宋国英,刘国一,边巴卓玛. 模拟干旱胁迫下 7 个黑青稞品种的萌发特性与抗旱性评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):84 – 88.
doi:10.15889/j.issn.1002 – 1302.2021.16.014

模拟干旱胁迫下 7 个黑青稞品种的萌发特性与抗旱性评价

宋国英, 刘国一, 边巴卓玛

(省部共建青稞与牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室/西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所,西藏拉萨 850032)

摘要:为选育西藏黑青稞萌发期抗旱性强的品种,采用培养皿纸上发芽法,用 0 ~ 30% 的 PEG – 6000 溶液对黑青稞种子进行预处理,研究 PEG 模拟干旱胁迫对西藏主要地方品种黑青稞各萌发指标的影响。结果表明,除措美县和江孜县黑青稞外,其余参试品种随着干旱胁迫程度的增大,发芽势、发芽率、物质转移率以及抗旱指数均呈现先增加后下降的趋势,较高点对应的 PEG – 6000 浓度主要集中在 5% ~ 10%;当 PEG – 6000 浓度超过 25% 时,各指标呈现急剧下降趋势。综合各项萌发指标,阿里黑青稞、隆子县四棱黑青稞和拉孜县黑青稞的抗旱性较好,而措美黑青稞的抗旱性相对较弱。该项研究对黑青稞在西藏干旱地区种植,增加藏区农民经济收入和粮食产量起着重要作用。

关键词:模拟干旱;黑青稞;萌发期;抗旱性评价

中图分类号: S512.301　　**文献标志码**: A　　**文章编号**:1002 – 1302(2021)16 – 0084 – 04

干旱作为影响作物高产稳产的主要环境因子,对植物的生长发育具有重要影响[1]。近年来,青藏高原气温逐年升高,降水量逐渐减少[2],部分耕地存在季节性缺水问题,而选育抗旱性强的作物品种是解决青藏高原由于干旱引起减产的有效途径之一。

种子萌发期作为植物生活史中的关键阶段,既是种子对水分最敏感的时期[3],也是作物适应干旱胁迫最为关键的时期,决定着立苗和后期的生长发育[4]。种子在萌发和生长初期受到干旱等因素的影响,极易导致作物产量的降低,国内外对作物种质资源的抗旱性研究主要集中在萌发期[5]。该时期可间接反映该植株的抗旱程度[6],是衡量植物抗旱性强弱最重要的时期[7]。对作物萌发期抗旱性的鉴定常采用聚乙二醇(PEG)[8-9],它对促进种子萌发、提高种子活力和抗逆性有一定的作用[10]。PEG – 6000 作为胁迫物质,常用于评价植物的抗旱性[11-15],在小麦[16]、玉米[17]、大麦[18]、黑麦草[19]等作物上应用广泛。

大麦是公认抗逆性较强的作物之一[20-23]。青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.)属于禾本科大麦属大麦的一个变种,成熟时因其籽粒外稃与颖果分离,又称为裸大麦[24],是西藏的主栽作物。在众多青稞品种中,西藏原有地方品种黑青稞近年来因其高产、优质、特色而备受关注,而目前有关该青稞的抗旱性研究未见公开报道[25],主要研究集中在常规种植品种的抗旱性[26-27]。

本研究利用 PEG – 6000 模拟干旱胁迫,以西藏主要地方黑青稞品种为试验材料,对种子萌发期的抗旱性进行评价,旨在为青藏高原抗旱青稞品种的选育提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

参试的 7 个西藏地方品种黑青稞分别为浪卡子县黑青稞、措美县黑青稞、隆子县四棱黑青稞、隆子县六棱黑青稞、拉孜县黑青稞、江孜县黑青稞和阿里地区黑青稞,这 7 个品种均是从西藏各地收集的黑青稞种质资源,均为春性裸大麦。

1.2　试验方法

挑选大小均匀、籽粒饱满、无病虫害的种子,用 75% 的乙醇浸泡 15 min 作消毒处理,然后用蒸馏水冲洗后晾干备用。用 PEG – 6000 模拟干旱胁迫,设 7 个浓度处理,分别为 0、5%、10%、15%、20%、25% 和 30%,设 3 次重复。试验采用培养皿纸上发芽法,培养皿中铺 2 层滤纸(直径为 9 cm)。胁迫处理

收稿日期:2020 – 11 – 13
基金项目:西藏自治区自然科学基金(编号:XZ2019ZRG – 95);西藏自治区重大科技专项(编号:XZ201801NA01 – 3、XZ201901NA05)。
作者简介:宋国英(1982 —),女,山西代县人,副研究员,主要从事饲草作物种植及退化地植被恢复研究。E – mail:tibetguoying@163.com。

用移液枪向培养皿中加入 10 mL 不同浓度的 PEG－6000 水溶液，对照中加入 10 mL 蒸馏水。将已经晾干的种子均匀摆放在培养皿中，加盖，每个处理 30 粒。每天固定时间采用称质量法用蒸馏水补充损失的水分以维持溶液浓度，并保持滤纸水分饱和状态[28]。试验在西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所实验室内进行。

1.3　试验测定指标与计算方法

从 2020 年 7 月 11 日种子置床起观察，7 月 18 日试验结束。每天按时记录发芽种子数（以胚芽或胚根长≥种子长作为发芽标准[29]），计算发芽势和发芽率，各指标取其平均值。试验测定的各项指标及计算方法如下：

发芽率（*GR*）＝第 8 天正常发芽种子数/供试种子数×100%；　　（1）

发芽势（*GE*）＝第 3 天正常发芽种子数/供试种子数×100%；　　（2）

贮藏物质运转率＝（芽干质量＋根干质量）/（芽干质量＋根干质量＋籽粒干质量）×100%。　　（3）

计算时取试验结束时的各项干质量。

参照齐华等对燕麦萌发期抗旱指标的测定方法[30]，结合实际情况稍作修改后，对青稞种子萌发期抗旱指数进行计算：

种子萌发抗旱指数＝干旱胁迫种子萌发抗旱指数（PIS）/对照种子萌发抗旱指数（PID）。　　（4）

其中，种子萌发指数 $PI = 1.00GR3 + 0.75GR4 + 0.5GR6 + 0.25GR8$，GR3、GR4、GR6、GR8 分别表示第 3 天、第 4 天、第 6 天、第 8 天的种子发芽率。

1.4　数据分析

用 Excel 2000 对数据进行整理，用 SPSS 23.0 进行数据分析。

2　结果与分析

2.1　干旱胁迫对西藏主要地方品种黑青稞发芽势的影响

发芽势是检测种子质量的重要指标之一，反映了种子的发芽速度和活力。除受环境因素影响外，主要受种子本身影响，发芽势越大，则表明种子抗旱性越好[27]。对不同 PEG－6000 浓度下 7 个黑青稞品种在第 3 天的发芽情况作图 1。从图 1 中可以看出，除措美和江孜黑青稞的发芽势随着 PEG－6000 浓度的增大而逐渐下降外，其余 5 个黑青稞品种随着 PEG－6000 浓度的增大，发芽势均出现先增大后降低的变化；这 5 个品种中，除浪卡子黑青稞发芽势最大时 PEG－6000 浓度为 10%，其余 4 个黑青稞品种的最大发芽势均出现在 PEG－6000 浓度为 5% 时。可见，除措美和江孜县黑青稞外，在低浓度（5%～10%）的干旱胁迫下，其余 5 个黑青稞品种均对干旱胁迫表现出一定的适应性；在 PEG－6000 浓度为 25% 以上时，参试黑青稞品种的发芽势急剧下降；从 PEG－6000 浓度为 5% 的发芽势来看，抗旱性表现为阿里黑青稞＞拉孜黑青稞＞隆子四棱黑青稞（或江孜黑青稞）＞隆子六棱黑青稞＞措美黑青稞＞浪卡子黑青稞。

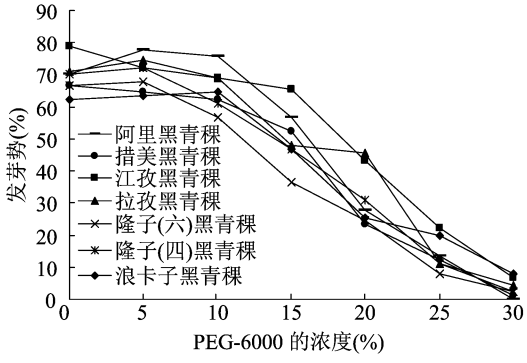


图1　7 个黑青稞品种在不同 PEG-6000 浓度下的发芽势

2.2　干旱胁迫对西藏主要地方品种黑青稞发芽率的影响

发芽率的高低影响作物播种后的出苗整齐情况，直接决定其产量的高低。对参试品种在不同 PEG－6000 浓度下第 8 天的发芽率作表 1，可以看出，西藏主要地方品种黑青稞对不同浓度 PEG－6000 干旱胁迫的响应有所不同。措美和江孜县黑青稞随着 PEG－6000 浓度的增大发芽率逐渐下降；其余 5 个参试品种的发芽率随着 PEG－6000 浓度的增大均表现出先增大后降低的趋势，发芽率较高的品种对应的 PEG－6000 浓度在 5%～10%，即一定浓度的干旱胁迫下其发芽率高于对照，这些品种对 5%～10% 的 PEG－6000 浓度具有较好的适应性；当 PEG－6000 浓度为 25% 以上时，参试的黑青稞品种（除隆子县六棱黑青稞外）发芽率显著下降（$P < 0.05$）；当 PEG－6000 浓度达到 30% 时，参试品种都表现出较好的干旱适应性，隆子县四棱黑青稞的干旱适应性最好，发芽率高达 54.44%。从 PEG－6000 浓度为 5% 的发芽率来看，西藏主要地方品种黑青稞的抗旱性表现为阿里黑青稞＞隆子县四棱黑青稞＞江孜黑青稞＞拉孜黑青稞（或措美黑青稞）＞隆子县六棱黑青稞＞浪卡子黑青稞。

表 1　PEG－6000 干旱胁迫下对 7 个黑青稞品种发芽率的影响

PEG－6000 浓度(%)	发芽率(%)						
	浪卡子黑青稞	阿里黑青稞	措美黑青稞	江孜黑青稞	拉孜黑青稞	隆子县六棱黑青稞	隆子县四棱黑青稞
0	66.67bB	84.44bB	83.33aA	90.00aA	80.00aA	80.00aA	84.44aA
5	75.56aA	94.44aA	82.22aAB	83.33aA	82.22aA	81.11aA	86.67aA
10	76.67aA	90.00aAbB	77.78aAbB	83.33aA	82.22aA	75.56aAB	81.11aA
15	67.78bB	86.67bBA	73.33cCbB	71.11bB	78.89aAB	67.78bB	80.00aAB
20	66.67bB	70.00cC	67.78cC	66.67bBc	70.00bCB	41.11cC	71.11bBC
25	58.89cC	60.00dD	56.67dD	62.22cB	65.56bC	38.89cC	66.67bC
30	38.89dD	44.44eE	38.89eE	42.22dC	44.40cD	37.78cC	54.44cD

注:同列数据后不同小写字母和大写字母分别表示处理间达显著差异($P<0.05$)和极显著差异($P<0.01$)。

2.3　干旱胁迫对参试品种幼苗生长的影响

物质转移率反映了种子萌发后植物的生长状态。通过测定第 8 天试验结束时干旱胁迫下参试品种的种子质量和根茎质量计算其物质转移率,可以更好地反映其在干旱胁迫下幼苗的长势,从而判定其对干旱的适应程度。从图 2 可以看出,种子生长至第 8 天时,物质转移率在 0.249 ~ 0.437;不同品种的物质转移率受胁迫程度不同而不同,除措美和江孜黑青稞物质转移率随着干旱胁迫浓度的增加呈下降趋势外,其余 5 个品种随着干旱胁迫浓度的增加其物质转移率均呈现出先升高后下降的变化;物质转移率最高时对应的 PEG－6000 浓度主要集中在 5% ~10%。发现该项结果与发芽势、发芽势的结果一致。

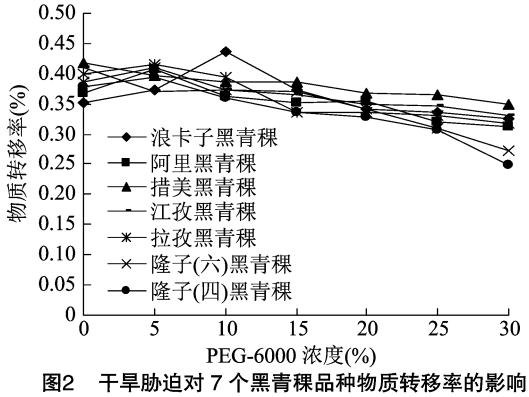


图2　干旱胁迫对 7 个黑青稞品种物质转移率的影响

2.4　PEG－6000 模拟干旱胁迫下对参试黑青稞品种抗旱指数的影响

发芽率和发芽势较好地反映了种子活力的高低,抗旱指数反映了抗旱性的强弱[31]。抗旱性强的品种萌发抗旱指数较大,抗旱性弱的品种萌发抗旱指数较小,品种间存在一定的差异[30]。从图 3 可以看出,除措美和江孜黑青稞的抗旱指数随着 PEG－6000 浓度的增加呈下降趋势外,其余参试品种的抗旱指数均随着 PEG－6000 浓度的增加表现出先上升后下降的趋势;当 PEG－6000 浓度在 25% 以上时,参试品种的抗旱指数急剧下降;参试品种的最大抗旱指数对应的 PEG－6000 浓度主要集中在 5%,即轻度的干旱胁迫能够促进黑青稞种子抗旱性的提高。比较该浓度下参试品种的抗旱指数高低为阿里黑青稞 > 浪卡子黑青稞 > 拉孜黑青稞 > 隆子四棱黑青稞 > 隆子六棱黑青稞 > 措美黑青稞 > 江孜黑青稞 > 。当 PEG－6000 浓度为 10% 时,浪卡子黑青稞的抗旱指数最高,抗旱性最好。

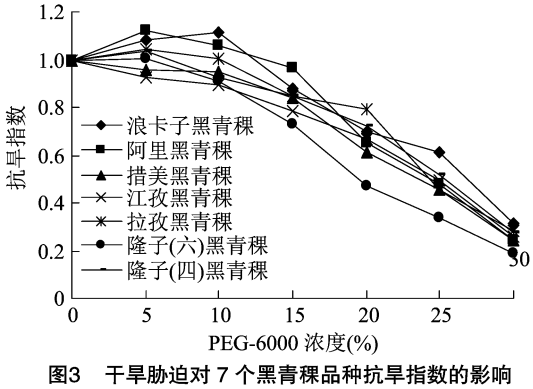


图3　干旱胁迫对 7 个黑青稞品种抗旱指数的影响

2.5　PEG－6000 模拟干旱胁迫下抗旱性评价指标的相关性分析

对参试品种在 PEG－6000 干旱胁迫下各萌发指标作相关性分析见表 2,可以看出,除物质转移率与种子发芽率之间呈显著正相关外,其余各项指标间均呈现极显著正相关关系,其中抗旱指数与发芽率以及发芽势的相关性大于其他各项指标之间的相关性,相关系数最高为 0.964。

表 2　对干旱胁迫下各萌发指标作相关性分析

指标	相关系数			
	发芽势	发芽率	抗旱指数	物质转移率
发芽势	1.000			
发芽率	0.897**	1.000		
抗旱指数	0.964**	0.924**	1.000	
物质转移率	0.803**	0.702*	0.806**	1.000

注：* 表示不同指标间达显著相关性；** 表示不同指标间达极显著相关性。

3　讨论与结论

研究发现，对西藏主要地方品种黑青稞在种子萌发期进行干旱胁迫，除措美和江孜黑青稞外，其余参试品种各项萌发指标随着 PEG－6000 浓度的增加均表现出先上升后下降的变化；各项萌发指标如发芽率、发芽势、物质转移率以及抗旱指数最高时对应的 PEG－6000 浓度主要集中在 5% ～10%，即一定浓度的干旱胁迫对某些黑青稞品种的萌发生长产生了积极的影响。该项研究结果与前人研究的一定程度的干旱可以提高种子发芽率和幼苗活力的观点[32－34]较为相似。郁飞燕等对小麦的抗旱性研究认为，适度的干旱活化了小麦种子的一些细胞器和酶[35]。当 PEG－6000 浓度为 25% 以上时，参试的黑青稞品种（除隆子县六棱黑青稞外）发芽率急剧下降，当浓度为 30% 时并没有完全抑制参试品种的种子活力，发芽率在 37% 以上，最高可达 54%，该项研究与李淑梅的研究结果[18]一致，而与张毅等研究西藏白青稞对干旱的耐受性结果[27]不太一致，张毅研究得出西拉 22 号、西拉 19 号和山青 9 号在 PEG－6000 浓度在 15% 以上时发芽率急剧下降，20% 时已不能正常发芽，这可能是品种间自身的遗传因素所致。

综合参试品种在萌发期的各项活力指标，本研究初步认为，阿里黑青稞、隆子县四棱黑青稞和拉孜县黑青稞的抗旱性较好，而措美黑青稞的抗旱性相对较弱。但是该项研究结果只是针对种子萌发期，后期仍需开展其苗期的抗旱胁迫来综合评价一个品种的抗旱性。

参考文献：

[1] Moore P D. The ecology of plants[M]. 2nd ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates Inc, 2006.

[2] 周天财，孙　建，于　欢. 1980 — 2013 年青藏高原气候时空变化特征研究[J]. 成都信息工程大学学报，2017，32(5)：524－531.

[3] Dodd G L, Donovan L A. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs[J]. American Journal of Botany, 1999, 86(8): 1146－1153.

[4] Ashraf M. Inducing drought tolerance in plants: recent advances[J]. Biotechnology Advances, 2010, 28(1): 169－183.

[5] 孙欢欢，韩兆雪，谭登峰，等. 新培育玉米自交系苗期生理生化指标与其抗旱性综合评价[J]. 干旱地区农业研究，2016，34(5)：9－14，53.

[6] 宋丽华，刘雯雯，陈淑芬. PEG 处理对臭椿种子萌发的影响[J]. 农业科学研究，2005，26(4)：25－29.

[7] Kazuo T, Li X, Kenji O. Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium capsicum* (Chenopodiaceae)[J]. Annals of Botany, 2000, 85(3): 391－396.

[8] 景蕊莲，昌小平. 用渗透胁迫鉴定小麦种子萌发期抗旱性的方法分析[J]. 植物遗传资源学报，2003，4(4)：292－296.

[9] 朱学海，宋燕春，赵治海，等. 用渗透剂胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究[J]. 植物遗传资源学报，2008，9(1)：62－67.

[10] 郑淮兵，董　丽，郑彩霞. 低温和 PEG“渗控”预处理促进石楠种子萌发的研究[J]. 林业科学，2005，41(3)：54－57.

[11] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51(5): 914－916.

[12] 安永平，强爱玲，张媛媛，等. 渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究[J]. 植物遗传资源学报，2006，7(4)：421－426.

[13] 贾寿山，朱俊刚，王曙光，等. 山西小麦地方品种萌发期的抗旱性[J]. 华北农学报，2011，26(2)：213－217.

[14] 刘　佳，徐昌旭，曹卫东，等. PEG 胁迫下 15 份紫云英种质材料萌发期的抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报，2012，34(6)：18－25.

[15] 李　晶，马书荣，阎秀峰，等. 干旱胁迫对红松幼苗针叶超微结构的影响[J]. 植物研究，2000，20(3)：324－327.

[16] 王　瑾，刘桂茹，杨学举. PEG 胁迫下小麦再生植株根系特性与抗旱性的关系[J]. 麦类作物学报，2006，26(3)：117－119.

[17] 赵玉坤，高根来，王向东，等. PEG 模拟干旱胁迫条件下玉米种子的萌发特性研究[J]. 农学学报，2014，4(7)：1－4，12.

[18] 李淑梅，董丽平，王付娟. PEG 模拟干旱胁迫对大麦种子萌发及生理特性的响应[J]. 种子，2016，35(10)：99－101.

[19] 孙艳茹，石　屹，陈国军，等. PEG 模拟干旱胁迫下 8 种绿肥作物萌发特性与抗旱性评价[J]. 草业学报，2015，24(3)：89－98.

[20] González A, Martn I, Ayerbe L, et al. Barley yield in water－stress conditions[J]. Field Crops Research, 1999, 62(1): 23－34.

[21] Sinebo W. Trade off between yield increase and yield stability in three decades of barley breeding in a tropical highland environment[J]. Field Crops Research, 2005, 92(1): 35－52.

[22] Katerji N, Mastrorilli M, van Hoorn J W V, et al. Durum wheat and barley productivity in saline－drought environments[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(1): 1－9.

[23] 汪军成，孟亚雄，徐先良，等. 大麦苗期抗旱性鉴定及评价[J]. 干旱地区农业研究，2013，31(4)：135－143.

[24] 郭本兆. 青海经济植物志[M]. 西宁：青海人民出版社，1987.

[25] 姚晓华，吴昆仑. PEG 预处理对青稞种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报，2012，32(7)：1403－1411.

孙益豪,金　涛,张家宏. 稻 - 蛙鳅综合种养模式的技术集成及经济效益分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):88 - 92.
doi:10.15889/j.issn.1002 - 1302.2021.16.015

稻 - 蛙鳅综合种养模式的技术集成及经济效益分析

孙益豪[1], 金　涛[1], 张家宏[2]
(1. 扬州大学农学院,江苏扬州 225009; 2. 江苏里下河地区农业科学研究所,江苏扬州 225007)

摘要:稻 - 蛙鳅综合种养模式是一种高效利用稻田时间和空间开展黑斑蛙和泥鳅生态健康养殖的新型种养模式。阐述稻 - 蛙鳅综合种养模式的田间配套工程建设、绿色种养、绿色营养、绿色防控等技术措施,并运用投入 - 产出分析法,比较稻 - 蛙鳅共作与常规稻作的经济效益以及投入的物质与服务费成本项(苗种投入、物料投入、租赁服务以及设施防护)。结果表明,稻 - 蛙鳅共作模式与常规稻作种植产投比分别为 1.98、1.12,前者经济效益较高;物质与服务费成本项中,虽然稻 - 蛙鳅共作投入较高,但化学农药及化肥实现零投入,具有良好的生态效益。因此,推广该绿色种养模式,对提高稻田资源利用率和农产品质量、促进农业增效和农民增收大有裨益。

关键词:稻 - 蛙鳅;综合种养;模式;效益分析;推广
中图分类号:S966.3;S964.2　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1002 - 1302(2021)16 - 0088 - 05

我国稻渔综合种养历史悠久,江浙一带稻田养鱼历史可追溯到 2 000 年前[1]。近年来,稻渔综合种养模式已成为农业农村部首推的绿色生态发展、转方式调结构的重要内容。随着我国生态农业的发展和人们对优质食品需求量的增加,稻田综合种养已由“稻鱼共生”发展成“稻虾、稻蟹、稻鸭”等多种模式[2-6]。稻蛙、稻鳅 2 种模式也有过相关报道[7-8],并在此基础上进一步开拓发展稻 - 蛙鳅综合种养模式,该模式是将水稻种植与黑斑蛙和泥鳅有机结合,充分利用稻田资源进行纵向养殖,实现化学农药和化肥零投入,耗水量减少,收获稻、蛙、鳅农渔产品,达到“一田三收”的效果,进而使收益达到最大化。江苏省高邮市界首镇大昌村处于江苏省里下河中部地区,境内江、河、湖、沟水系纵横交错,水资源极其丰富,种植业和养殖业发达[9]。依托里下河地区的自然资源禀赋发展稻 - 蛙鳅综合种养模式,在稻田田间工程、水稻种植、蛙鳅饲养技术等方面经验丰富,并取得显著成效,以期为稻 - 蛙鳅综合种养模式推广提供实践与推广依据。

收稿日期:2021 - 01 - 06
基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)(编号:BE2018355)。
作者简介:孙益豪(1994—),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事农业管理研究。E - mail:1249208231@qq.com。
通信作者:张家宏,硕士,研究员,主要从事生态农业技术和产品的研发及推广研究。E - mail:yzzhangjh@126.com。

1　稻 - 蛙鳅综合种养模式田间工程

1.1　稻田选择

稻 - 蛙鳅综合种养模式宜选择土质较好(土质疏松肥沃,土壤质地为保水、保肥性好的壤土和黏

[26]王玉林,徐齐君,原红军,等. PEG 模拟干旱胁迫处理对青稞幼苗生长和生理特性的影响[J]. 大麦与谷类科学,2018,35(1):6 - 12,42.
[27]张　毅,韩玉娥,张银乐,等. PEG - 6000 模拟干旱胁迫下 3 个青稞品种的萌发特性及抗旱性评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):139 - 142.
[28]陈　新,宋高原,张宗文,等. PEG - 6000 胁迫下裸燕麦萌发期抗旱性鉴定与评价[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(6):1188 - 1195.
[29]姚晓华,吴昆仑. PEG 预处理对青稞种子萌发、幼苗生长和抗旱性的影响[J]. 中国农业大学学报,2013,18(6):80 - 87.
[30]齐　华,许　晶,孟显华,等. 水分胁迫下燕麦萌芽期抗旱指标的研究[J]. 种子,2009,28(7):7 - 10.
[31]Sharma A D,Rathore S,Srinivasan K,et al. Comparison of various seed priming methods for seed germination,seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench)[J]. Scientia Horticulturae,2014,165(22):75 - 81.
[32]赫福霞,李柱刚,阎秀峰,等. 渗透胁迫条件下玉米萌芽期抗旱性研究[J]. 作物杂志,2014(5):144 - 147.
[33]杨子光,张灿军,冀天会,等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 IV 萌发期抗旱指标的比较研究[J]. 中国农学通报,2007,23(12):173 - 176.
[34]敬礼恒,陈光辉,刘利成,等. 水稻种子萌发期的抗旱性鉴定指标研究[J]. 杂交水稻,2014,29(3):65 - 69.
[35]郁飞燕,李保峰,李　巍,等. PEG - 6000 胁迫对不同品系小麦种子萌发的影响[J]. 山东农业科学,2012,44(10):51 - 53.