 期、III-2 期、III-3 期、IV 期、V 期、抽穗期”作为统计回归分析的依变量 Y, 幼穗各分化时期所对应的叶龄指数作为自变量 X。通过分析发现, 不同品种谷子

在不同播期条件下, 幼穗分化阶段与叶龄指数均符合直线回归关系, R^2 值在 0.977—0.997 (表 3), 表现为极显著正相关性, 幼穗分化期 Y_i 依叶龄指数 X_i 的直线回归方程通式为: $Y_i=bX_i+a$ (a、b 代表系数)。

随着播期的推迟, b 值逐渐减小, 济谷 16 由 0.150

降为 0.139, 济谷 18 由 0.153 降为 0.143; $|a|$ 值先减小后增大, 济谷 16 变化范围为 7.043—4.548, 济谷 18 变化范围为 7.356—4.932。对济谷 16 和济谷 18 方程的系数 b 、 a 进行差异显著性 t 检验, $t_{b16}=62.88$, $t_{a16}=-18.12$, $t_{b18}=70.98$, $t_{a18}=-19.85$ ($t_{0.01}=3.355$, $n=8$), 结果表明, 各系数间存在极显著性差异, 说明不同品种在不同播期条件下对应的直线回归方程之间的差异达到极显著水平, 不可以配置出一个共用的直线回归方程来表示济谷 16、济谷 18 在不同播期条件下幼穗分化时期与叶龄指数的直线回归关系。

表 3 幼穗分化与叶龄指数的线性回归分析

Table 3 The liner regression analysis of panicle differentiation and leaf number index

处理 T	济谷 16 Jigu16							济谷 18 Jigu18						
	b	X	+ a	R ²	F	(2-a)/b	6/b	b	X	+ a	R ²	F	(2-a)/b	6/b
Y ₁ =	0.150	X ₁	-7.043	0.979	285.4	60.29	40.00	0.153	X ₁	-7.356	0.977	257.3	61.15	39.22
Y ₂ =	0.146	X ₂	-5.980	0.991	668.4	54.66	41.10	0.148	X ₂	-6.365	0.994	947.5	56.52	40.54
Y ₃ =	0.143	X ₃	-5.326	0.984	379.8	51.23	41.96	0.147	X ₃	-5.873	0.991	690.7	53.56	40.82
Y ₄ =	0.135	X ₄	-4.748	0.996	1372.8	49.99	44.44	0.140	X ₄	-5.304	0.997	2022.8	52.17	42.86
Y ₅ =	0.135	X ₅	-4.548	0.989	526.0	48.50	44.44	0.140	X ₅	-5.146	0.993	873.6	51.04	42.86
Y ₆ =	0.135	X ₆	-4.746	0.993	815.6	49.97	44.44	0.139	X ₆	-4.932	0.992	782.1	49.87	43.17
Y ₇ =	0.135	X ₇	-4.959	0.995	1292.2	51.55	44.44	0.139	X ₇	-5.122	0.996	1340.9	51.24	43.17
Y ₈ =	0.134	X ₈	-5.153	0.996	1372.2	53.38	44.78	0.137	X ₈	-5.360	0.997	2313.2	53.72	43.80
t-test	62.80**		-18.12**			39.78**	64.87**	70.98**		-19.85**			41.51**	72.81**

**：差异极显著 ($P<0.01$) **: Difference is significant at 0.01 level

3 讨论

3.1 播期对夏谷幼穗分化的影响

谷子的花序为类穗状圆锥花序, 单个谷穗上的近万个小穗和刚毛均着生于三级枝梗的末端, 其幼穗分化过程远较水稻、小麦等其他禾谷类作物复杂^[28-29]。段胜军等^[11]研究发现, 春、夏谷之间穗分化的方式及形态特征无明显差异, 但夏谷营养生长期明显缩短, 叶片分化数显著减少, 幼穗分化持续时间也较短, 并根据小穗、小花的特点将谷子穗分化过程划分为五个阶段沿用至今。本研究与前人研究结果基本一致, 但之前有关学者的观察手绘草图或实物照片不够全面完整^[25,30-31], 本研究更为清晰完整的阐述了谷子的整个幼穗分化过程。

温度、水分、光照是影响谷子生长发育的重要环境因素^[32-34]。播期越早, 谷子生育前期的平均日温就越低, 生育期也就越长, 随着播期的推迟, 温度逐渐

由直线方程的性质可知, 公式 $X=(2-a)/b$ 代表各个播期条件下谷子幼穗分化开始 (II 期) 时叶龄指数的理论值, 随着播期的推迟表现为先减小后增大的趋势, 与田间结果相一致, 表明播期对谷子幼穗分化开始时的叶龄指数有显著影响; 公式 $Y=6/b$ 代表谷子幼穗分化起止时期叶龄指数之差的理论值, 随着播期的推迟表现为逐渐增大的趋势, 而幼穗分化的持续时间又是逐渐减小的, 表明播期对谷子幼穗分化过程中叶龄指数的变化幅度和变化速率有显著影响。

升高, 光照强度增大、降水增多, 谷子的生育期也就越短^[30]。春播谷子的穗分化开始在拔节之后的现象是较普遍且易观察到的, 夏播穗分化多始于拔节之前, 晚春播或早夏播能观察到穗分化与拔节同时开始的情况, 这可能与光照反应有关^[10,35]。本研究中, 随着播期的推迟, 夏谷的生育期由 109 d 减少到 83 d 左右, 其中, 幼穗分化开始时间由出苗后 32 d 减少到 22 d、由拔节后 7 d 减少到 1 d, 幼穗分化阶段的持续时间由 28 d 减少到 20 d, 抽穗期到成熟期由 49 d 减少 41 d, 表明播期是影响谷子生育期的关键因素, 播期越晚, 出苗到幼穗分化开始以及幼穗分化过程的持续时间就越短, 从而大幅缩短谷子的生育期。

3.2 播期对夏谷叶龄及叶龄指数的影响

随着播期的改变, 谷子幼穗分化各个阶段的叶龄和叶龄指数表现出不同的变化趋势, 品种之间的差异也较为明显, 主要是由于谷子生育期、叶片生长速率、品种特性之间的差异造成的^[36-37]。李存东等^[7]曾指出,

播期间叶龄进程的差异是其阶段发育进程差异的外在表现,而叶龄指数反映了叶片出生的相对进程,具有较好的可比性。本研究揭示,播期对夏谷幼穗分化过程中的叶龄、叶龄指数、叶片增长速率、叶龄指数变化幅度有很大影响,而叶龄指数比叶龄更适合作为衡量幼穗分化进程的指标。

3.3 播期对夏谷幼穗分化与叶龄指数关联的影响

谷子幼穗分化与叶龄指数之间的线性回归关系已被广泛研究证实,利用直线回归方程 $Y=bX+a$,通过叶龄指数可以准确判断谷子的幼穗发育阶段,而不同品种对应的回归函数系数略有不同,其中 b 值的大小与总生育期天数呈正相关^[10,38]。本研究的线性回归分析结果显示,在不同播期条件下,夏谷幼穗分化与叶龄指数之间均存在真实的线性关系,而不同播期、不同品种所对应的回归函数差异显著,用叶龄指数推算谷子幼穗分化阶段的方法可行,但是在实际应用过程中,还要进一步研究,获得相匹配的公式。

4 结 论

2 个夏谷品种穗分化发育形态基本一致,但播期对 2 品种幼穗分化的影响有所不同。播期延迟导致幼穗分化各阶段时间缩短,幼穗分化时间的差异是播期影响谷子生育期的主要原因。受播期的影响,穗分化不同阶段对应的叶龄和叶龄指数也有所差异,随播期的延迟,穗分化各阶段的叶片数逐渐减少,而对应的叶龄指数呈先下降再上升的趋势。

致谢: 谷子穗分化材料的观察照相利用山东省农业科学院生物技术中心李国卫博士实验室的数显体视显微镜完成,在此表示感谢!

References

- [1] 李顺国,刘斐,刘猛,赵宇,王慧军. 我国谷子产业现状、发展趋势及对策建议. 农业现代化研究, 2014, 35(5): 531-535.
LI S G, LIU F, LIU M, ZHAO Y, WANG H J. The current industry situation, development trend and suggestions for the future of foxtail millet in China. *Research of Agricultural Modernization*, 2014, 35(5): 531-535. (in Chinese)
- [2] 郭晋襄,李志华,李会霞,田岗,刘鑫. 我国谷子生产中存在的问题及未来发展方向. 中国种业, 2014, 3: 16-18.
GUO JX, LI Z H, LI H X, TIAN G, LIU X. The existing problems and developing direction of millet industry in China. *China Seed Industry*, 2014, 3: 16-18. (in Chinese)
- [3] 管延安,杨延兵,秦岭,王海莲,张华文. 山东省谷子生产现状与技术需求对策. 山东农业科学, 2009, 9: 119-122.
GUAN Y A, YANG Y B, QIN L, WANG H L, ZHANG H W. Current situation and development measures for millet industry in Shandong province. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, 9: 119-122. (in Chinese)
- [4] 刁现民. 谷子生物技术研究成果与未来方向. 河北农业科学, 2005, 9(4): 61-68.
DIAO X M. Advance in foxtail millet biotechnology and its future directions. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2005, 9(4): 61-68. (in Chinese)
- [5] 张爱霞,刘晓东,王桂荣,李珊珊,王慧军. 谷子主要营养品质性状遗传差异与选择研究. 中国农学通报, 2012, 28(21): 58-62.
ZHANG A X, LIU X D, WANG G R, LI S S, WANG H J. Studies on genetic effects and selection of important nutrient quality characters in millet. *Chinese Agricultural Sciences Bulletin*, 2012, 28(21): 58-62. (in Chinese)
- [6] 王绍滨. 谷子叶片生长及幼穗分化与外部形态的关系. 黑龙江农业科学, 2001(6): 23-24.
WANG S B. Relationship between leaf growth young panicle differentiation and morphological characters in millet. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2001(6): 23-24. (in Chinese)
- [7] 李存东,曹卫星,罗卫红,刘铁梅. 小麦叶片出生与穗分化关系的研究. 中国农业科学, 2000, 33(1): 33-38.
LI C D, CAO W X, LUO W H, LIU T M. Relationship between leaf emergence on main stem and spike differentiation stages in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 33-38. (in Chinese)
- [8] EVANS M W, GROVER F O. Developmental morphology of the growing point of the short and the inflorescence in grasses. *Journal of Agricultural Research*, 1940, 61: 481-486.
- [9] 朱澍,王伏雄. 粟的发育形态的研究. 植物学报, 1957, 2: 421-430.
ZHU C, WANG F X. Study on the developmental morphology of millet. *Journal of Integrative Plant Biology*, 1957, 2: 421-430. (in Chinese)
- [10] 辛淑芳,赵福. 春谷幼穗发育阶段与叶龄指数关系的研究. 华北农学报, 1986, 1(2): 52-57.
XIN S F, ZHAO F. Studies on the relation between the developing stages of the young ears and the leaf age index in spring millet. *Acta Agriculturae Boreal-Sinica*, 1986, 1(2): 52-57. (in Chinese)
- [11] 段胜军,刁现民,赵连元. 谷子穗分化的扫描电镜观察. 西北植物学报, 1998, 18(3): 406-410.
DUAN S J, DIAO X M, ZHAO L Y. Electronic scanning observation of developmental morphology of inflorescence in foxtail millet. *Acta*

- Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1998, 18(3): 406-410. (in Chinese)
- [12] 卢海博, 李鸿强, 龚学臣, 乔永明, 赵治海, 王萌萌. 张杂谷穗分化时期与叶龄指数关系的研究. *广东农业科学*, 2012, 19: 4-5.
LU H B, LI H Q, GONG X C, QIAO Y M, ZHAO Z H, WANG M M. Research on relationship between spike differentiation stages and leaf number index in Zhangzagu (*Setaria italica*). *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 19: 4-5. (in Chinese)
- [13] 杨宗渠, 尹钧, 谷冬艳, 周冉, 任江萍, 李永春, 李金才. 不同发育特性小麦品种叶片与小穗原基分化同步关系的研究. *核农学报*, 2007, 21(6): 550-556.
YANG Z Q, YIN J, GU D Y, ZHOU R, REN J P, LI Y C, LI J C. Corresponding relation between leaf and spikelet primordium differentiation of different development type of wheat cultivars. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2007, 21(6): 550-556. (in Chinese)
- [14] LI J M, LIU H X, DUAN L S, ENEJI A E, LI Z H. Spike differentiation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) mulched with plastic films during over-wintering period. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2007, 31(3): 133-144.
- [15] 李小刚, 陈浩, 王保军, 王俊义, 赵胜利, 王业文, 陈耀楠, 闫理峰. 陕南不同类型水稻品种叶龄与生育进程研究. *安徽农学通报*, 2015, 21(12): 39-41.
LI X G, CHEN H, WANG B J, WANG J Y, ZHAO S L, WANG Y W, CHEN Y N, YAN L F. Study on leaf age and development progress of different rice varieties in southern Shanxi. *Anhui Agricultural Sciences Bulletin*, 2015, 21(12): 39-41. (in Chinese)
- [16] 王治世, 段俊杰, 居辉, 杨佑明, 王志敏. 播期对夏玉米叶片生长发育特性的影响. *安徽农业科学*, 2014, 42(8): 2228-2232, 2236.
WANG Z S, DUAN J J, JU H, YANG Y M, WANG Z M. Effects of sowing dates on leaf development characteristics of summer maize (*Zea mays* L.). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(8): 2228-2232, 2236. (in Chinese)
- [17] 曹彬, 张世杰, 孙占育, 曹三潮, 赵志红. 玉米叶龄指数与穗分化回归关系的研究初报. *玉米科学*, 2015, 13(1): 86-88.
CAO B, ZHANG S J, SUN Z Y, CAO S C, ZHAO Z H. Research report of regression relationship between leaf number index and spike differentiation in maize. *Journal of Maize Sciences*, 2015, 13(1): 86-88. (in Chinese)
- [18] 凌启鸿, 苏祖芳, 侯康平, 郭宏文. 水稻潜伏芽生长和穗分化形成规律及其应用的研究. *中国农业科学*, 1989, 22(1): 35-43.
LING Q H, SU Z F, HOU K P, GUO H W. Studies on the growth and panicle differentiation of resting bud and its application in rice plants. *Scientia Agricultura Sinica*, 1989, 22(1): 35-43. (in Chinese)
- [19] 凌启鸿, 苏祖芳, 张洪程, 蔡建中, 何杰升. 水稻品种不同生育类型的叶龄模式. *中国农业科学*, 1983, 1: 9-18.
LING Q H, SU Z F, ZHANG H C, CAI J Z, HE J S. The leaf-age-model of development process in different varieties of rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 1983, 1: 9-18. (in Chinese)
- [20] 丁则环. 谷子穗分化进程及其与营养器官形成的关系. *内蒙古农业科技*, 1982, 1: 4-11.
DING Z H. Panicle differentiation Stages and its relationship with the formation of vegetative organs of foxtail millet. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 1982, 1: 4-11. (in Chinese)
- [21] 王智兰, 王军, 袁峰, 杜晓芬, 杨慧卿, 郭二虎. 基于 PCR 技术的谷子分子标记遗传图谱构建. *中国农业科学*, 2014, 47(17): 3492-3500.
WANG Z L, WANG J, YUAN F, DU X F, YANG H Q, GUO E H. Construction of genetic map of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) using PCR- based molecular markers. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(17): 3492-3500. (in Chinese)
- [22] YANG X Y, WAN Z W, PERRY C L, LU H Y, WANG Q, ZHAO C H, LI J, XIE F, YU J C, CUI T X, WANG T, LI M Q, GE Q S. Early millet use in northern China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2012, 109(10): 3726-3730.
- [23] WANG C F, JIA G Q, ZHI H, NIU Z G, CHAI Y, LI W, WANG Y F, LI H Q, LU P, ZHAO B H, DIAO X M. Genetic diversity and population structure of Chinese foxtail millet [*Setaria italica* (L.) Beauv.] landraces. *Genes Genomes Genetics*, 2012, 2(7): 769-777.
- [24] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 温琪芬, 董俊丽, 陈凌, 王君杰, 曹晓宁, 刘思辰, 王纶, 乔治军, 刁现民. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2016, 42(1): 19-30.
WANG H G, JIA G Q, ZHI H, WEN Q F, DONG J L, CHEN L, WANG J J, CAO X N, LIU S C, WANG L, QIAO Z J, DIAO X M. Phenotypic diversity evaluations of foxtail millet core collections. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 19-30. (in Chinese)
- [25] 山西省农业科学院. 中国谷子栽培学. 北京: 农业出版社, 1987. Shanxi Academy of Agricultural Sciences. *Foxtail Millet Cultivation in China*. Beijing: Agriculture Press, 1987. (in Chinese)
- [26] 涂华玉, 唐晓红, 李彦龙, 何庆祥. 根据叶脉数识别玉米叶龄的方法. *新疆农垦科技*, 1989, 4: 8-9.
TU H Y, TANG X H, LI Y L, HE Q X. A method to identify leaf number through venation of corn. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 1989, 4: 8-9. (in Chinese)
- [27] 武兆云. 利用 Excel 进行方差分析和多重比较. *安徽农业科学*, 2014, 42(14): 4172-4174, 4182.

- WU Z Y. Analysis of variance and multiple comparison by Excel. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(14): 4172-4174, 4182. (in Chinese)
- [28] 李雯, 智慧, 张硕, 房雪娇, 王海龙, 贾冠清, 韩渊怀, 刁现民. 谷子 *Si-SPI* 小穗突变基因的遗传分析和定位. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(3): 581-587.
- LI W, ZHI H, ZHANG S, FANG X J, WANG H L, JIA G Q, HAN Y H, DIAO X M. Morphological effect and genomic mapping of *Si-SPI* (small panicle 1) in foxtail millet. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(3): 581-587. (in Chinese)
- [29] JIA G Q, HUANG X H, ZHI H, ZHAO Y, ZHAO Q, LI W J, CHAI Y, YANG L F, LIU K Y, LU H Y, ZHU C R, LU Y Q, ZHOU C C, FAN D L, WENG Q J, GUO Y L, HUANG T, ZHANG L, LU T T, FENG Q, HAO H F, LIU H K, LU P, ZHANG N, LI Y H, GUO E H, WANG S J, WANG S Y, LIU J R, ZHANG W F, CHEN G Q, ZHANG B J, LI W, WANG Y F, LI H Q, ZHAO B H, LI J Y, DIAO X M, HAN B. A haplotype map of genomic variations and genome-wide association studies of agronomic traits in foxtail millet (*Setaria italica*). *Nature Genetics*, 2013, 45(8): 957-961.
- [30] 谢菲, 李造哲, 马青枝, 李培龙. 披碱草幼穗分化的观察. *中国草地学报*, 2014, 36(3): 16-21.
- XIE F, LI Z Z, MA Q Z, LI P L. Observations on the young spike differentiation of *Elymus dahuricus* turcz. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(3): 16-21. (in Chinese)
- [31] 杨金贵, 米福贵, 闫利军, 杨慧. 中间偃麦草生长锥分化过程的观察. *种子*, 2012, 31(2): 13-16, 20.
- YANG J G, MI F G, YAN L J, YANG H. Observation on growing tip differentiation of *Elytrigia intermedia*. *Seed*, 2012, 31(2): 13-16, 20. (in Chinese)
- [32] 范惠萍, 郭二虎, 王秀清, 程丽萍, 王军, 郭鸿亮, 宋红军. 播期和密度对长农 35 号主要农艺性状和产量的影响. *河北农业科学*, 2010, 14(11): 13-14, 34.
- FAN H P, GUO E H, WANG X Q, CHENG L P, WANG J, GUO H L, SONG H J. Effects of sowing time and plant density on main agronomic characters and yield of millet variety Changnong No.35. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14(11): 13-14, 34. (in Chinese)
- [33] 吕建珍, 马建萍, 独俊娥, 赵凯, 刘晓东, 王海岗. 春播谷子品种(系)生态适应性鉴定及主成分分析. *作物杂志*, 2015(6): 44-47.
- LŪ J Z, MA J P, DU J E, ZHAO K, LIU X D, WANG H G. Ecotype adaptability and principal component analysis of foxtail millet. *Crops*, 2015(6): 44-47. (in Chinese)
- [34] 赵海超, 曲平化, 龚学臣, 陈春艳. 不同播期对旱作谷子生长及产量的影响. *河北北方学院学报(自然科学版)*, 2012, 28(3): 26-30.
- ZHAO H C, QU P H, GONG X C, CHEN C Y. Effects of different planting dates on growth and yield of dryland millet. *Journal of Hebei North University (Natural Science Edition)*, 2012, 28(3): 26-30. (in Chinese)
- [35] 朱佩华. 播种时期对谷子生长发育及产量结构的影响. *沈阳农学院学报*, 1982, 2: 62-72.
- ZHU P H. The effects of the period for planting on the growth and development as well as the components of the output of millet. *Journal of Shenyang Agricultural College*, 1982, 2: 62-72. (in Chinese)
- [36] KIM E J, SA K J, PARK K C, LEE J K. Study of genetic diversity and relationships among accessions of foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] in Korea, China, and Pakistan using SSR markers. *Genes & Genomics*, 2012, 34: 529-538.
- [37] LIN H S, CHIANG C Y, CHANG S B, LIAO G I, KUOH C S. Genetic diversity of foxtail millet (*Setaria italica*) germplasm as determined by agronomic traits and microsatellite markers. *Australian Journal of Crop Science*, 2012, 6(2): 342-349.
- [38] 刘环, 刘恩魁, 周新建, 张德荣, 刘永平, 刘红霞, 侯升林, 宋银芳, 王新玉, 周汉章. 夏谷播期与籽粒产量的回归分析. *天津农业科学*, 2013, 19(3): 77-82.
- LIU H, LIU E K, ZHOU X J, ZHANG D R, LIU Y P, LIU H X, HOU S L, SONG Y F, WANG X Y, ZHOU H Z. Regression analysis of different sowing times and yield in summer foxtail millet. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2013, 19(3): 77-82. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)