

小麦氮、磷高效新品系的鉴定和评价

袁园园 朱晓梁 李彪 戴兵 段雪梅 韩丽苹 谢永法 孟昭京

(济南市农业科学研究院, 山东济南 250316)

摘要:提高肥料利用效率、降低施肥量是农业可持续发展迫切需要解决的问题。为鉴定和培育氮、磷高效新品系,设置正常、低氮和低磷3个养分处理进行营养池栽培试验,以济麦22为对照,对12个自育小麦品系进行氮、磷效率鉴定和评价。以氮、磷效率指数对供试材料进行评价,鉴定出4个氮、磷双高效品系和6个磷高效品系;以籽粒氮、磷利用效率对供试材料进行评价,发现正常氮和低氮条件下的氮高效品系有2个,分别是JK60871和JK64109;低磷条件下有7个品系的籽粒磷利用效率高于对照10%以上,正常磷条件下磷利用效率在品系间的差异不明显。综合以上2种评价结果,JK60871为相对稳定的氮、磷双高效品系,JK60787、JK61879、JK61593、JK64109、JK61560和JK61574为相对稳定的磷高效品系。

关键词:小麦;养分效率;氮;磷

小麦是我国重要的粮食作物之一,国家统计局统计数字显示,2021 年小麦播种面积 2291.1 万 hm^2 ,总产量 1.3434 亿 t,单位面积产量 $5863.4\text{kg}/\text{hm}^2$ 。氮和磷是植物生长的重要营养元素,直接影响小麦的产量和品质,因此氮肥和磷肥在实际生产中施用量较大。但氮肥和磷肥的利用效率较低,其中氮肥利用效率只有 21.2%~35.9%,我国每年约有超过 1500 万 t 氮素通过不同途径损失^[1];而磷肥利用率仅有 15%,大量磷素被土壤固定不能被作物吸收^[2]。过多的氮肥、磷肥会导致资源浪费、土壤板结、水地富营养化和大气污染等环境问题^[3]。因此提高小麦养分利用率,降低施肥量是发展绿色可持续农业迫切需要解决的问题。而挖掘品种对氮、磷的吸收利用潜力,培育和鉴定氮、磷高效新品系是提高肥料利用效率的重要途径之一。

小麦对氮素和磷素的吸收和利用效率存在广泛的品种差异。赵瑞等^[4]发现土壤氮水平对小麦产量相关性状存在显著影响;李丹丹等^[5]发现不同小麦基因型的植株氮积累量存在显著差异。张祥池等^[6]发现相同磷处理下,不同小麦品种对磷素的吸收和利用能力存在差异;不同磷处理条件下,同一小麦品种对磷元素的吸收和利用能力也存在差异。近年来,济南市农业科学研究院对黄淮麦区的100余份品种(系)进行苗期和成株期的氮效率和磷效率

评价,分别筛选出了良星 99 等氮高效和临麦 6 号等磷高效品种(系)^[7-8]。以这些品种(系)为亲本进行杂交,培育出了一些综合农艺性状优良的新品系。本研究以其中的 12 份优良品系为材料,以济麦 22 为对照品种,通过正常、低氮和低磷 3 个养分处理的营养池栽培试验,对小麦成株期的产量性状、氮效率性状和磷效率性状进行鉴定,明确不同养分处理条件下氮、磷效率的品种差异,以筛选出氮、磷高效品系,为氮、磷高效育种储备材料基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 采用济南市农业科学研究院自主选育的 12 个 F_9 小麦优良品系为材料,以济麦 22 为对照 (CK),参试品系及其亲本组合详见表 1。

1.2 试验设计 设置正常、低氮、低磷 3 个处理。施肥前正常处理土壤的氮、磷、钾含量分别为 111.60mg/kg、21.82mg/kg 和 273.71mg/kg, 低氮处理土壤的速效氮、磷、钾含量分别为 66.40mg/kg、20.68mg/kg 和 202.61mg/kg, 低磷处理土壤的速效氮、磷、钾含量分别为 80.24mg/kg、18.68mg/kg 和 233.85mg/kg (表 2)。

1.3 田间种植

试验在济南市农业科学研究院稼禾园内的营养池进行,营养池面积为 784m²,各小区之间用 1.5 m 深的水泥墙隔开,已进行多年处理,地力条件均匀一致。每个参试品系种 1 个小区,小区长 6m、宽 1.2m,小区面积 7.2m²,播种 6 行,完全随机区组排列,重复 2 次。按照基本苗 18 万 /667m² 统

表 1 参试小麦品系及其亲本组合

材料	系谱	参加试验	品种类型
JK60787	泰农 18/ 临麦 6 号 // 良星 99/ 济麦 20	山东省水地预试验	-
JK60847	泰农 18/ 临麦 6 号 // 良星 99/ 济麦 20	-	-
JK60871	泰农 18/ 良星 99	黄淮北片水地品比试验	中筋
JK61560	泰农 18/ 临麦 6 号 //DH21/ 泰农 18	-	-
JK61574	泰农 18/ 临麦 6 号 //DH21/ 泰农 18	-	-
JK61593	泰农 18/ 临麦 6 号 //DH21/ 泰农 18	-	-
JK61879	鲁麦 8 号 / 临麦 6 号	-	-
JK64109	泰农 18/ 鲁原 502	黄淮北片水地区域试验、山东省水地区域试验	中强筋
JK64628	泰农 18/ 良星 99	黄淮冬麦区旱肥区域试验	中强筋
JK64513-2	临麦 6 号 / 泰农 18// 良星 99/ 泰农 18	黄淮北片水地品比试验	中筋
JK64637-1-5	临麦 6 号 / 泰农 18// 良星 99/ 泰农 18	山东省水地区域试验	-
JK65485-1	济麦 22/ 良星 77	-	-

- 表示尚未参试或尚未检测

表 2 不同营养池的基础养分含量

处理	土壤速效氮 (mg/kg)	土壤速效磷 (mg/kg)	土壤速效钾 (mg/kg)
正常	111.60	21.82	273.71
低氮	66.40	20.68	202.61
低磷	80.24	18.68	233.85

一计算播量。2020 年 10 月 13 日播种,2021 年 6 月 5 日收获。其他措施同常规田间管理。

1.4 测定指标及方法 测定性状有 3 类,分别是产量性状、氮效率性状和磷效率性状(表 3)。产量性状包括不同处理下的千粒重和小区产量。氮效率性状包括以产量为基础的氮敏感系数、氮效率指

表 3 营养池栽培试验测定性状及其测定方法

性状	测定方法
千粒重(g)	随机取的 3 次 200 粒样本,用 1/1000 天平称量,求平均值
小区产量(kg)	按小区人工收获穗子,用小区脱粒机分别脱粒,计算 2 个重复的平均值
千粒重氮敏感系数	低氮处理下的千粒重 / 正常处理下的千粒重
产量氮敏感系数	低氮处理下小区产量 / 正常处理下小区产量
平均氮敏感系数	(供试材料千粒重氮敏感系数 + 供试材料产量氮敏感系数) / 2
千粒重氮效率指数	(供试材料低氮处理下的千粒重 × 供试材料千粒重氮敏感系数) / (对照品种低氮处理下的千粒重 × 对照品种千粒重敏感系数)
产量氮效率指数	(供试材料低氮处理下的小区产量 × 供试材料产量氮敏感系数) / (对照品种低氮处理下的小区产量 × 对照品种产量敏感系数)
氮效率指数	(千粒重氮效率指数 + 产量氮效率指数) / 2
千粒重磷敏感系数	低磷处理下的千粒重 / 正常处理下磷千粒重
产量磷敏感系数	低磷处理下小区产量 / 正常处理下小区产量
平均磷敏感系数	(供试材料千粒重磷敏感系数 + 供试材料产量磷敏感系数) / 2
千粒重磷效率指数	(供试材料低磷处理下的千粒重 × 供试材料千粒重磷敏感系数) / (对照品种低磷处理下的千粒重 × 对照品种千粒重敏感系数)
产量磷效率指数	(供试材料低磷处理下的小区产量 × 供试材料产量磷敏感系数) / (对照品种低磷处理下的小区产量 × 对照品种产量敏感系数)
磷效率指数	(千粒重磷效率指数 + 产量磷效率指数) / 2
籽粒氮含量(%)	用浓硫酸和过氧化氢消解,凯氏定氮法测定
籽粒氮利用效率	小区产量 / 籽粒氮含量
籽粒磷含量(%)	利用 Lambda 25 UV/VIS 分光光度计测定
籽粒磷利用效率	小区产量 / 籽粒磷含量

数^[9]以及以籽粒氮含量和产量为基础的籽粒氮利用效率,氮素含量用凯氏定氮法测定。磷效率性状包括以产量为基础的磷敏感系数、磷效率指数^[9]以及以籽粒磷含量和产量为基础的籽粒磷利用效率,磷素含量用钒钼黄比色法测定。具体测定性状和计算方法见表3。

1.5 试验数据统计分析 采用 Excel 和 SPSS 17.0 软件对调查数据进行统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 表型变异分析 不同肥料处理对千粒重、小区产量、籽粒氮含量、籽粒氮利用效率、籽粒磷含量和籽粒磷利用效率这6个性状的影响不同(表4)。方差分析(表5)发现与正常处理相比,低磷处理显著降低不同品系的千粒重,低氮处理显著降低了不同品系的小区产量,但低磷和低氮处理对籽粒磷含量、籽粒磷利用效率、籽粒氮含量和籽粒氮利用效

率的影响不显著。不同品系之间在千粒重上存在极显著差异,小区产量上存在显著差异,籽粒氮含量上存在显著差异,籽粒氮利用效率上存在极显著差异。

2.2 氮、磷敏感系数和效率指数鉴定

2.2.1 不同品系的氮、磷敏感系数和效率指数 12份供试材料的平均氮敏感系数为1.00,高于对照品种济麦22(0.95),平均氮效率指数1.09,属于中等水平(0.90~1.10)。12份供试材料的平均磷敏感系数1.01,高于对照品种济麦22(0.89),平均磷效率指数1.19,高于1.10,属于较好水平(表6)。说明与对照品种济麦22相比,12份小麦品系的氮效率平均水平中等,磷效率平均水平较高。

2.2.2 不同品系的氮、磷效率指数评价 以济麦22为对照品种,对12个自主选育的优良品系进行氮、磷效率指数鉴定。发现JK60787(山东省预试)、

表4 不同品系在不同处理下的产量、籽粒氮、磷含量及利用效率表现

性状	处理	平均值	标准差	变异系数(%)	最大值	最小值
千粒重(g)	正常	50.66	1.87	3.69	53.88	47.63
	低氮	49.99	1.95	3.90	53.00	46.50
	低磷	49.90	2.31	4.63	55.50	45.88
小区产量(kg)	正常	8.36	0.67	7.96	9.33	7.44
	低氮	8.32	0.65	7.82	9.18	6.84
	低磷	8.47	0.52	6.11	9.31	7.71
籽粒氮含量(%)	正常	1.93	0.19	10.05	2.19	1.51
	低氮	1.94	0.10	5.09	2.11	1.77
籽粒氮利用效率	正常	4.40	0.66	14.95	5.77	3.52
	低氮	4.32	0.37	8.57	4.98	3.55
籽粒磷含量(%)	正常	0.67	0.06	8.21	0.79	0.62
	低磷	0.61	0.03	4.48	0.66	0.56
籽粒磷利用效率	正常	12.55	0.95	7.57	13.94	11.37
	低磷	14.33	1.52	10.62	17.77	12.45

表5 产量、籽粒氮、磷含量及利用效率性状在基因型和处理之间差异显著性

性状	变异来源		性状	变异来源	
	基因型	低氮处理		基因型	低磷处理
千粒重	6.54**	0.19	千粒重	5.10**	7.23*
小区产量	3.82*	6.23*	小区产量	3.02*	3.34
籽粒氮含量	3.42*	2.68	籽粒磷含量	0.32	0.42
籽粒氮利用效率	6.51**	0.39	籽粒磷利用效率	0.56	2.44

**和*分别表示0.01、0.05水平上差异显著

表6 不同品系的氮、磷敏感系数和效率指数

性状	平均值	标准差	变异系数(%)	最大值	最小值	济麦22(CK)
千粒重氮敏感系数	0.99	0.02	2.43	1.04	0.94	0.97
小区产量氮敏感系数	1.01	0.09	9.10	1.20	0.89	0.93
平均氮敏感系数	1.00	0.05	4.94	1.11	0.94	0.95
千粒重氮效率指数	1.03	0.06	5.83	1.15	0.94	
小区产量氮效率指数	1.07	0.16	15.04	1.34	0.77	
平均氮效率指数	1.09	0.15	13.96	1.47	0.88	
千粒重磷敏感系数	0.98	0.03	3.56	1.08	0.95	0.94
小区产量磷敏感系数	1.03	0.08	7.41	1.14	0.88	0.84
平均磷敏感系数	1.01	0.05	4.68	1.11	0.93	0.89
千粒重磷效率指数	1.08	0.08	7.77	1.32	0.97	
小区产量磷效率指数	1.30	0.20	15.04	1.52	1.02	
平均磷效率指数	1.19	0.11	9.55	1.41	1.04	

JK60871、JK61593和JK61879的氮效率指数和磷效率指数均 ≥ 1.1 (表7和表8),氮效率和磷效率评价为好,属于氮、磷双高效品系。JK64109(国家和山东省区试)、JK61560、JK61574、JK65485-1和JK64513-2的磷效率指数 ≥ 1.1 ,磷效率评价为好,属于磷高效品系。

2.3 籽粒氮、磷含量及利用效率鉴定

2.3.1 籽粒氮含量及利用效率 以济麦22为对照品种,对12个品系在正常氮和低氮处理下的籽粒含氮量进行了测定(表9)。在正常处理下,JK60871、

JK64109、JK61593和JK64637-1-5的籽粒氮利用效率分别为5.77、5.58、4.71和4.37,比济麦22的籽粒氮利用效率4.33分别高了33.26%、28.87%、8.78%和0.92%。在低氮处理下,JK60871、JK64109、JK61879、JK61593和64637-1-5的籽粒氮利用效率分别为4.98、4.78、4.65、4.45和4.45,比对照济麦22的籽粒氮利用效率4.38分别高出13.70%、9.13%、6.16%、1.60%和1.60%,说明这5个品系在正常氮和低氮条件下单位氮浓度支撑的产量均较高,即氮利用效率较高。

表7 各参试品系的氮敏感系数、氮效率指数及评价等级

材料	千粒重(g)		小区产量(kg)		千粒重氮敏感系数	产量氮敏感系数	平均氮敏感系数	千粒重氮效率指数	产量氮效率指数	氮效率指数	评价指标	等级
	低氮	正常	低氮	正常								
JK60787	52.00	51.38	8.90	7.44	1.01	1.20	1.11	1.10	1.34	1.22	≥ 1.1	好
JK60847	50.13	50.63	7.46	7.57	0.99	0.99	0.99	1.03	0.92	0.98	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK60871	53.00	50.75	9.18	8.73	1.04	1.05	1.05	1.15	1.21	1.18	≥ 1.1	好
JK61560	51.63	52.00	8.29	8.10	0.99	1.02	1.01	1.07	1.07	1.07	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK61574	50.75	53.88	8.32	8.35	0.94	1.00	0.97	0.99	1.04	1.02	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK61593	48.13	49.50	8.58	8.96	0.97	0.96	0.97	0.97	1.03	1.47	≥ 1.1	好
JK64109	47.75	47.63	8.66	9.33	1.00	0.93	0.97	1.00	1.01	1.00	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK64628	50.50	50.38	8.08	9.05	1.00	0.89	0.95	1.05	0.91	0.98	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK64513-2	48.88	50.13	6.84	7.66	0.98	0.89	0.94	0.99	0.77	0.88	<0.9	差
JK64637-1-5	52.40	53.38	8.68	8.64	0.98	1.00	0.99	1.07	1.10	1.08	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK65485-1	48.88	49.63	8.13	7.54	0.98	1.08	1.03	1.00	1.10	1.05	≥ 0.9 、 <1.1	中
JK61879	46.50	47.63	9.13	8.16	0.98	1.12	1.05	0.94	1.28	1.11	≥ 1.1	好
济麦22(CK)	49.75	51.5	8.52	9.12	0.97	0.93	0.95					

表 8 各参试品系的磷敏感系数、磷效率指数及评价等级

材料	千粒重(g)		小区产量(kg)		千粒重磷敏感系数	产量磷敏感系数	平均磷敏感系数	千粒重磷效率指数	产量磷效率指数	磷效率指数	评价指标	等级
	低磷	正常	低磷	正常								
JK60787	55.50	51.38	8.50	7.44	1.08	1.14	1.11	1.32	1.51	1.41	≥ 1.1	好
JK60847	50.00	50.63	8.20	7.57	0.99	1.08	1.04	1.09	1.04	1.06	≥ 0.9、<1.1	中
JK60871	49.75	50.75	7.98	8.73	0.98	0.91	0.95	1.07	1.13	1.10	≥ 1.1	好
JK61560	49.50	52.00	8.73	8.10	0.95	1.08	1.02	1.04	1.46	1.25	≥ 1.1	好
JK61574	51.25	53.88	8.84	8.35	0.95	1.06	1.01	1.07	1.45	1.26	≥ 1.1	好
JK61593	48.63	49.50	9.22	8.96	0.98	1.03	1.01	1.05	1.47	1.26	≥ 1.1	好
JK64109	45.88	47.63	9.31	9.33	0.96	1.00	0.98	0.97	1.44	1.21	≥ 1.1	好
JK64628	49.38	50.38	7.94	9.05	0.98	0.88	0.93	1.07	1.08	1.07	≥ 0.9、<1.1	中
JK64513-2	49.13	50.13	7.71	7.66	0.98	1.01	1.00	1.06	1.21	1.13	≥ 1.1	好
JK64637-1-5	52.25	53.38	8.34	8.64	0.98	0.97	0.98	1.06	1.02	1.04	≥ 0.9、<1.1	中
JK65485-1	47.88	49.63	7.88	7.54	0.96	1.05	1.01	1.02	1.28	1.15	≥ 1.1	好
JK61879	48.25	47.63	8.92	8.16	1.01	1.09	1.05	1.08	1.52	1.30	≥ 1.1	好
济麦 22 (CK)	48.17	51.5	7.7	9.12	0.94	0.84	0.89					

表 9 正常氮和低氮处理下的籽粒氮利用效率

材料	正常处理			低氮处理		
	籽粒氮含量(%)	小区产量(kg)	籽粒氮利用效率	籽粒氮含量(%)	小区产量(kg)	籽粒氮利用效率
济麦 22 (CK)	2.11	9.12	4.33	1.94	8.52	4.38
JK60787	1.87	7.44	3.97	2.11	8.90	4.22
JK60847	2.15	7.57	3.52	2.10	7.46	3.55
JK60871	1.51	8.73	5.77	1.84	9.18	4.98
JK61560	2.19	8.10	3.71	1.99	8.29	4.17
JK61574	2.05	8.35	4.08	1.96	8.32	4.25
JK61593	1.90	8.96	4.71	1.93	8.58	4.45
JK61879	1.92	8.16	4.24	1.96	9.13	4.65
JK64109	1.67	9.33	5.58	1.81	8.66	4.78
JK64628	2.11	9.05	4.29	1.92	8.08	4.22
JK64513-2	1.87	7.66	4.10	1.77	6.84	3.86
JK64637-1-5	1.98	8.64	4.37	1.95	8.68	4.45
JK65485-1	1.89	7.54	3.99	1.89	8.13	4.31

2.3.2 籽粒磷含量及利用效率 以济麦 22 为对照品种,对 JK60787 等 12 个品系在正常磷和低磷处理下的籽粒含磷量进行了测定(表 10)。在正常磷处理下,只有 JK61593 的籽粒磷利用效率比对照济麦 22 的籽粒磷利用效率高,其他品系的籽粒磷利用效率均低于对照。但在低磷处理下,12 个品系的籽粒磷利用效率均大于对照,其中 7 个品系的籽粒磷利用效率高于对照 10% 以上,即 JK64109、

JK61879、JK60787、JK60871、JK61560、JK61593 和 JK61574,籽粒磷利用效率分别为 16.73、14.71、14.31、14.27、14.20、13.97 和 13.93,比对照济麦 22 的籽粒磷利用效率(12.45)分别高出 34.38%、18.15%、14.94%、14.62%、14.06%、12.21% 和 11.89%,说明这 7 个品系在低磷条件下单位磷浓度支撑的产量较高,对磷的利用效率较高。

表 10 正常磷和低磷处理下的籽粒磷利用效率

材料	正常磷处理			低磷处理		
	籽粒磷含量(%)	小区产量(kg)	籽粒磷利用效率	籽粒磷含量(%)	小区产量(kg)	籽粒磷利用效率
济麦 22 (CK)	0.66	9.12	13.91	0.62	7.66	12.45
JK60787	0.65	7.44	11.37	0.59	8.5	14.31
JK60847	0.64	7.57	11.79	0.61	8.2	13.41
JK60871	0.65	8.73	13.41	0.56	7.98	14.27
JK61560	0.65	8.1	12.52	0.61	8.73	14.20
JK61574	0.62	8.35	13.43	0.63	8.84	13.93
JK61593	0.64	8.96	13.94	0.66	9.22	13.97
JK61879	0.64	8.16	12.83	0.61	8.92	14.71
JK64109	0.79	9.33	11.74	0.56	9.31	16.73
JK64628	0.79	9.05	11.38	0.61	7.94	13.01
JK64513-2	0.65	7.66	11.71	0.60	7.71	12.88
JK64637-1-5	0.66	8.64	13.06	0.63	8.34	13.24
JK65485-1	0.64	7.54	11.84	0.60	7.88	13.03

3 讨论与结论

培育氮、磷高效小麦品种是节约化肥、降低生产成本、提高收益、发展绿色高效农业的重要途径之一。本研究通过营养池栽培试验,采用氮磷效率指数和籽粒氮磷利用效率两种方法,以济麦 22 为对照,对 12 个小麦新品系的氮磷效率进行综合评价。其中以产量为基础的氮磷效率指数鉴定发现,JK60787、JK60871、JK61879 和 JK61593 为氮磷双高效品系,JK64109、JK60847、JK61560、JK61574、JK65485-1 和 JK64513-2 为磷高效品系。以不同处理下籽粒的氮、磷利用效率为基础,鉴定出正常氮和低氮条件下的氮高效品系是 JK60871 和 JK64109;正常磷条件下磷利用效率在品种间的差异不明显,但在低磷条件下 7 个品系的籽粒磷利用效率高于对照 10% 以上,即 JK64109、JK61879、JK60787、JK60871、JK61560、JK61593 和 JK61574。

综合两种评价指标,发现 JK60871 为氮、磷双高效品系,氮效率指数为 1.18、磷效率指数为 1.10,正常和低氮处理下籽粒氮利用效率分别比对照品种高出 33.26% 和 13.70%,正常磷处理下籽粒磷利用效率与对照相当,低磷处理下籽粒磷利用效率比对照高 14.62%。JK60787、JK61879、JK61593、

JK64109、JK61560 和 JK61574 为磷高效品系,它们的磷效率指数均 ≥ 1.1 ,正常磷处理下籽粒磷利用效率与对照相当,在低磷条件下的籽粒磷利用效率比对照高出 10% 以上。

参考文献

- [1] 靳义荣,刘金栋,刘彩云,贾德新,刘鹏,王雅美.普通小麦氮素利用效率相关性状全基因组关联分析.作物学报,2021,47(3): 394-404
- [2] 蔺飞阳,王利明,许秀春,杜艾芳,孟凡乔.华北地区冬小麦生产中磷素利用特征研究.中国农学通报,2020,36(3): 23-29
- [3] 张合豫,吴金花,焦峰,叶喜文.小麦氮营养研究进展.中国农学通报,2006,22(5): 163-167
- [4] 赵瑞,张旭辉,张程场,郭涇磊,汪好,李红霞.小麦种质资源成株期氮效率评价及筛选.中国农业科学,2021,54(18): 3818-3833
- [5] 李丹丹,田梦雨,崔昊,戴廷波,姜东,荆奇,曹卫星.小麦苗期耐低氮胁迫的基因型差异.麦类作物学报,2009,29(2): 222-227
- [6] 张祥池,付凯勇,贾中立,李俊华,李春艳,李诚.基于数学模型对新疆冬小麦磷高效品种的筛选.种子,2021,40(12): 25-31
- [7] 袁园园,董贝,曹晓慧,郑洪蕊.黄淮麦区小麦成株期磷高效基因型的鉴定和筛选.麦类作物学报,2017,37(1): 56-65
- [8] 袁园园,郭凯,王国园,马盼,董贝.黄淮麦区小麦苗期氮高效品种(系)的筛选.中国种业,2015(10): 50-53
- [9] 孔凡美,周秀文,赵艳艳,郑洪华,梁雪,郭营,赵岩,安艳荣,李斯深.小麦养分效率评价指标和养分高效种质筛选.山东农业科学,2021,53(5): 122-127

(收稿日期: 2022-05-08)