

我国玉米高产新纪录创建与高产新途径探索 ——以西藏林芝为例

王恩赐^{1,2,3}, 胡 单², 张等龙^{1,3}, 张 龙^{1,3}, 宋 利¹, 纪华香¹, 郭晓霞¹,
杨云山¹, 刘广周¹, 刘万茂^{1,3}, 侯 鹏^{1,2}

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 3. 宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要: 2024年中国农业科学院作物科学研究所与西藏农牧学院在西藏林芝(海拔2 942 m)共同建设的玉米高产田创造25 092.9 kg/hm²的玉米产量, 再次刷新我国玉米高产纪录。高产创建主要采用“适度密植、提高双穗”“水肥一体、精准调控”等栽培技术, 共计10个高产地块, 涵盖不同品种与密度组合。通过分析获得高产地块的群体关键指标, 品种先玉1483, 播种密度75 000株/hm², 收获穗数135 192穗/hm², 单株粒数(穗粒数)929粒, 千粒重387 g, 单穗粒重170 g, 双穗率0.86, 收获指数0.60。总结高产纪录玉米田生产过程的主要管理环节和高产群体的主要指标, 为玉米高产创建提供新的探索途径。

关键词: 玉米; 高产纪录; 双穗率; 收获指数

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

The Establishment of the National High-Yield Maize Record and the Exploration of New Ways of High-Yield in China

——A Case Study of Nyingchi, Xizang

WANG En-ci^{1,2,3}, HU Dan², ZHANG Deng-long^{1,3}, ZHANG Long^{1,3}, SONG Li¹, JI Hua-xiang¹, GUO Xiao-xia¹,
YANG Yun-shan¹, LIU Guang-zhou¹, LIU Wan-mao^{1,3}, HOU Peng^{1,2}

(1. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

2. Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000;

3. Ningxia University, College of Agriculture, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The new Chinese maize yield record in 2024 was broken again with a yield of 25092.9 kg/ha in the high-yield maize field jointly built by Institute of Crop Sciences of the Chinese Academy of Agricultural Sciences and Xizang Agricultural and Animal Husbandry University in Nyingchi of Xizang (altitude 2 942 m). This high-yield creation mainly adopted the cultivation technologies of “moderate density, high double ears” and “integration of water and fertilizer, and precise regulation”. In this study, there were 10 high-yield plots that included different combinations of cultivars and densities. And it was mainly focused on analyzing the population key indicators of the field with the highest grain yield. The cultivar was Xianyu1483, the sowing density was 75 000 plants/ha, the harvested ears number was 135 192 ears/ha, the grain number per plant was 929, the 1 000-kernel weight was 387 g, the grain weight per ear was 170 g, the double ear rate was 0.86, and the harvest index was 0.6. The main management links of the high yield record field production process and population indicators were summarized in this paper. These results provided a new way to explore high yield of maize.

Key words: Maize; High-yield record; Double ear rate; Harvest index

录用日期: 2025-01-23

基金项目: 国家重点研发计划课题“作物增产反馈土壤培育的栽培调控原理与技术”(2023YFD1900603)、中国农业科学院重大科技任务“粮水布局协同优化与节水增粮技术集成示范”(CAAS-ZDRW202418)、中国农业科学院基本科研业务费专项(CAAS-ZDRW202418)

作者简介: 王恩赐, 男, 安徽淮北人, 硕士, 主要研究方向为玉米高产高效栽培理论与技术。E-mail: enci2023@163.com

胡 单为同等贡献第一作者。

侯 鹏为本文通信作者。Tel: 0086-10-82108595 E-mail: houpeng@caas.cn

玉米(*Zea mays* L.)是世界上第一大粮食作物,也是我国种植面积最广、总产量最高的农作物^[1]。近年来,我国的粮食产量逐年上升,总体呈现快速增长的发展趋势,其中玉米对粮食总产的贡献最大^[2]。2024年我国玉米平均单产为6 591.7 kg/hm²,低于美国玉米平均单产11 253.7 kg/hm²,远低于2020年在新疆奇台的高产纪录24 948.75 kg/hm²,说明我国玉米单产提升空间巨大,我国对玉米高产潜力挖掘仍处于不断探索阶段^[3-4]。玉米高产挖潜是在不断增加种植密度情况下,依靠提高群体生产力来实现高产突破。前人研究发现,基于光辐射匹配原理,我国北方不同玉米种植区域平均可增密3万~6万株/hm²,由东向西随着光辐射增强最佳种植密度可由8.9万株/hm²增加到13.4万株/hm²^[5]。2020年我国玉米获得高产纪录的种植密度为13.5万株/hm²,玉米产量潜力是否能够继续突破,是否只有增密才能实现产量潜力突破值得进一步探索。

西藏是“世界第三极”且以农牧业经济为主体,同时也属于我国玉米六大主产区之一^[6]。西藏地区的玉米种植位于高海拔地带,多聚集于海拔1 700~3 200 m的尼洋河中下游河谷地区^[7]。该地区具有得天独厚的地理位置,有效辐射的范围在2 521~

3 990 MJ/m²,远远高于全国其他地区;日照时数为2 056~3 205 h,光照资源丰富,为玉米高产提供了良好的自然条件^[8]。2024年10月29~30日,经过农业农村部玉米专家组和国家玉米产业体系专家实测验收,在我国青藏高原西藏林芝玉米高产示范田中,玉米品种先玉1483在75 000株/hm²适中种植密度条件下单产达到25 092.9 kg/hm²(14%含水量),刷新了2020年在新疆奇台创造的小面积玉米高产纪录。此次产量的突破途径不同于以往高产纪录模式,为未来玉米产量的进一步提升和突破提供了新的参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于西藏自治区林芝市巴宜区米瑞乡玉荣增村(29°27'58" N, 94°32'5" E, 海拔2 942 m)。试验地土质为砂壤土,为典型的中低产田,耕层0~30 cm土壤有机质含量16.69 g/kg,全氮、全磷和全钾含量分别为0.99、1.78和16.5 g/kg,有效氮为0.13 g/kg,速效钾含量为86.33 mg/kg,pH值为6.41。2024年玉米生长季节平均温度14.2℃,月平均最高、最低气温分别为15.9、12.2℃,降雨量为481.8 mm(图1)。

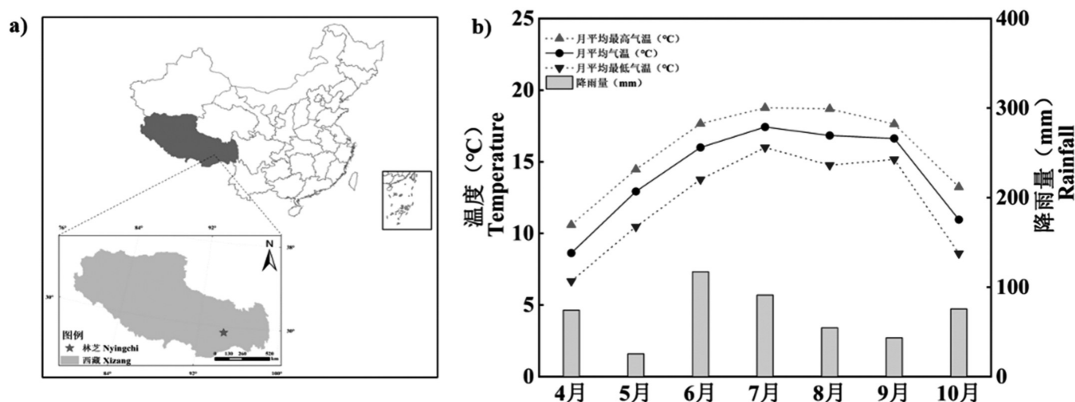


图1 试验地分布图与2024年玉米生育期内降雨量、平均温度和月平均最高、最低温度

Fig.1 Distribution of experimental site and rainfall, average temperature, and monthly average maximum and minimum temperatures during the growth period of maize in 2024

1.2 试验进程与田间管理

田间管理采用膜下滴灌、水肥一体化生产技术,每个地块种植面积约0.08 hm²,种植玉米品种为先玉1483(XY1483),种植密度为75 000、120 000株/hm²,宽窄行配置70 cm+40 cm,覆盖塑料地膜,厚度为0.01 mm。2024年4月18日播种,平均播种深度为5.0 cm。玉米播种到生理成熟(子粒黑层出现)历时177 d,灌浆期持续86 d(表1)。整个玉米生育期共施用纯氮(N)522 kg/hm²,纯磷(P₂O₅)

174 kg/hm²,纯钾(K₂O)54 kg/hm²;灌水总量2 185.05 m³/hm²,灌溉采用滴灌和漫灌的方式,其中冬灌514.2 m³/hm²,各生育时期具体施肥灌溉定额见表2。其他管理措施同一般大田。

1.3 测定项目与方法

植株生物量与分配:于吐丝(R1)与成熟期(R6)分别选取6株长势均匀一致的玉米植株,按不同器官(茎、叶、穗、子粒)分装于纸袋,在105℃条件下杀青1 h,80℃烘干至恒重,再使用百分之一精度的电子

表1 玉米生育进程
Table 1 Maize growth process

生育期 Growth stage	播种期 Sowing	出苗期 Emergence	拔节期 Jointing	大喇叭口期 V12 leaf	吐丝期 Silking	完熟期 Maturity
日期(月·日)	4·18	4·28	6·6	7·5	7·18	10·12
生长阶段		播种至出苗期	出苗至拔节期	拔节至大喇叭口期	大喇叭口至吐丝期	吐丝至成熟期
历时(d)		10	39	29	13	86

表2 玉米生育期灌溉和施肥信息
Table 2 Information on irrigation and fertilization during maize growth period

日期(月·日) Date	生育期 Growth stage	灌水量(m ³ /hm ²) Irrigation amount	灌溉方式 Irrigation regime	施肥量(kg/hm ²) Fertilizer amount	肥料种类 Fertilizer type
4·1-6·1	出苗-拔节期	154.20	底肥+滴灌	纯氮(N)201 纯磷(P ₂ O ₅)126 纯钾(K ₂ O)54	尿素、复合肥、瓮福磷酸一铵与聚磷酸铵
7·18	吐丝期	77.10	滴灌	纯氮(N)69 纯磷(P ₂ O ₅)48	尿素、磷酸一铵与聚磷酸铵
8·10	灌浆期	77.10	滴灌	纯氮(N)91.5	尿素
8·22	灌浆期	822.75	漫灌		
8·25	灌浆期	231.30	滴灌		
9·10	灌浆期	77.10	滴灌	纯氮(N)91.5	尿素
9·20	灌浆期	154.20	滴灌		
9·28	灌浆期	77.10	滴灌	纯氮(N)69	尿素

天平称取干物质重量,并记录数据。

产量及产量构成因素:于玉米成熟期统计每个小区的双穗株数,然后于各小区分别量取长10 m、3幅膜宽度(3.3 m)的面积收获称重,3次重复,然后选择有代表性的穗子20个,脱粒计算出籽率,测子粒含水率,按14%含水量标准计算单位面积子粒产量。最后预留10株玉米进行取样考种,测定其穗粒数和千粒重(含水量14%)等指标^[9]。

穗粒数=穗行数×行粒数;

产量(kg/hm²)=单位面积穗总重×出籽率×(1-含水率)/(1-14%)/33×10 000;

收获指数(HI)=子粒干重/地上部干重。

1.4 数据处理与分析

使用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,采用 SPSS 26.0 进行独立样本 *T* 检验($P<0.05$ 或 $P<0.01$),采用 Origin 2021 做图。

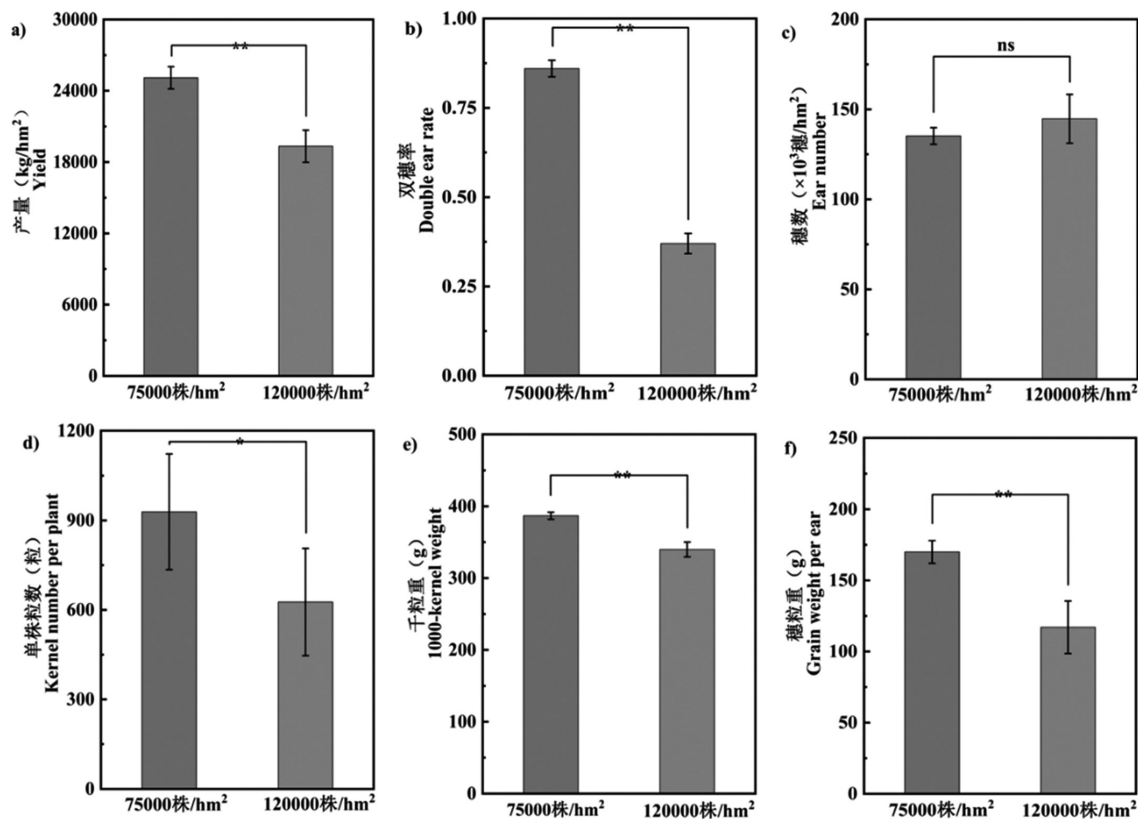
2 结果与分析

2.1 高产玉米产量及其产量构成因素

在75 000株/hm²密度下,XY1483子粒产量为25 092.9 kg/hm²,双穗率0.86,收获穗数为

135 192穗/hm²,单株粒数(穗粒数)为929粒,千粒重为387 g,单穗粒重为170 g(图2)。75 000株/hm²密度在产量、双穗率、单株粒数(穗粒数)、千粒重、单穗粒重均显著高于120 000株/hm²密度,穗数在两种密度条件下表现为差异不显著。在7500株/hm²密度条件下,XY1483拥有0.86的双穗率;120 000株/hm²密度条件下,双穗率仅为0.37。低密度获得更高的双穗率,从而提高了单位面积有效穗数。

多元回归和通径分析结果显示,在不同密度下,产量构成因素对产量的贡献不同(表3)。在75 000株/hm²密度条件下,决定产量的首要因素是穗数,其次是千粒重。单株粒数(穗粒数)对产量的直接作用与间接作用均较高,表现出显著相关。在120 000株/hm²密度条件下,决定产量的首要因素是穗数,其次是单株粒数(穗粒数)。穗数对两种密度下产量的直接作用均产生极高的正效应,与产量显著相关。通径分析表明,提高产量最主要的影响因素是穗数,单株粒数(穗粒数)的提高同样依赖于穗数(双穗率)的增加。因此,在稳定粒重的同时,穗数与穗粒数的增加是增产的关键。



注：“*”在0.05水平下显著相关；“**”在0.01水平下极显著相关。下图同。
Note: * indicates the extremely significant at 0.05 level, ** indicates the extremely significant at 0.01 level. The same below.

图2 两种密度下产量及产量构成分析
Fig.2 Analysis of yield and yield components under two densities

表3 两种密度下产量构成因素通径分析
Table 3 Diameter analysis of yield components under two densities

密度 (株/hm²) Planting density	产量构成 Yield component	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient			
				穗 数	单株粒数	千粒重	单穗粒重
				Ear number	Kernel number per plant	1 000–kernel weight	Grain weight per ear
75 000	穗 数	0.793**	0.898		0.343	−0.260	−0.116
	单株粒数	0.683*	0.135	0.052		0.049	0.032
	千粒重	0.310	0.495	−0.144	0.182		0.127
	单穗粒重	0.144	0.100	−0.013	0.023	0.026	
120 000	穗 数	0.746*	1.450		1.019	0.927	−0.012
	单株粒数	0.273	−0.646	−0.454		−0.267	−0.104
	千粒重	0.400	−0.386	−0.246	−0.160		−0.135
	单穗粒重	0.114	0.365	−0.003	0.059	0.128	

2.2 高产群体生长发育指标

如图3所示,75 000株/hm²密度下,XY1483在吐丝期和完熟期单株生物量分别为152.2和566.4 g,较120 000株/hm²密度相比分别高出12.41%与50.88%;吐丝后生物量占整个生育期生物量的

73.13%。玉米收获指数(HI)是评价玉米品种产量与栽培成效的重要指标。75 000株/hm²密度条件下的收获指数为0.60,较120 000株/hm²密度下高0.02。氮、磷和钾肥偏生产力分别为48、144.2、464.7 kg/kg,灌溉水利用效率达到11.5 kg/m³。

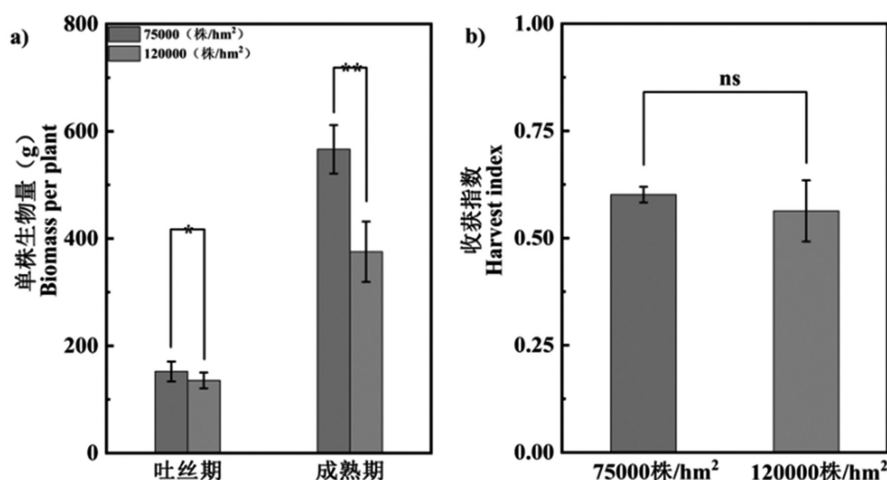


图3 两种密度下单株生物量与收获指数比较

Fig.3 Comparison of biomass per plant and harvest index under two densities

3 结论与讨论

2024年西藏林芝高产田块经专家实收测产,创造全国玉米高产新纪录 25 092.9 kg/hm²,首次在高原地区中低产田实现了玉米高产纪录的新突破。本次高产创建和突破主要通过选取适中种植密度,提升双穗率与收获指数水平,采用水肥一体化精准调控技术,同时实现了肥水高效,对引领我国中低产田的玉米高产栽培提供了理论与技术支撑。

本次高产的创建,较2020年在我国新疆奇台创造的高产纪录 24 948.75 kg/hm²提升了 144.15 kg/hm²,也是迄今文献报道中全国最高产量^[10]。以往玉米产量纪录的突破主要依赖于种植密度的提高。本研究中,实现高产突破的途径在于适度密植条件下双穗率的提高,种植密度仅为新疆奇台高产纪录田种植密度的 55.5%,总穗数大于新疆奇台。有研究表明,增密增穗是产量达到 15 000 kg/hm²以上的必要途径^[11-12]。本研究在相对较低的种植密度下,通过提高双穗率,增加单位面积有效穗数,实现了高产纪录的突破,为高产创建提供了新思路。

本次高产田的创建位于西藏林芝地区,海拔高,光辐射资源丰富,温度适中,昼夜温差大。玉米灌浆期持续 86 d,花后生物量占比达到 73.14%^[13-16],是西藏玉米能够实现高产纪录突破的关键。本次高产纪录下的收获指数为 0.60,最高达到 0.62^[17-18]。在水肥利用率上,氮、磷、钾肥偏生产力分别为 48.0、144.2、464.7 kg/kg,灌溉水利用效率达到 11.5 kg/m³,其中氮肥偏生产力和灌溉水利用效率比新疆奇台玉米高产纪录田分别提高了 1.6%、24.0%,完全实现了“绿色吨半粮”的目标。

借鉴美国玉米高产竞赛经验以来,我国玉米单产水平不断被刷新,全国各地涌现出多个高产纪录田。我国单产水平与美国仍有很大差距,本次高产纪录的创建提供了新的思路与借鉴。2024年9月理论测产结果显示,高产创建过程中多个田块理论产量均在 30 000 kg/hm²以上。在玉米灌浆关键期,本高产创建田遭受不同程度的干旱胁迫,导致部分品种发生早衰,一定程度上影响了产量的提升,最终产量为 25 092.9 kg/hm²。通过水肥管理与其他栽培途径的优化,有望进一步提升产量,实现新的高产纪录突破,同时引领高原玉米全面实现“绿色”高产高效,并为其他类似生态区高产创建提供理论与技术支撑。

参考文献:

- [1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
LI S K, ZHAO J R, DONG S T, et al. Progress and prospects of maize cultivation research in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 50(11): 1941-1959. (in Chinese)
- [2] 李少昆,王崇桃. 中国玉米生产技术的演变与发展[J]. 中国农业科学,2009,42(6):1941-1951.
LI S K, WANG C T. The evolution and development of maize production technology in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2009, 42(6): 1941-1951. (in Chinese)
- [3] 王崇桃,李少昆,韩伯棠. 玉米高产之路与产量潜力挖掘[J]. 科技导报,2006(4):8-11.
WANG C T, LI S K, HAN B T. High yield and potential exploitation of maize[J]. Science & Technology Review, 2006(4): 8-11. (in Chinese)
- [4] 赵久然,王荣焕. 美国玉米持续增产的因素及其对我国的启示[J]. 玉米科学,2009,17(5):156-159,163.
ZHAO J R, WANG R H. The factors that continue to increase the yield of maize in the United States and its enlightenment to China[J].

- Journal of Maize Sciences, 2009, 17(5): 156–159, 163. (in Chinese)
- [5] LIU G, LIU W, HOU P, et al. Reducing maize yield gap by matching plant density and solar radiation[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(2): 363–370.
- [6] 王崇桃, 李少昆. 玉米生产限制因素评估与技术优先序[J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1136–1146.
- WANG C T, LI S K. Assessment of maize production constraints and technical prioritization[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2010, 43(6): 1136–1146. (in Chinese)
- [7] 黄雨婷, 胡文平, 周丽娜, 等. 西藏玉米产业发展研究[J]. 西藏农业科技, 2023, 45(4): 88–94.
- HUANG Y T, HU W P, ZHOU L N, et al. Research on the development of maize industry in Xizang[J]. Tibetan Agricultural Science and Technology, 2023, 45(4): 88–94. (in Chinese)
- [8] 胡 单, 冯西博. 西藏玉米地方品种芽期抗寒性鉴定[J]. 高原农业, 2018, 2(6): 594–600.
- HU D, FENG X B. Identification of cold resistance of Xizang maize landrace at germination stage[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2018, 2(6): 594–600. (in Chinese)
- [9] 曹国军, 耿玉辉, 叶 青, 等. 超高产春玉米产量构成特性分析[J]. 玉米科学, 2012, 20(5): 80–83.
- CAO G J, GENG Y H, YE Q, et al. Analysis of yield composition characteristics of ultra-high-yield spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(5): 80–83. (in Chinese)
- [10] 程雅婷, 李荣发, 王克如, 等. 中国春玉米高产纪录的创造与思考[J]. 玉米科学, 2021, 29(2): 56–59.
- CHENG Y T, LI R F, WANG K R, et al. The creation and thinking of China's spring maize high yield record[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(2): 56–59. (in Chinese)
- [11] 王 楷, 王克如, 王永宏, 等. 密度对玉米产量(>15 000 kg·hm⁻²)及其产量构成因子的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3437–3445.
- WANG K, WANG K R, WANG Y H, et al. Effects of density on maize yield(>15 000 kg·hm⁻²) and its yield components[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 45(16): 3437–3445. (in Chinese)
- [12] YANG H, ZHANG Y, XU S, et al. Characteristics of dry matter and nutrients accumulation and transformation of super-high yield spring maize[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2012, 18(2): 315–323.
- [13] ZHOU B, YUE Y, SUN X, et al. Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions[J]. Agronomy Journal, 2016, 108(1): 196–204.
- [14] CAO Y J, WANG L C, GU W R, et al. Increasing photosynthetic performance and post-silking N uptake by moderate decreasing leaf source of maize under high planting density[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(2): 494–510.
- [15] TIAN B J, ZHU J C, LIU X W, et al. Interacting leaf dynamics and environment to optimize maize sowing date in North China Plain[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(5): 1227–1240.
- [16] LIU W, HOU P, LIU G, et al. Contribution of total dry matter and harvest index to maize grain yield—A multisource data analysis[J]. Food and Energy Security, 2020, 9(4): e256.
- [17] LIU G, HOU P, XIE R, et al. Canopy characteristics of high-yield maize with yield potential of 22.5 Mg ha⁻¹[J]. Field Crops Research, 2017, 213: 221–230.
- [18] LIU G, YANG Y, GUO X, et al. A global analysis of dry matter accumulation and allocation for maize yield breakthrough from 1.0 to 25.0 Mg ha⁻¹[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2023, 188: 106656.

(责任编辑:朱 哲)