

## 衡谷 12 号高矮异株突变体稳定性鉴定

李成璞<sup>1</sup>, 王冰嵩<sup>1</sup>, 季志强<sup>1\*</sup>, 陈雅慧<sup>1</sup>, 王奂仑<sup>1</sup>, 李明哲<sup>2</sup>, 任冬雪<sup>1</sup>, 许利平<sup>1</sup>, 张 扬<sup>1</sup>, 孙 东<sup>3</sup>

(1. 承德市农林科学院, 河北承德 067000; 2. 河北省农林科学院旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究实验室, 河北衡水 053000; 3. 河北鲜达农业科技有限公司, 河北衡水 053000)

**摘要** 衡谷 12 号是河北省农林科学院旱作农业研究所培育的矮秆、极早熟、分蘖性强的谷子新品种。2019 年从衡谷 12 号繁种田中获得高矮异株突变体, 对该材料进行两年一点、一年两点和错期播种, 为鉴定该突变体的稳定性以及深入研究株高、分蘖、抽穗期提供可靠试验材料。结果表明, 衡谷 12 号高矮异株突变体具有稳定遗传特性, 农艺性状表型不受时间、地点、播种期的影响, 可作为稳定遗传材料使用。

**关键词** 谷子; 衡谷 12 号; 高矮异株突变体; 稳定性

**中图分类号** S 515 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2023)24-0027-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.24.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Stability Evaluation of the Tall and Dwarf Heterogeneous Mutants of Henggu 12

LI Cheng-pu, WANG Bing-song, JI Zhi-qiang et al (Chengde Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Chengde, Hebei 067000)

**Abstract** Henggu 12 is a new millet variety with low stalk, extremely early maturity and strong tillering ability, which was developed by the Institute of Dry Farming Agriculture of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences. In 2019, the hetero-short and tall mutant was obtained from Henggu 12 breeding field. In order to identify the stability of the mutant and provide reliable test materials for further study of plant height, tillering and heading stage, the material was sown at one point in two years, two points in one year and at the cutoff stage. The results showed that the hetero-tall and short mutant of Henggu 12 had stable genetic characteristics, and the agronomic traits and phenotypes were not affected by time, location or sowing date, so it could be used as stable genetic material.

**Key words** Millet; Henggu 12; Tall and dwarf heterogeneous mutants; Stability evaluation

谷子又称“粟”, 是我国北方种植较广泛的旱地粮食作物。谷子具有单穗粒多、基因组小、抗逆性强等特点, 逐步成为新的模式植物<sup>[1]</sup>。矮秆突变体可为改善作物株型、培育优质高产新品种提供便利。20 纪中叶, 水稻、小麦的大幅增产归功于植株矮化<sup>[2]</sup>, 分蘖是与产量直接相关的重要农艺性状<sup>[3]</sup>, 谷子分蘖有利于降低植株高度, 提高抗倒性, 还可以依靠分蘖成穗, 增大群体实现高产、精播、免间苗, 节省工本<sup>[4]</sup>。

衡谷 12 号是河北省农林科学院旱作农业研究所培育的具有矮秆、成穗率高、分蘖性强、早熟等症状的谷子矮秆突变体新品种, 谷子的抗病性、抗倒性、抗逆性等方面均有所提高<sup>[5]</sup>。这对于降低谷子株高、缩短生育期、增加成株分蘖都有着非常高的利用价值。

2019 年获得衡谷 12 号的高矮异株突变体, 对于研究株高、分蘖、生育期变化有很大的利用价值, 多数谷子品种都是高株材料产生矮株分蘖, 且不能正常成熟, 该突变则是矮株分蘖突变为高矮异株体, 并能够分别成熟, 是研究株高、生育期、分蘖变化的优质材料。因此, 对突变的高矮异株进行不同时间、地点的田间稳定性鉴定, 对后期进行 DNA 水平上的研究工作具有很大意义。鉴于此, 笔者于 2019 年从衡谷 12 号繁种田中获得高矮异株突变体, 对该材料进行两年一点、一

年两点和错期播种, 为鉴定该突变体的稳定性以及深入研究株高、分蘖、抽穗期提供可靠试验材料。

### 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验地分别设在承德市农林科学院科创基地和河北省农林科学院旱作农业研究所试验基地。承德市农林科学院科创基地试验田, 位于隆化县中关村(117°54'E, 40°46'N), 前茬为玉米, 地势平坦, 地力均匀, 肥力水平中等, 土质为砂壤土。河北省农林科学院旱作农业研究所试验基地, 位于衡水市深州市护驾迟镇(3 115°71'E, 7°89'N)。前茬为小麦, 地势平坦, 地力均匀, 肥力水平中等, 土质为砂壤土。

**1.2 试验材料** 衡谷 12 号由河北省农林科学院旱作农业研究所提供, 2013 年通过河北省鉴定, 2018 年完成国家品种登记。衡谷 12 号高矮异株突变体, 由承德市农林科学院提供。该材料发现于 2019 年衡谷 12 号繁种田中, 植株田间表现为生长初期与衡谷 12 号完全相同, 到拔节-孕穗期, 伴随分蘖产生。与衡谷 12 号分蘖株不同, 该分蘖为高矮各 1 株。矮株同衡谷 12 号主穗表现相同, 分蘖高株则表现为主茎变粗, 茎节伸长, 节数增加, 叶片增长增宽, 穗部伸长增大, 生育期延长。对突变矮株单穗、突变高株单穗分别进行留种。

### 1.3 试验设计

**1.3.1 两年一地承德地区田间表型鉴定** 2020—2021 年每个材料采取顺序排列, 4 行区, 行长 5.0 m, 行距 0.4 m, 2 次重复。根据《谷子种质资源描述规范和数据标准》, 对整体田间表现、出苗期、抽穗期、成熟期、生育期、苗色、叶鞘色、穗型、粒色、米色、主茎高、穗长、穗粗、单穗重、单穗粒重、千粒重等田间农艺性状进行调查。

**基金项目** 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-06-14.5-B4); 承德市科技计划项目(202201A069); 承德市科技计划项目“矮秆优质抗除草剂谷子品种选育及示范应用”(202205B049); 衡水市科技计划项目(2021016005C)。

**作者简介** 李成璞(1983—), 女, 河北黄骅人, 助理研究员, 硕士, 从事谷子育种及栽培技术研究。\* 通信作者, 研究员, 从事谷子、高粱育种研究。

**收稿日期** 2022-12-20; **修回日期** 2023-02-03

**1.3.2 承德地区错期播种田间表型鉴定。**2022 年在承德试验地进行错期播种,播种时间为 5 月中旬(一期)、6 月中旬(二期)试验采用顺序排列,2 次重复,4 行区,行长 5.0 m,行距 0.4 m,小区面积 8 m<sup>2</sup>,以衡谷 12 原种为对照。根据《谷子种质资源描述规范和数据标准》,对整体田间表现、出苗期、抽穗期、成熟期、生育期、主茎高、穗长田间农艺性状进行调查。



图 1 衡谷 12 号单株与异株突变体单株

Fig.1 Henggu 12 and its tall and dwarf heterogenic mutant

**1.3.3 一年两地田间表型鉴定。**2022 年分别在承德、衡水设定试验点,根据春播区和夏播区不同气候特点,分别于 5 月中旬和小麦收获后播种,试验采用顺序排列,2 次重复,4 行区,行长 5.0 m,行距 0.4 m,小区面积 8 m<sup>2</sup>,两地均以衡谷 12 原种为对照。根据《谷子种质资源描述规范和数据标准》,对整体田间表现、出苗期、抽穗期、成熟期、生育期、主茎高、穗长田间农艺性状进行调查。

**1.4 数据处理** 采用 Excel 2010 和 SPSS 软件对试验数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 两年一地承德地区鉴定结果** 衡谷 12 号高矮异株突变体两年田间表型见表 1。由表 1 可知,幼苗绿色,叶鞘色绿,纺锤穗,粒色黄,米色浅黄或黄。突变矮株材料生育期平均 55.5 d,主茎高平均 53.80 cm,穗长平均 10.05 cm,穗粗平均 20.46 mm,单穗重平均 4.21 g,穗粒重平均 3.42 g,千粒重 2.40 g。突变高株材料生育期平均 110.5 d,主茎高平均 148.35 cm,穗长平均 25.80 cm,穗粗平均 29.93 mm,单穗重平均 42.20 g,穗粒重平均 38.67 g,千粒重 3.11 g。

对 2 年农艺性状出苗期、抽穗期、成熟期、生育期、苗色、叶鞘色、穗型、米色进行对比,结果显示田间表现差异不大。对主茎高、穗长、穗粗、单穗粒重、穗粒重、千粒重进行方差

表 1 2020—2021 年衡谷 12 号高矮异株突变体农艺性状比较

Table 1 Comparison of agronomic traits of Henggu 12 tall and dwarf heterogenic mutants in 2020—2021

年份 Year	品系 Variety	播种期 Sowing date	出苗期 Seedling emergency date	抽穗期 Heading date	成熟期 Mature date	生育期 Growth period//d	苗色 Seedling color	叶鞘色 Sheath color	穗型 Ear shape
2020	矮株	06-01	06-08	07-05	08-03	56.0	绿	绿	纺锤
	高株			08-05	09-27	111.0	绿	绿	纺锤
2021	矮株	06-02	06-09	07-07	08-03	55.0	绿	绿	纺锤
	高株			07-26	09-27	110.0	绿	绿	纺锤
平均 Average	矮株	—	—	—	—	55.5	—	—	—
	高株	—	—	—	—	110.5	—	—	—

  

年份 Year	粒色 Grain color	米色 Rice color	主茎高 Main stem height//cm	穗长 Ear length//cm	穗粗 Ear width//mm	单穗重 Single ear weight//g	单穗粒重 Grain weight per ear//g	千粒重 1 000-grain weight//g
2020	黄	浅黄	53.20	9.40	20.60	5.65	4.48	2.30
	黄	黄	146.30	25.60	28.45	36.40	36.60	2.93
	黄	浅黄	54.40	10.70	20.31	2.77	2.36	2.50
	黄	黄	150.40	26.00	31.41	48.00	40.74	3.29
平均 Average	—	—	53.80	10.05	20.46	4.21	3.42	2.40
	—	—	148.35	25.80	29.93	42.20	38.67	3.11

表 2 2020—2021 年农艺性状方差分析

Table 2 ANOVA for agronomic traits in 2020—2021

因变量 Dependent variable	平方和 Quadratic sum	均方 Mean square	F	显著性 Significance
主茎高 Main stem height	7.02	7.02	0.002	0.97
穗长 Ear length	0.72	0.72	0.006	0.95
穗粗 Ear width	1.78	1.78	0.039	0.86
单穗重 Single ear weight	19.01	19.01	0.025	0.89
单穗粒重 Grain weight per ear	1.02	1.02	0.002	0.97
千粒重 1 000-grain weight	0.08	0.08	0.307	0.64

分析(表 2),发现各农艺性状间差异不显著,说明该异株突变体在同一地区不同年份间的田间农艺性状表现具有稳定性。

**2.2 承德地区错期播种鉴定结果** 承德地区错期播种结果见表 3。由表 3 可知,一期播种后,衡谷 12 号高矮异株突变体中,矮株的生育期和对照相同,与 2021 年生育期相近,高株生育期与 2021 年相近。二期播种后,衡谷 12 号高矮异株突变体矮株和对照的生育期均缩短,由一期的 55 d 缩短为二期的 37 d,矮株主茎高增加了 0.2 cm,穗长缩短 0.5 cm。衡谷 12 号异株突变体高株生育期由 119 d 缩短为 91 d,主茎高缩短 4.6 cm,穗长缩短 2.3 cm。整体植株形态没有变化,说明错

期播种可以缩短植株生长发育,对于突变植株的整体形态和生育期没有明显影响。以播种期为影响因子对株高、穗长进行单因素方差分析,结果表明错期播种对对照和突变材料的影响差异不显著(表 4)。

**2.3 一年两地田间表型鉴定结果** 一年两地不同播种区异地表型鉴定结果显示,春播区和夏播区同期播种的对照、矮株突变体间生育期变化不大,均为 50 d 以上,对照分蘖数在 2.7~3.0 个、高矮异株突变稳定在 2 个。株高、穗长夏播区较

春播区有所增加,矮株突变体较对照表型变化不大,高株突变体夏播区较春播区株高变化加大,穗长变化较小(表 3)。

对株高、穗长进行一般线性分析(表 5),不同播种期对主茎高、穗长影响差异不显著;不同地点对主茎高影响差异极显著,穗长影响不显著;不同品种之间对主茎高、穗长影响均差异极显著。地点×品种间互作对主茎高影响差异极显著,对穗长影响差异不显著。

表 3 2022 年承德错期播种及一年两地种植田间农艺性状比较

Table 3 Comparison of staggered sowing in Chengde and one-year planting in two fields in 2022

播种期 Sowing stage	播种区 Sowing area	品系 Variety	播种期 Sowing date	出苗期 Seedling emer- gency date	抽穗期 Heading date	成熟期 Mature date	生育期 Growth period//d	主茎高 Main stem height//cm	穗长 Ear length cm	分蘖数 Tiller number//个
一期 Stage 1	承德春播区	对照	05-18	05-27	06-25	07-21	55	32.2	9.5	3.2
		矮株	05-18	05-27	06-28	07-21	55	31.4	9.6	2.0
		高株	05-18	05-27	07-03	09-23	119	120.6	24.5	2.0
二期 Stage 2	承德春播区	对照	06-18	06-24	07-08	07-31	37	30.8	9.3	2.8
		矮株	06-18	06-24	07-08	07-31	37	31.6	9.1	2.0
		高株	06-18	06-24	08-05	09-23	91	116.0	22.2	2.0
	衡水夏播区	对照	05-31	06-02	06-29	07-26	53	80.4	10.7	2.7
		矮株	05-31	06-02	07-01	07-26	53	81.5	10.8	2.0
		高株	05-31	06-02	07-27	09-14	103	150.3	23.5	2.0

表 4 播种期的单因素方差分析

Table 4 One-way ANOVA for sowing periods

性状 Character	项目 Item	平方和 Quadratic sum	df	均方 Mean square	F	显著性 Significance
主茎高 Main stem height	组间	3 810.43	2	1 905.22	0.86	0.47
	组内	13 253.89	6	2 208.98		
	总计	17 064.33	8			
穗长 Ear length	组间	3.26	2	1.63	0.03	0.97
	组内	370.84	6	61.81		
	总计	374.09	8			

表 5 株高和穗长的一般线性分析

Table 5 General linear analysis of plant height and ear length

因子 Factor	因变量 Dependent variable	平方和 Quadratic sum	df	均方 Mean square	F	显著性 Significance
播种期 Sowing date	主茎高	5.607	1	5.607	1.877	0.304
	穗长	1.500	1	1.500	2.326	0.267
地点 Site	主茎高	1 081.900	1	1 081.900	362.243	0.003 **
	穗长	2.969	1	2.969	4.603	0.165
品种 Variety	主茎高	10 830.274	2	5 415.137	1 813.104	0.001 **
	穗长	318.504	2	159.252	246.902	0.004 **
地点×品种 Site×Variety	主茎高	136.514	2	68.257	22.854	0.042 **
	穗长	0.625	2	0.313	0.485	0.673

注: \*\* 表示在 0.01 水平差异极显著。

Note: \*\* indicated extremely significant differences at 0.01 level.

### 3 结论与讨论

承德地区两年的田间鉴定表明,衡谷 12 号高矮异株突变体抽穗期、生育期、田间农艺性状表型差异不大,说明同一地点的环境影响对突变体的表型影响不大,该突变体稳定。

承德地区错期播种对主茎高和穗长影响不显著,分蘖数没有变化,说明错期播种不能影响突变体的稳定性。生育期、

主茎高、穗长的变化受播种期影响变化较大,可能是受到光照、积温影响引起的,该结果与郝洪波等<sup>[6-7]</sup>的研究结果相同。

一年两地不同播种区之间主茎高变化差异较大,穗长差异不显著,分蘖数变化不明显,说明不同播种区间的气候变化对主茎高影响较大,出现该结果可能与今年河北南涝北旱的降水情况有关,曹丹等<sup>[8-10]</sup>的研究中有提到降水多少会影

响植株拔节伸长,导致整体株高变化。不同品种间主茎高、穗长差异极显著说明对照品种与高矮异株突变体间主茎高、穗长、生育期、分蘖间存在明显差异,并稳定表达,说明高矮异株突变体可作为稳定的研究材料加以利用。地点×品种间互作在主茎高上差异极显著,说明环境对不同品种的主茎高有显著的影响作用。王晓宇等<sup>[11-14]</sup>在分子水平上对影响株高的基因进行了研究,表明在 1、2、7、9 号染色体上存在控制株高的基因,7 号染色体上存在控制分蘖的基因,该高矮异株突变体可作为进一步探索株高与分蘖关系的新材料加以利用。

谷子是光温反应敏感作物<sup>[15]</sup>,作物种间的遗传多样性是基因型、环境以及基因型与环境互作效应的综合表现,光温等环境因素对抽穗期、株高、分蘖有明显的影响,随着光温环境条件的改变作物对抽穗期、株高、穗长、分蘖做出适当调整,从而实现对该生态区的适应<sup>[16-17]</sup>。分蘖与株高之间存在一定的关系,会影响整个植株的株型,也可以产生不定根导致植株的开花,最终使产量发生改变<sup>[18-19]</sup>,该高矮异株突变体分蘖数量稳定,成株单株间差异极显著,不受环境影响,是研究株高、生育期、分蘖原理的优良材料。

#### 参考文献

- [1] 刁现民. 谷子种质资源的深度分析和研究利用 [C] // 中国作物学会. 2017 年中国作物学会学术年会摘要集. 北京: 中国作物学会, 2017: 13.
- [2] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 新时期中国谷子产业发展技术需求与展望 [J]. 农学学报, 2018, 8(6): 96-100.
- [3] KEBROM T H, SPIELMEYER W, FINNEGAN E J. Grasses provide new insights into regulation of shoot branching [J]. Trends in plant science, 2013, 18(1): 41-48.

(上接第 26 页)

- [27] 杨彩虹, 耿艳香, 伏星舟, 等. 免耕轮作对西北荒漠绿洲小麦、玉米产量和光合特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(1): 11-19.
- [28] 陈素英, 张喜英, 胡春胜, 等. 秸秆覆盖对夏玉米生长过程及水分利用的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 55-57, 66.
- [29] 胡锦昇, 樊军, 付威, 等. 保护性耕作措施对旱地春玉米土壤水分和硝态氮溶累积的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1188-1198.
- [30] 唐江华, 杜孝敬, 徐文修, 等. 秸秆全量还田下土壤氮素特征对耕作措施的响应 [J]. 作物杂志, 2022(5): 135-140.
- [31] 刘明庆, 韩笑, 杨育文, 等. 不同土地利用方式下土壤肥力的调查与评价: 以浙江省建德市葛塘村为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(3): 394-401.
- [32] 韩殊才, 李恒鹏, 刘明亮, 等. 千岛湖流域主要土地利用方式氮收支平衡特征 [J]. 环境污染与防治, 2022, 44(5): 682-686.
- [33] 邵孝侯, HOUBA V J G. 土壤有效氮测定方法的研究进展 [J]. 国外农业环境保护, 1991(3): 17-20.
- [34] 李生秀, 付会芳, 肖俊璋, 等. 几种测氮方法在反映旱地土壤供氮能力方面的效果 [J]. 干旱地区农业研究, 1992, 10(2): 72-81.
- [35] 刘育红, 吕军. 稻田土壤氮素矿化的几种方法比较 [J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 675-678.
- [36] 王海妹, 莫孙伟, 张鸣珊, 等. 超声提取-气相分子吸收光谱法测定土壤中硝态氮 [J]. 广州化工, 2020, 48(16): 94-96, 119.
- [37] 潘艳, 吕保玉, 蓝月存, 等. 氯化钙浸提法测定土壤中的硝态氮 [J]. 化学工程师, 2019, 33(6): 37-39.
- [38] 孟盈, 沙丽清. 风干、烘干对不同热带森林土壤样品  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  测定结果的影响 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(5): 366-367, 369.
- [39] 赵瑞芬, 于志勇, 程滨, 等. 不同前处理条件对土壤  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  含量影响的研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(10): 174-177.
- [40] НИКИФОРЕНКО ЛИ, 张道勇, 摘译. 土壤分析样本的干燥、贮存和制备对土壤农化性质的影响 [J]. 土壤学进展, 1989, 17(2): 45-52.
- [41] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 49-50.
- [42] 袁新民, 王周琼. 硝态氮的淋洗及其影响因素 [J]. 干旱区研究, 2000, 17

- [4] 杨慧卿, 王军, 王智兰, 等. 分蘖型谷子资源的表型和遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 685-695.
  - [5] 河北省农林科学院旱作农业研究所. “矮秆、极早熟谷子新品种衡谷 12 号”通过鉴定 [J]. 现代农村科技, 2013(24): 2.
  - [6] 郝洪波, 崔海英, 李明哲, 等. 衡谷 12 号早熟性以及最晚播期和适宜留苗密度研究 [J]. 河北农业科学, 2017, 21(1): 1-5.
  - [7] 王春芳, 胡世宝, 张温典, 等. 衡谷 12 号在承德地区生长情况调查 [J]. 河北旅游职业学院学报, 2015, 20(4): 102-105.
  - [8] 曹丹, 易秀, 陈小兵, 等. 基于气候变化的黄河三角洲非主粮作物需水规律研究 [J]. 土壤通报, 2022, 53(4): 795-804.
  - [9] 刘朋程, 郝洪波, 郭安强, 等. 河北省低平原旱作谷子产量影响因素及发展规模分析 [J]. 河北农业科学, 2022, 26(2): 9-15.
  - [10] 刘朋程, 王占彪, 郝洪波, 等. 近 59 年保定市谷子生育期需水变化特征和影响因素分析 [J]. 山西农业大学学报 (自然科学版), 2019, 39(4): 32-39.
  - [11] 王晓宇, 刁现民, 王节之, 等. 谷子 SSR 分子图谱构建及主要农艺性状 QTL 定位 [J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(5): 871-878.
  - [12] 赵美丞. 谷子半显性矮秆基因 *SiDw1* 的图位克隆及形成机制分析 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
  - [13] WANG J, WANG Z L, DU X F, et al. A high-density genetic map and QTL analysis of agronomic traits in foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] using RAD-seq [J]. PLoS One, 2017, 12(6): 1-15.
  - [14] ZHANG K, FAN G Y, ZHANG X X, et al. Identification of QTLs for 14 agronomically important traits in *Setaria italica* based on SNPs generated from high-throughput sequencing [J]. G3, 2017, 7(5): 1587-1594.
  - [15] 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.
  - [16] 贾小平, 张博, 全建章, 等. 不同光周期条件下谷子株高的全基因组关联分析 [J]. 华北农学报, 2019, 34(4): 16-23.
  - [17] 贾小平, 李剑峰, 赵渊, 等. 谷子抽穗期与农艺性状的相关与回归分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 634-645.
  - [18] KURAPARTHY V, SOOD S, DHALIWAL H S, et al. Identification and mapping of a tiller inhibition gene (*tin3*) in wheat [J]. Theoretical and applied genetics, 2007, 114(2): 285-294.
  - [19] MAURO-HERRERA M, DOUST A N. Development and genetic control of plant architecture and biomass in the panicoid grass, *Setaria* [J]. PLoS One, 2016, 11(3): 1-27.
- (4): 46-52.
- [43] 周丽萍, 戚瑞生. 不合理施肥对土壤性质的影响及其防治措施探讨 [J]. 甘肃农业科技, 2017(1): 74-78.
  - [44] 左海军, 张奇, 徐力刚. 农田氮素淋溶损失影响因素及防治对策研究 [J]. 环境污染与防治, 2008, 30(12): 83-89.
  - [45] 马心灵, 朱启林, 赵胜利, 等. 不同种植模式粮田土壤氮素淋失的研究进展 [J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1529-1536.
  - [46] 李宗新, 董树亭, 王空军, 等. 不同施肥条件下玉米田土壤养分淋溶规律的原位研究 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 65-70.
  - [47] 任丽萍, 宋玉芳, 许华夏, 等. 旱田养分淋溶规律及对地下水影响的研究 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(3): 133-136.
  - [48] 王少平, 高效江, 胡雪峰, 等. 上海西郊麦期氮素淋溶定位研究 [J]. 环境污染与防治, 2002, 24(2): 68-70.
  - [49] ZHANG W L, TIAN Z X, ZHANG N, et al. Nitrate pollution of groundwater in Northern China [J]. Agriculture, ecosystems & environment, 1996, 59(3): 223-231.
  - [50] LABORDE D, MAMUN A, MARTIN W, et al. Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions [J]. Nat Commun, 2021, 12(1): 1-9.
  - [51] MAGRINI M B, ANTON M, CHOLEZ C, et al. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system [J]. Ecological economics, 2016, 126: 152-162.
  - [52] IPCC. Special report on emissions scenarios, working group III, intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
  - [53] HANSEN J E, LACIS A A. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change [J]. Nature, 1990, 346(6286): 713-719.
  - [54] IPCC. Climate change: The physical science basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
  - [55] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 农田土壤主要温室气体 ( $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ ) 的源/汇强度及其温室效应研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 966-975.