

# 玉米萌发期耐冷性鉴定方法研究进展

曹士亮 于滔 扈光辉 王成波 曹靖生

(黑龙江省农业科学院玉米研究所 / 农业部东北北部玉米生物学与遗传育种重点实验室, 哈尔滨 150086)

**摘要:**准确可靠的玉米萌发期耐冷性鉴定方法是开展玉米萌发期耐冷性遗传和育种的基础。长期以来,不同学者和实验室对玉米萌发期耐冷性鉴定开展了广泛而深入的研究,形成了一系列玉米萌发期耐冷性鉴定的方法。对这些方法进行了简要综述,分析了影响玉米萌发期耐冷性鉴定的主要因素,并对玉米萌发期耐冷性鉴定方法的发展趋势提出展望,以期开展相关研究提供一定的参考。

**关键词:**玉米;萌发期耐冷性;鉴定方法;研究进展

玉米种子顺利萌发出苗是获得玉米高产的第一步,对玉米生产具有重要的意义。萌发期冷害是制约世界高纬度冷凉地区玉米生产的重要因素之一,其导致玉米萌发、出苗缓慢,增加病菌入侵机率,加重病害发生,造成种子霉变、腐烂,给玉米生产带来严重的损失,是导致我国东北地区玉米产量不稳、品质不高的主要原因<sup>[1]</sup>。生产上主要采用标准发芽试验对玉米种子的发芽率进行标定。但玉米标准发芽率是在适宜温度下玉米出苗能力的体现,难以有效反映玉米在低温不利条件下的出苗能力。随着玉米单粒播种技术的推广,生产上对玉米种子的质量要求越来越高,选育萌发期耐冷性强的玉米品种已经成为高纬度地区玉米育种的重要目标。准确可靠的玉米萌发期耐冷性鉴定方法是有效评价玉米萌发期耐冷性、开展玉米萌发期耐冷性遗传和育种研究的基础和关键。长期以来,不同学者和实验室根据各自的试验目的对影响玉米低温萌发的因素进行了大量研究,形成了一系列玉米萌发期耐冷性鉴定的方法<sup>[2]</sup>。本文就当前玉米萌发期耐冷性鉴定的研究方法、评价指标和影响因素进行分析和综述,以期开展相关研究提供一定的参考。

## 1 对玉米萌发期和发芽率概念的理解

玉米种子的萌发被定义为种子的胚从相对静止状态变为生理活跃状态,并长成幼苗的过程,这

一过程一般可分为4个阶段,即吸胀阶段、萌动阶段、发芽阶段和成苗阶段。我国农作物种子检验规程(GB/T 3543.4-1995)将发芽定义为在实验室内幼苗出现和生长达到一定阶段、幼苗的主要构造表明在田间的适宜条件下能否进一步生长成为正常的植株,即从种子到幼苗的过程;对发芽率的定义为在规定的条件和时间内长成的正常幼苗数占供检种子数的百分率。一些学者在研究玉米耐冷性时根据胚根突破种皮的长短来定义发芽,发芽率则定义为胚根达到一定长度的种子占供试种子的比率<sup>[2]</sup>。此外,一些学者利用胚芽鞘伸长达一定长度作为判断发芽的标准。如此看来,由于对玉米萌发概念理解的不同会导致对玉米发芽率的定义存在差异。笔者认为玉米的萌发期可以从狭义和广义两个范围来理解,狭义的萌发期应该指玉米从播种到出芽(Germination)这段时期,这里的出芽可以依据胚根突破种皮的长度来判断,也可以依据胚芽鞘突破种皮的长度来判断,通常这段时期也被称为芽期(Germination Stage);广义的萌发期则是指从播种到出苗这段时期(Emergence Stage)。所以发芽率的概念至少应包括3层含义,一是萌动种子的比率(以胚根长度为依据);二是发芽种子比率(以胚芽长度为依据);三是出苗比率(以幼苗为依据)。这些指标都是对玉米低温条件下生长发育活力的评价,可以根据具体的试验目的和试验条件来进行选择。

## 2 玉米萌发期耐冷性鉴定方法分类

### 2.1 田间鉴定和室内鉴定

玉米萌发期耐冷性的田间鉴定通常利用自然环境,通过调整播期创造低

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31771814);国家博士后基金面上资助(2017M621318);黑龙江省自然基金面上项目(C2017063);黑龙江省博士后资助(LBH-Z17205);黑龙江省农业科学院院级科研项目(2017JS02)

温条件。在开展田间鉴定时需要掌握试验点温度和降水等气象资料,合理调整 and 选择播种时期,使玉米萌发能够处于低温条件下。在选择不同的播种时期后,记录出苗的时期也要相应的发生变化。B.E.Clark<sup>[3]</sup>在对甜玉米的耐冷性进行田间鉴定时,5月播种3周后记录出苗率,6月播种2周后记录出苗率。尽管田间鉴定法比较接近生产实际,能够客观直接地对玉米耐冷性进行评价,但田间试验的条件如低温持续时间、降水量等条件不确定性较大,土壤、病原菌等情况也不尽相同,因此,田间耐冷性鉴定结果重复性差,且对于大部分高纬度地区来说,1年只能进行1次,特别是当试验的材料较多时,需要占用大量的试验用地,这些因素都限制了该方法的应用。

室内鉴定法可以通过模拟对玉米萌发不利的低温条件,来预测玉米在田间低温条件下萌发的表现<sup>[4]</sup>。最初,由于缺少室内耐冷性鉴定试验与田间试验的关系的研究,玉米萌发期耐冷性鉴定的结果难以得到很好的解释<sup>[3]</sup>。后续的大量研究表明,通过调整室内鉴定的温度、萌发基质、水分条件、萌发时间等因素来模拟田间低温条件,室内萌发期的耐冷性鉴定结果与田间出苗情况的相关程度可以达到显著水平以上,这为开展室内玉米萌发期耐冷性鉴定提供了必要的理论基础<sup>[5-6]</sup>。室内鉴定的方法不受环境因素限制,可以根据需要设定温度及含水量等条件,重复性好,特别适合对大量的材料进行鉴定。当前,室内鉴定已经成为萌发期耐冷性鉴定的重要方法。北美官方种子检测协会(AOSA, Association of Official Seed Analysts)对玉米萌发期耐冷性的鉴定就是采用室内鉴定方法<sup>[7]</sup>。

**2.2 直接鉴定和间接鉴定** 根据评价指标的不同,玉米萌发期耐冷性鉴定方法又可以分为直接鉴定和间接鉴定2种方法。直接鉴定法主要考查种子萌发不同时期生长发育状况、生长量以及达到不同生长发育阶段的时间,如发芽率、出苗率、根长、茎长、根茎鲜重、干重等这些可以直接观察或者简单测量即可获得的指标。间接鉴定法则是与玉米耐冷性相关的生理生化指标进行测定,如相对电导率、酶活性、代谢物质含量等<sup>[8]</sup>。这些指标的测定涉及一系列的化学和物理过程,需要借助电导率仪、分光光度计、液相色谱等仪器设备,这些试验过程相对于直接

鉴定法较为繁琐,耗时较长,进行大批材料鉴定时应用起来比较困难。

### 3 玉米萌发期耐冷性鉴定的指标研究

**3.1 玉米生长发育和形态指标** 玉米生长发育和形态指标可以大致分为3类,第一类是规定的时间点和时间段内达到某一生长发育阶段的种子占供试种子的百分比,这些指标包括发芽率、发芽势、相对发芽率、发芽指数等;第二类是一定时间点或时间段玉米生物量的描述,如根长、茎长、干重、鲜重等;第三类指标是统计玉米达到每一生长发育阶段所需要的时间,如从播种到50%发芽时间,从播种到50%出苗的时间等。

发芽率是评价玉米萌发期耐冷性最基础和最重要的指标,对发芽的判断是计算玉米发芽率的基础。由于对玉米萌发各时期的判断和理解的标准不同,导致研究者在对发芽的判断上存在较大的差异。张雪峰等<sup>[9]</sup>在试验中以胚根伸出0.6mm为发芽标准,李波等<sup>[10]</sup>在统计发芽种子数时以胚根伸出0.5mm为标准,李俊明等<sup>[11]</sup>则以胚根长出2mm为标准记录发芽数,马延华<sup>[12]</sup>以胚根突破种皮长0.5cm作为发芽标准,E.Noli等<sup>[13]</sup>以胚芽鞘长度为2mm以上的种子来统计发芽率,张晓聪等<sup>[14]</sup>则以胚芽鞘长达至少1cm作为发芽的判断标准。这些指标实际上反映了玉米种子在低温条件下生长发育早期的萌动情况。北美官方种子检测协会对发芽率的规定与我国种子检验规程的方法相类似,即统计正常幼苗占供试材料的百分比来评价玉米种子的萌发期耐冷性<sup>[7]</sup>。

在发芽率的基础上又衍生出种子发芽势、相对发芽率、发芽指数、相对发芽指数等指标,这些指标能反映的是在规定的時間点和时间段内萌发玉米百分比及其相对值,实际上是对低温条件下玉米发芽能力定量的描述。低温、高湿等不利条件对玉米生长发育速度、干物质的合成和积累产生重要的影响,造成各试验材料在同一时间内胚根长或胚芽长、茎鲜(干)重、根鲜(干)重等方面存在着显著的差异,这些都被用来作为耐冷性研究的评价指标<sup>[15]</sup>。

活力指数(Vi, vigor index)则综合利用了第一类和第二类指标,公式为 $Vi=S \times \text{发芽率}$ 或者 $Vi=S \times \text{发芽指数}$ ,根据发芽的判断标准不同,S可以是胚根、胚芽或者幼苗生长势(如地上部分或根的平均鲜重或干

重、胚根长或胚芽长等)。张雪峰等<sup>[9]</sup>采用的是10粒种子胚根的平均生长长度(mm)与发芽率的乘积为活力指数的指标,石海春等<sup>[16]</sup>将这个指标称为简易活力指数,刘春香等<sup>[6]</sup>则采用幼苗生长的平均鲜重与发芽指数的乘积来表示活力指数。

在如何选择玉米萌发期耐冷性鉴定的生长发育和形态指标上目前尚未有统一的标准。扈光辉等<sup>[17]</sup>认为,相对发芽指数、相对发芽率、相对苗干重、相对根干重和相对根总长适宜作为玉米芽期和苗期耐冷性鉴定指标。张雪峰等<sup>[9]</sup>认为,相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指数和相对活力指数4项指标可以构建综合活力指标。张晓聪等<sup>[14]</sup>的研究表明,相对发芽率、相对发芽指数、相对幼苗干重与相对活力指数呈极显著相关,可以作为玉米自交系芽期耐冷性鉴定指标。郑昀晔等<sup>[18]</sup>研究的相关性分析表明,相对发芽率、相对幼苗总干重、相对地上部苗干重、相对根干重之间显著相关,是较好的耐寒性评价指标,并提出性状相对值差异微小的自交系耐寒性强弱难以区分,采用聚类法将有关性状综合分析可以提供有效的借鉴。

**3.2 生理生化指标** 低温会造成植物生物膜膜相的变化,增大膜的透性,降低酶活性,引起细胞生理生化过程的一些异常。当植物细胞膜被破坏后,大量电解质外渗,对电解质渗透率的测定是评价玉米萌发期耐冷性的一个重要指标。李霞等<sup>[19]</sup>研究表明,低温条件下玉米吸胀期的电导率与常温条件下的电导率的比值与发芽期耐冷性呈显著正相关。过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)是植物组织防御系统中的重要保护性酶。杨静<sup>[20]</sup>研究表明,在玉米萌发期初遇低温时,SOD、POD、CAT 3种酶的酶活性均呈现出上升的趋势。张毅等<sup>[21]</sup>也认为SOD活性下降的速率可以较好地反映出玉米耐冷性的差异。除过氧化物酶以外,丙二醛(MDA)的含量也能反映出活性氧对细胞膜系统造成的伤害程度,一般表现为耐冷性弱的自交系的MDA含量要高于耐冷性强的自交系<sup>[22]</sup>。

玉米萌发期耐冷性是一个极其复杂的性状,它涉及一系列复杂的物质能量代谢活动和生理生化过程。与玉米生长发育和形态指标一样,单一某一个生理生化指标往往也难以反映玉米萌发期耐冷性的强弱。近年来,广大学者不断尝试在测定玉米生长

发育和形态指标及生理生化指标的基础上,将这些指标综合起来分析以对玉米的萌发期耐冷性进行评价。彭云玲等<sup>[23]</sup>利用发芽期发芽率、胚芽长、胚根长、根数为隶属函数法综合评价指标筛选出了3份强耐寒玉米自交系。

## 4 影响玉米萌发期耐冷性鉴定的主要因素

**4.1 温度** 温度是玉米萌发期耐冷性鉴定首要考虑的因素。玉米是喜温作物,对低温非常敏感,其种子萌发、生长发育及干物质积累一般需要较高的温度。随着温度的降低玉米萌发时间逐渐延长,多数研究结论表明,玉米种子萌发所需最低温度为5~15℃<sup>[11,24]</sup>,不同材料间萌发的最低温度存在较大的差异。选择的温度过高,则不能对玉米种子发芽产生足够的选择压,温度过低种子则会停止生长,难以达到鉴定目的<sup>[24]</sup>。因此,在确定耐冷性鉴定的温度时一定要根据具体的试验目的来进行选择。当以育种为目的进行玉米耐冷性种质资源筛选时,应该适当采用相对较低的温度或者设定温度梯度逐级下调试验的温度。如扈光辉<sup>[24]</sup>对玉米种质资源进行筛选和鉴定时就分别设定了20℃、11℃和7℃3个温度梯度从60份稳定系中筛选出7℃低温条件下耐冷性强的种质5份,为玉米耐冷性育种奠定了基础。法国利马格兰公司玉米室内萌发期耐冷性鉴定的方法是统计10℃7d~25℃3d条件下的发芽率,德国KWS公司则以5℃4d~25℃6d条件下的发芽率来评价玉米萌发期的耐冷性<sup>[6]</sup>。曹士亮等<sup>[25]</sup>最近研究发现,玉米5℃4d~25℃3d的发芽率分别与玉米的发芽势和10℃21d(常用的低温萌发处理条件)条件下的发芽率均呈显著正相关。

**4.2 水分** 水分是玉米发芽的重要因素,也是影响玉米发芽的重要条件。水分通常与低温一起造成玉米萌发期的冷害。J.K.Itabari等<sup>[26]</sup>研究表明,土壤水分含量对玉米种子萌发和出苗造成显著的影响。孟宪新等<sup>[27]</sup>研究发现,当土壤含水量在15%~20%范围内,玉米种子的发芽势、发芽率和活力指数较高,适宜培育壮苗,并建议5%的土壤含水量为玉米种子萌发和苗期生长的最低预警水分。曹士亮等<sup>[25]</sup>研究发现,玉米种子的发芽势在不同土壤水分含量间呈极显著差异,品种的发芽率与土壤水分含量的交互呈极显著差异,说明土壤水分含量对玉米种子萌发有重要的影响。北美官方种子检测协会所制定



的玉米耐冷性鉴定方法耐冷性检测(Cold Test)和饱和耐冷性检测(Saturated Cold Test)的差别,实际上就是依据玉米种子萌发过程中水分含量的不同,饱和耐冷性检测通过在发芽基质下铺上吸水纸,保障玉米整个低温试验过程都在充足的水分条件下,具有相对更严格的逆境胁迫<sup>[7]</sup>。

**4.3 发芽基质** 玉米种子发芽试验(包括正常温度和低温条件)所采用的基质对种子的萌发起到提供支持和保水的作用。随着人们对低温发芽规律的认识和材料技术的发展,发芽基质也在不断地变化。这些发芽基质主要包括沙子、沙子草炭土混合物、灭菌土、非灭菌土、纸卷以及近年来在国外广泛使用的发芽纸。B.E.Clark<sup>[3]</sup>研究发现利用非灭菌土壤的耐冷鉴定能更好地预测早期播种的出苗率。我国学者常采用在培养皿内铺放滤纸或吸水纸的方法来达到持续为种子萌发提供水分的目的。张同祯等<sup>[28]</sup>比较了玉米不同发芽方法的差别,发现采用先锋公司的美国安科发芽纸的纸间法,重复间差异较小,易于实现操作标准化和管理规范化。近年来,蛭石因其吸水、保水性好以及易于统一规格而被广泛地应用于玉米种子萌发试验中。北美官方种子检测协会的耐冷性鉴定主要采用蛭石为基质<sup>[7]</sup>。本实验室采用培养皿和2层3mm厚黑色海绵进行萌发试验,可以有效解决种子低温萌发过程中长菌的问题。

## 5 对玉米萌发期耐冷性鉴定方法研究的展望

玉米萌发期耐冷性鉴定属于玉米种子活力检测的范畴,是玉米种子低温萌发能力的体现。无论是耐冷性遗传育种研究,还是在生产上对玉米耐冷性的鉴定,都期望能够简单、快速地获得准确的试验结果。因此,好的耐冷性鉴定的方法一般应该满足以下几个方面的要求。

**5.1 方法简便,鉴定周期短** 玉米萌发期耐冷性鉴定试验需要设置重复,一般需要同一批次处理样本量大。简便的试验方法,一方面能够缩短鉴定时间,快速获得试验结果,另一方面还有利于扩大试验的规模,例如:法国利马格兰公司和德国KWS公司的萌发期耐冷性鉴定试验周期均不超过2周<sup>[6]</sup>。

**5.2 试验可重复性好** 好的萌发期耐冷性鉴定方法应该具有较好的可重复性,这样有利于不同实验室和不同研究人员的结果进行比较。为了实现试验的可重复性,需要对试验的条件确立作统一的规定。

北美官方种子检测协会所制定的玉米耐冷性检测和饱和耐冷性检测被多数的研究单位采用,低温处理一般都是10℃7d,常温的处理采用23℃和25℃不等,常温处理时间上也存在5~7d的变化<sup>[7]</sup>。此外,在试验的发芽基质和发芽的水分条件上目前也没有统一的规定。由于细沙、田土等发芽基质很难统一规格,以一定规格蛭石为发芽基质较容易统一。因此,建议以统一规格的蛭石为发芽基质。

**5.3 与田间低温试验的相关性** 田间温度、土壤水分等条件变化的不可控性限制了玉米萌发期耐冷性田间鉴定试验的应用,特别是随着试验规模的增大,试验环境更加难以协调一致。室内试验可以有效地解决环境的差异,但开展室内鉴定试验前要选择一些耐冷性较为明确的试验材料确定田间试验与室内试验相关性,使室内鉴定试验的结果更具合理性。

## 参考文献

- [1] 马树庆, 袁祝香, 王琪. 中国东北地区玉米低温冷害风险评估研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 137-141
- [2] 张晓聪, 雍洪军, 张焕欣, 等. 玉米芽期和苗期耐冷性研究进展[J]. 作物杂志, 2012(6): 8-14
- [3] Clark B E. Relationship between certain laboratory tests and the field germination of sweet corn[J]. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts, 1953, 43: 42-44
- [4] Delouche J C. Standardization of vigor tests[J]. Journal of Seed Technology, 1976, 1(2): 75-85
- [5] 陈士林. 玉米种子活力与田间苗期性状相关性研究[J]. 种子, 2003(4): 35-37
- [6] 刘春香, 张新. 玉米种子的低温活力测定研究[J]. 潍坊学院学报, 2013, 13(4): 42-45
- [7] Munamava M R, Goggi A S, Pollak L. Seed quality of maize inbred lines with different composition and genetic backgrounds[J]. Crop Science, 2004, 44(2): 542-548
- [8] 张红生, 胡晋. 种子学[M]. 北京: 科学出版社, 2010
- [9] 张雪峰, 张立军, 胡滨. 玉米萌发期种子耐低温鉴定指标的筛选[J]. 辽宁农业科学, 2011(1): 25-30
- [10] 李波, 高云鹏, 徐艳霞. 91份玉米自交系种子耐低温等级的评价[J]. 种子, 2016, 35(12): 74-77
- [11] 李俊明, 欧庆汉. 玉米种子的低温发芽临界温度研究[J]. 种子, 1989(4): 22-24
- [12] 马延华. 玉米发芽至苗期耐冷性资源鉴定及遗传分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013
- [13] Noli E, Beltrami E, Casarini E, et al. Reliability of early and final counts in cold and cool germination tests for predicting maize seed vigour[J]. Italian Journal of Agronomy, 2010, 5(4): 389-391
- [14] 张晓聪, 周羽, 张林, 等. 玉米自交系芽期耐冷性鉴定[J]. 作物杂

# 韶关市水稻品种布局现状分析与建议

张伟群<sup>1</sup> 张金道<sup>2</sup> 张洋<sup>1</sup> 孙磊磊<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>广东省韶关市植保植检与种子管理站,韶关 502029; <sup>2</sup>广东省乐昌市农业技术推广总站,乐昌 512219)

**摘要:**在分析韶关市水稻品种布局现状和存在问题的基础上,提出水稻品种合理布局的建议,为有关部门科学决策提供参考。

**关键词:**水稻;品种布局;现状;存在问题;建议

水稻是韶关市的主要粮食作物,常年种植面积13.333万hm<sup>2</sup>左右。韶关市是典型的粤北稻作区,水稻品种布局较其他稻作区有显著不同。水稻品种布局直接影响水稻生产。通过对韶关市2013–2017年水稻种植情况统计数据的整理分析,在剖析韶关市水稻品种布局现状和存在问题的基础上,提出韶关市水稻品种合理布局的建议,为有关部门科学决策提供参考。

## 1 水稻品种布局现状

**1.1 少部分以单季稻为主,大部分以双季稻为主**  
地处西北部的石灰岩高寒山区及黄烟种植区等部分区域以单季稻为主,其他大部分区域均以双季稻为主。

**1.2 大部分以杂交稻为主,部分以常规稻为主** 目

前,全市7县(市)3区中,南雄、始兴、翁源县等8县(市、区)早造以杂交水稻为主,占比60.4%~83.7%;仁化、乳源、翁源等5县(区)晚造以杂交水稻为主,占比66.7%~81.5%;始兴、南雄等2县(市)晚造以常规稻为主,占比分别为70.5%和81.9%。仅曲江早造均以常规稻为主,占比分别为60%和80%,乐昌早晚造杂交水稻和常规稻各占一半。

**1.3 杂交稻逐年递减,常规稻逐年递增** 近5年来,杂交稻早造种植面积从4.371万hm<sup>2</sup>减至3.235万hm<sup>2</sup>;晚造种植面积从5.106万hm<sup>2</sup>减至3.435万hm<sup>2</sup>。常规稻早造种植面积从1.434万hm<sup>2</sup>增至2.095万hm<sup>2</sup>;晚造种植面积从2.489万hm<sup>2</sup>增至4.094万hm<sup>2</sup>。水稻生产呈现杂交稻逐年递减,常规稻逐年递增之趋势。

志,2016(2):21–26

[15] Andreas H, Yvan F, Alberto S, et al. Cold tolerance of maize seedlings as determined by root morphology and photosynthetic traits[J]. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(3): 178–185

[16] 石海春,柯永培,余跃辉,等. 玉米种子活力测定方法的研究[J]. *玉米科学*, 2004, 12(2): 116–118

[17] 扈光辉,王天宇,苏俊,等. 玉米种质苗期耐冷性状的遗传分析[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(6): 101–106

[18] 郑响晔,胡晋,张胜,等. 玉米自交系发芽期和苗期耐寒性的鉴定[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2006, 32(1): 41–45

[19] 李霞,李连禄,王美云,等. 玉米不同基因型对低温吸胀的响应及幼苗生长分析[J]. *玉米科学*, 2008, 16(2): 60–65

[20] 杨静. 低温下甜玉米种子萌发期和苗期的抗氧化酶活性及基因表达水平的差异[D]. 广州:暨南大学, 2015

[21] 张毅,顾慰连. 低温对玉米光合作用超氧化物歧化酶活性和籽粒产量的影响[J]. *作物学报*, 1992, 18(5): 397–400

[22] 方华,马中义,吕学文,等. 我国玉米抗冷性研究与抗冷杂种优势

利用[J]. *中国农业大学学报*, 1993(4): 37–43

[23] 彭云玲,王亚昕,赵小强,等. 不同玉米自交系耐寒性评价及差异分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(3): 267–280

[24] 扈光辉. 耐冷玉米种质资源的筛选与鉴定[J]. *杂粮作物*, 2008, 28(6): 370–373

[25] 曹士亮,王成波,于滔,等. 低温与土壤水分含量对玉米种子萌发的影响[J]. *中国种业*, 2016(2): 44–48

[26] Itabari J K, Gregory P J, Jones R K. Effects of temperature, soil water status and depth of planting on germination and emergence of maize (*Zea mays*) adapted to semi-arid eastern Kenya[J]. *Experimental Agriculture*, 1993, 29(3): 351–364

[27] 孟宪欣,王洪刚,方仁柱. 水分对玉米种子发芽及苗期生长的影响[J]. *安徽农学通报*, 2008, 14(14): 40, 52

[28] 张同祯,李永生,张国旗,等. 3种标准发芽试验方法对玉米种子发芽的影响[J]. *中国种业*, 2014(12): 43–47

(收稿日期:2018-05-28)