



新疆春大豆膜下滴灌超高产栽培模式创建

曾 凯,赵 靛,张恒斌,罗赓彤,战 勇,刘 涛

(新疆农垦科学院 作物研究所/国家大豆产业技术体系石河子综合试验站/谷物品质与遗传改良兵团重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘 要:新疆农垦科学院作物研究所于 2016 和 2017 年开展膜下滴灌超高产创建研究工作,创建大豆吉育 86 超高产田,连续两年获得 $6\,200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上的超高产量,为进一步推广此项高产模式,本研究以其为参考,从超高产的产量结构、群体特征、生理特性等进行解析,介绍超高产技术的具体流程与措施。结果表明:产量结构方面,收获 $25.24\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均单株 31.8 个荚 、 92.54 粒 ,每荚平均 2.91 粒 ,单株粒重 26.33 g ,百粒重 28.46 g 。群体特征方面,生物产量积累在出苗后的 $68\sim127\text{ d}$,即 $R_4\sim R_6$ 时期,叶面积指数在结荚鼓粒期达到最大值 7.2 ,且始粒期(R_5)至始熟期(R_7)叶面积指数 ≥ 3 可维持 42 d 。生理特征表现为叶绿素含量在鼓粒期最高达到 52 以上。器官平衡特征是,叶片、叶柄、茎秆、荚皮和籽粒在生物产量中分别占 16.3% 、 13.7% 、 18.2% 、 14.8% 和 37.0% 。根据超高产大豆相关特征指标,结合当年栽培措施,从施肥技术、灌水措施、化学调控、叶面施肥等方面,总结了新疆大豆超高产的栽培模式,该模式区对提高新疆乃至我国的大豆单产和增加总产具有一定的参考意义。

关键词:新疆;春大豆;膜下滴灌;超高产;栽培模式

Establishment of Super High Yield Cultivation Mode of Spring Soybean Under Film Drip Irrigation in Xinjiang

ZENG Kai, ZHAO Jing, ZHANG Heng-bin, LUO Geng-tong, ZHAN Yong, LIU Tao

(Institute of Crops Research, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences/National Soybean Industrial Technology System, Shihezi Experiment Station/Key Lab of Xinjiang Production and Construction Corps for Cereal Quality Research and Genetic Improvement, Shihezi 832000, China)

Abstract: In 2016 and 2017, the Crop Research Institute of Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences carried out the research on the establishment of super high yield field of soybean Jiyu 86 by submembrane drip irrigation, and obtained the super high yield of more than $6\,200\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ for two consecutive years. This study took it as a reference to analyze the yield structure, population characteristics and physiological characteristics of the super high yield, and introduced the specific process and measures of the super high yield technology. The results showed that $252\,400\text{ plants}\cdot\text{ha}^{-1}$ were harvested, with an average of 31.8 pods and $92.54\text{ seeds per pod}$, with an average of $2.91\text{ seeds per pod}$, with seed weight of 26.33 g per plant and seed weight of $28.46\text{ g per 100 plant}$. In terms of population characteristics, the biological yield accumulated in the $68\sim127$ days after seedling emergence, that the $R_4\sim R_6$ stages, and the LEAF area index (LAI) reached a maximum of 7.2 in the pod setting and pellet stage, and the LAI was maintained for 42 days from the beginning of pellet stage (R_5) to the beginning of ripening stage (R_7) ≥ 3 . The physiological characteristic is that the chlorophyll content reaches above 52 at the maximum in the drum-seed stage. The characteristics of organ balance were that leaves, petioles, stems, peels and seeds accounted for 16.3% , 13.7% , 18.2% , 14.8% and 37.0% , respectively. According to the characteristic indexes of super high yield soybean, combined with the current cultivation measures, the cultivation mode of super high yield soybean in Xinjiang was summarized from the aspects of fertilization technology, irrigation measures, chemical regulation and foliar fertilization, etc. This mode area has certain reference significance for improving the yield per unit area and increasing the total yield of soybean in Xinjiang and even in China.

Keywords: Xinjiang; Spring soybean; Drip irrigation under mulch; Super-high yield; Cultivation patterns

收稿日期:2020-08-16

基金项目:国家大豆产业技术体系石河子综合试验(CARS-04-CES08);国家重点研发计划(2017YFD0101302);兵团科技攻关与成果转化计划(2016AC027)。

第一作者:曾凯(1986—),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆新品种培育与高产栽培技术研究。E-mail:252074127@qq.com。

通讯作者:战勇(1972—),男,硕士,研究员,主要从事大豆新品种培育与高产栽培技术研究。E-mail:shzzhy01@163.com;

罗赓彤(1939—),男,研究员,主要从事大豆新品种培育与高产栽培技术研究。E-mail:nkylgt@163.com。

随着我国人民生活水平的提高,油料、饲料和豆制品的需求量逐渐增大,对大豆的需求急剧增加。近年来中国大豆产量从2015年的1 161万t增加至2018年的1 500万t^[1],但我国大豆产量的增长远不能满足国内市场需求。而在种植面积有限的前提下,提高大豆单产是增加大豆总产的主要途径^[2]。

新疆早在1999年采用新大豆1号以沟灌的方式创造5 956.2 kg·hm⁻²的大豆超高产记录^[3],并在此基础上后续着重开展了大豆高产及超高产创建的相关栽培技术研究^[4],特别是膜下滴灌、水肥一体化技术的运用,为创造大豆超高产提供新的途径^[5]。2016年采用“大豆膜下滴灌超高产栽培模式”创建大豆吉育86超高产田,获得6 200 kg·hm⁻²以上的超高产量,建立并优化“新疆春大豆膜下滴灌6 200 kg·hm⁻²超高产栽培技术”。基于此项技术,2017年在新疆农垦科学院试验田继续利用高产大豆品种吉育86开展膜下滴灌超高产创建研究工作,实现了6 273.3 kg·hm⁻²的产量,并连续两年获得6 200 kg·hm⁻²以上的超高产。吉育86由吉林省农业科学院大豆研究所引进,2011—2012年在新疆农垦科学院作物研究所进行高产鉴定,采用膜下滴灌高产栽培模式,表现高产、抗倒伏,2013—2014年继续进行高产栽培条件优化研究。该品种属于北方春大豆中晚熟品种,在新疆石河子地区表现为株高96.5 cm左右,主茎18节,单株36荚、98粒,尖叶、紫花、灰毛、亚有限结荚习性,粒椭圆、种皮黄色,黄脐,百粒重28 g,秆强抗倒伏。其特点是单株3~4粒荚占总荚数的68.8%以上,根据谷物近红外分析仪(9100型)测定,籽粒粗蛋白质含量为39.3%、粗脂肪含量为20.53%。石河子地区每年4月下旬播种,5月上旬出苗,9月下旬成熟,生育期138~148 d,需≥10℃积温3 200℃。本研究拟通过对2017年利用高产大豆品种吉育86,采用“膜下滴

灌大豆高产栽培模式”创造6 273.3 kg·hm⁻²的大豆超高产模式为例,对相应的栽培技术措施进行总结,通过生育期群体生理参数的测定,解析产量结构、群体特征、生理特性等,并基于多年工作基础总结出超高产技术的具体流程与措施,优化建立“新疆春大豆膜下滴灌6 200 kg·hm⁻²超高产模式”,以为新疆乃至全国同类地区大豆高产高效种植及大面积示范推广提供理论依据与技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆品种吉育86,来自吉林省农业科学院大豆研究所。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地概况 大豆高产示范田位于新疆石河子市新疆农垦科学院作物研究所二轮五号地(44°19'N,86°13'E),海拔442.9 m,年降雨量216.6 mm,蒸发量1 664.1 mm,≥10℃积温3 662.4℃,属于典型的大陆性气候。平均无霜期193 d,日照时数1 650 h。示范田土壤为灌溉灰漠土,质地壤土,前茬为小麦。播种前取耕层0~20 cm土壤化验,有机质含量为21.2 g·kg⁻¹,碱解氮46.8 mg·kg⁻¹,速效磷64.7 mg·kg⁻¹,速效钾556.2 mg·kg⁻¹,硼38.8 mg·kg⁻¹,锌0.1 mg·kg⁻¹,锰2.1 mg·kg⁻¹,pH7.9,属偏碱性上等肥力。

1.2.2 种植模式 采用膜下滴灌宽窄行种植方式,一机两膜,膜宽205 cm,播幅宽460 cm,一膜3双行,窄行行距20 cm,宽行行距55 cm,膜间及交接行距60 cm,平均行距38.3 cm,株距9.8 cm,保苗27.2万株·hm⁻²,3条滴灌带铺设在窄行20 cm之间(图1),通过滴灌系统滴水施肥。

1.2.3 肥料 本研究中所采用的肥料类型、主要成分等信息详见表1。

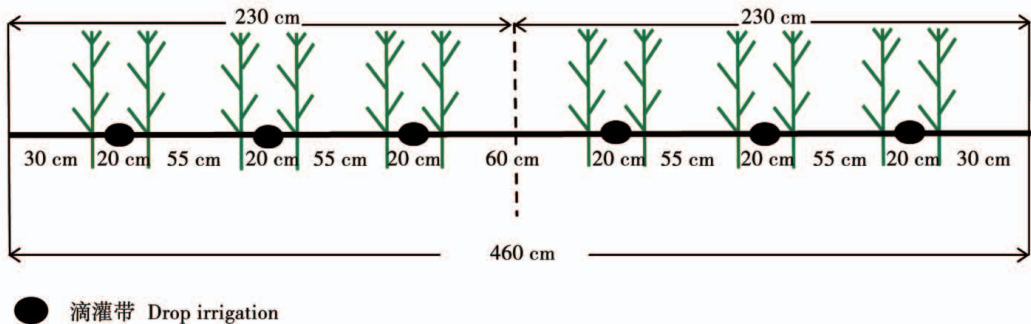


图1 田间种植模式
Fig.1 Field planting pattern

表 1 供试肥料
Table 1 Fertilizers used in the experiment

肥料 Fertilizer	主要成分与含量 Main ingredients and content	生产厂家或品牌 Manufacturer or brand
尿素 Urea	N≥46.4%	新疆中能万元化工有限公司 Xinjiang Zhongneng Wanyuan Chemical Co. Ltd.
磷酸一铵 MAP	≥98.5%	湖北祥云化工股份有限公司 Hubei Xiangyun Chemical Industry Co. Ltd.
硫酸钾 KPS	K ₂ O≥50%	格尔木土中金肥业有限公司 Golmud Zhongjin Fertilizer Co. Ltd.
有机微肥 Organic trace element fertilizer	有机质≥30%,微量元素(Zn、Fe、Mn、Cu、B、Mo)≥2.6%,NPK≥9%	四川省欧诺化工有限公司 Sichuan Ounuo Chemical Co. Ltd.
多效唑 MET	15%	四川国光农化股份有限公司 Sichuan Guoguang Agrochemical Co. Ltd.
缩节胺 DPC	≥98%	德州祥龙生化有限公司 Dezhou Xianglong Biochemical Co. Ltd.
磷酸二氢钾 Potassium dihydrogen phosphate	P ₂ O ₅ ≥52%, K ₂ O≥34%	四川安达农森科技有限公司 Sichuan Anda Nongsen Technology Co. Ltd.

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生育期记载 在大豆超高产田长势均匀地段随机连续选取 10 株,按 Fehr^[6]生育期的划分标准定期调查营养生长期(V)与生殖生长期(R)。

1.3.2 干物质及叶绿素含量测定 在超高产田均匀布 3 点(每点面积 11.5 m²),出苗后第 20 天(三片复叶期)在点内选取长势相同的连续 5 株进行第 1 次取样,并利用 SPAD 叶绿素仪测出各时期叶绿素含量,以后每隔 14 d 进行取样调查统计。取样后将各器官分离烘干,分别称量干物质重量,计算各时期生物产量并测定叶面积指数。

1.3.3 大豆器官平衡及经济系数测定 采用斜线 3 点法分别取东、中、西方位各 1 点为固定点,设为 A、B、C 点,在大豆 R2 期利用制作的开放式钢筋网纱框架在每点内围取 4 株,于 R8 期回收钢筋网纱框架内全部脱落器官和植株,风干后分别称量各器官干物质重量,用以计算大豆群体器官平衡和经济系数。

1.3.4 大豆生产能量积蓄和物质积累 参照董钻^[7]的测定方法,计算出光合产物形成后大豆群体积蓄和消耗的能量和摄取 CO₂ 的数量,并测定大豆氮磷钾的吸收量。

1.3.5 大豆完熟期超高产田测产调查 于 R8 期(完熟期)在超高产田中均匀选取 15 点(每点面积 13.8 m²),统计每点收获株数,并取样 24 株,带回室内考种,计算各点产量。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2010 进行统计分析及制图。

2 结果与分析

2.1 大豆超高产群体产量水平与产量结构

全田共取 15 个样点测产,折合收获 25.24 万株·hm⁻²、理论产量 6 944.4 kg·hm⁻²(表 2)。超高产田实收面积 0.57 hm²,人工田间收获脱粒,总产 3 336.203 kg,折合产量 5 867.4 kg·hm⁻²;人工收获前,取其中高产区(去除四周保护行)831.9 m²进行人工实收产量测定,实际产量 522.85 kg,折合产量 6 273.3 kg·hm⁻²。

高产大豆群体农艺性状如表 2 所示,平均株高 81.63 cm、底荚高度 24.53 cm、茎粗 0.72 cm、主茎节数 17 节、分枝数 0.1。高产大豆群体产量性状为单株荚数 31.85 个,其中一粒荚、二粒荚、三粒荚、四粒荚和五粒荚分别占单株荚数的 8.7%、22.6%、38.4%、30.4%和 4.9%。平均单株粒数 92.50 粒,平均每荚 2.91 粒,单株粒重 27.56 g,百粒重 28.46 g。

分析超高产田块(产量为 6 200 kg·hm⁻²以上)产量结构可知,产量超过 8 000 kg·hm⁻²时其平均单株粒数为 100.04,单株粒重为 32.92 g,密度为 25.27 万株·hm⁻²;产量为 7 000~8 000 kg·hm⁻²时其平均单株粒数为 98.55,单株粒重为 29.47 g,密度为 26.97 万株·hm⁻²;产量为 6 200~7 000 kg·hm⁻²

时其平均单株粒数为 88.72,单株粒重为 25.11 g,密度为 26.14 万株·hm⁻²(表 3)。而产量小于 6 200 kg·hm⁻²时其平均单株粒数为 87.08,单株粒重为 24.61,密度为 23.79 万株·hm⁻²(表 2)。因此,在新疆石河子地区种植吉育 86,收获株数为 26.13 万

株·hm⁻²,百粒重为 29.15 g,单株粒数为 95.77 粒,主茎节数为 17.11,株高为 84.98 cm 的情况下可达到超高产目标。由以上分析可知大豆超高产产量的关键因素在于如何平衡种植密度与单株粒数、百粒重之间的关系。

表 2 2017 年吉育 86 各测产点考种统计表
Table 2 The statistical table of Jiyu 86 in 2017

取样点 编号 Sample point code	株高 Plant height /cm	底荚高 Bottom pod height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	主茎 节数 Main stem node number	分枝数 Branching number	一粒 荚数 One-seed pod number	二粒 荚数 Two-seed pod number	三粒 荚数 Three-seed pod number	四粒 荚数 Four-seed pod number	五粒 荚数 Five-seed pod number	单株 荚数 Pod number per plant	单株 粒数 Seed number per plant	单株 粒重 GWPP /g	百粒重 100-seed weight /g	收获 株数 Plant Number /(万株·hm ⁻²)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
1	81.25	27.48	0.65	17.92	0.13	3.25	8.88	11.21	8.54	0	31.88	88.79	26.28	28.90	23.07	6061.65
2	55.85	23.41	0.64	14.52	0.09	3.22	5.00	9.43	8.78	0.04	26.48	76.87	23.78	30.08	23.95	5694.75
3	80.58	24.9	0.71	16.13	0.08	2.21	6.00	11.17	10.13	0.04	29.54	88.42	25.90	29.03	26.00	6735.00
4	77.07	25.5	0.69	16.86	0	2.57	8.05	14.05	11.48	0	36.14	106.71	25.70	28.51	25.27	6494.85
5	80.29	24.31	0.67	16.57	0.17	4.00	7.63	9.92	7.54	0	29.08	79.17	25.25	31.62	25.30	6388.80
6	71.81	22.25	0.68	15.00	0.17	2.17	5.38	10.46	9.21	0	27.21	81.13	31.70	21.70	25.74	8159.80
7	77.94	24.33	0.78	17.54	0	2.00	6.00	13.17	11.00	0	32.17	97.50	25.40	26.02	22.62	5746.65
8	83.75	25.88	0.73	17.88	0.13	2.58	7.58	11.46	8.38	0.04	30.04	85.83	25.81	30.07	23.40	6040.65
9	94.71	28.04	0.70	17.67	0	3.13	7.58	10.21	7.92	0	28.83	80.58	23.60	29.29	27.98	6603.90
10	78.91	19.5	0.76	16.5	0.08	1.79	7.88	13.63	12.04	0	35.34	106.58	31.26	29.33	26.36	8239.05
11	87.25	20.92	0.72	17.13	0	2.71	8.33	13.92	10.21	0	35.17	101.96	30.24	31.17	26.49	8011.95
12	95.08	26.23	0.71	18.17	0.17	2.92	7.79	14.96	9.33	0	35.00	100.71	30.84	30.62	25.71	7928.55
13	90.59	25.39	0.74	18.13	0	2.70	5.48	11.00	9.83	0.09	29.10	86.43	21.80	21.80	25.89	5644.05
14	89.52	25.61	0.75	18.21	0.13	2.96	8.21	13.71	8.92	0.04	33.84	96.39	28.10	29.17	28.23	7933.50
15	79.90	24.15	0.80	16.63	0.38	3.50	8.04	14.75	11.67	0	37.96	110.50	37.70	29.58	22.50	8481.30
平均 Mean	81.63	24.53	0.72	16.99	0.10	2.78	7.19	12.20	9.67	0.02	31.85	92.50	27.56	28.46	25.24	6944.40

表 3 超高产取样点主要性状统计
Table 3 Statistics of main characters of super high yield sampling points

取样点数 Sample points number	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	主茎节数 Main stem node number	分枝数 Branching number	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100-seed weight/g	收获株数 Plant Number /(万株·hm ⁻²)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
4	79.47	0.74	16.32	0.16	33.92	100.04	27.95	25.27	8223.34
2	92.30	0.73	18.19	0.15	34.42	98.55	29.90	26.97	7931.03
4	83.16	0.69	16.81	0.06	30.90	88.72	29.61	26.14	6555.64
平均 Mean	84.98	0.72	17.11	0.12	33.08	95.77	29.15	26.13	7570.00

2.2 大豆超高产群体器官平衡分析

通过 A、B、C 3 点测定的吉育 86 各器官干物质重量可得出,平均叶片、叶柄、茎秆、荚皮和籽粒生物产量分别为 13.95,11.66,15.52,12.65 和 31.59 g,分别占总干重的 16.3%、13.7%、18.2%、14.8% 和 37.0% (表 4),与董钻^[7]的大豆超高产的各器官平

衡占比(器官平衡相比各器官所占比重)都有所差别,特别是叶片与籽粒,说明不同的品种、不同的栽培措施以及环境气候对各器官营养的分布、积累都有不同程度的影响,其中叶片对籽粒(即经济系数)影响程度最大。

表 4 吉育 86 大豆超高产群体器官平衡调查
Table 4 Investigation on organ balance of super high yield soybean population of Jiyu 86

项目 Item	测试点 Test point	叶片重 Leaf blade weight/g	叶柄重 Petiole weight/g	茎秆重 Stem weight /g	荚皮重 Pod skin weight/g	籽粒重 Seed weight/g	总重 Total weight /g
单株生物产量 Plant biomass	A	16.13	15.39	17.88	15.52	36.37	101.29
production/g	B	13.71	9.13	13.57	11.62	29.64	77.67
	C	12.02	10.45	15.1	10.8	28.753	77.123
	均值 Mean	13.95	11.66	15.52	12.65	31.59	85.36
各器官占比 Proportion of each organ /%		16.3	13.7	18.2	14.8	37.0	—
器官平衡占比 Organ balance/%		30	10	20	10	30	—

2.3 大豆超高产群体生育进程分析

由表 5 可知,从出苗期到完熟期,吉育 86 生育期 148 d,期间活动积温 3 411.64 ℃,≥10 ℃积温 3 171.64 ℃,平均每日 ≥10 ℃积温 21.43 ℃。其中,出苗至复叶全部展开历时 77 d,获得 ≥10 ℃积温 1 716.6 ℃,平均每日 ≥10 ℃积温 22.29 ℃,占整个生育期所需积温的 54.12%,复叶全部展开至完熟历时 71 d,获得 ≥10 ℃积温 1 455.04 ℃,平均每日 ≥10 ℃积温 20.49 ℃,占整个生育期所需积温的 45.88%。从各生育阶段分析可知,出苗至始花历时

32 d,获得 ≥10 ℃积温 693.56 ℃,占整个生育期所需积温的 21.86%,始花至始荚历时 24 d,获得 ≥10 ℃积温 593.49 ℃,占整个生育期所需积温的 18.71%,始荚至始粒历时 26 d,获得 ≥10 ℃积温 544.53 ℃,占整个生育期所需积温的 17.16%,始粒期至完熟期历时 66 d,获得 ≥10 ℃积温 1 340.04 ℃,占整个生育期所需积温的 42.25%。其中,鼓粒期历时最长,所需积温也最大,所以在大豆超高产创建中鼓粒期是整个生育期的关键时期,也是超高产关键栽培措施实施的重要时期。

表 5 超高产田大豆超高产群体生育进程
Table 5 The growth process of super-high yield soybean population in super-high yield field

物候期 Phenological phase	生育时期 Growing period	复叶数 Compound leaf number	日期/(月-日) Date /(month-day)	出苗后天数 Days after seedling/d	活动积温 Active accumulated temperature	≥10 ℃有效积温 Effective accumulated temperature ≥10 ℃
播种期 Seeding time		—	04-27	—	16.50	6.50
出苗期 Seedling stage	VE	—	05-06	—	144.84	134.84
单叶期 Single leaf stage	V1	—	05-11	5	235.35	215.35
复叶期 Compound leave stage	V2	1	05-15	9	307.76	277.76
	V3	2	05-19	13	380.13	340.13

续表 5

物候期 Phenological phase	生育时期 Growing period	复叶数 Compound leaf number	日期/(月 - 日) Date /(month-day)	出苗后天数 Days after seedling/d	活动积温 Active accumulated temperature	≥10 ℃有效积温 Effective accumulated temperature ≥10 ℃
	V4	3	05-24	18	470. 59	420. 59
	V5	4	05-30	24	579. 14	519. 14
	R1	5	06-07	32	763. 58	693. 58
	R2	6	06-14	39	960. 21	880. 21
		7	06-19	44	1087. 68	997. 68
		8	06-22	47	1163. 31	1063. 31
		9	06-24	49	1213. 73	1103. 73
		10	06-28	53	1314. 57	1194. 57
	R3	11	07-01	56	1417. 07	1287. 07
		12	07-04	59	1497. 65	1357. 65
		13	07-08	63	1605. 09	1455. 09
		14	07-11	66	1684. 61	1524. 61
	R4	15	07-13	68	1736. 36	1566. 36
		16	07-16	71	1813. 98	1633. 98
		17	07-19	74	1865. 73	1675. 73
		18	07-21	77	1916. 60	1716. 60
始粒期 Beginning of seed-filling stage	R5	—	07-26	82	2041. 60	1831. 60
满粒期 Full seed stage	R6	—	08-06	92	2332. 49	2112. 49
始熟期 Beginning of full filling stage	R7	—	09-09	127	3088. 87	2858. 87
完熟期 Full filling stage	R8	—	09-30	148	3411. 64	3171. 64
收获期 Harvest		—	10-12	160	3564. 88	3314. 88

2.4 大豆超高产群体理化性状的动态变化

2.4.1 干物质积累动态变化 根据定期定点取样,测定群体生物产量、经济产量和日增长量结果如图2所示,在127 d左右(R7期)吉育86的生物产量、经济产量、日增长量均可达到最大值,分别为20 500,634.65和686.94 kg·hm⁻²,其有效积温达

到2 858.87 ℃。平均日积累量为138.51 kg·hm⁻²,平均籽粒产量627 g·m⁻²,每株平均产量为25.26 g,需平均每日≥10 ℃积温22.51 ℃。生物产量增加最大时期在68~92 d左右,经济产量和日增长量增加最大时期均集中在出苗后68~127 d,即结荚期至鼓粒期(R4~R6)。

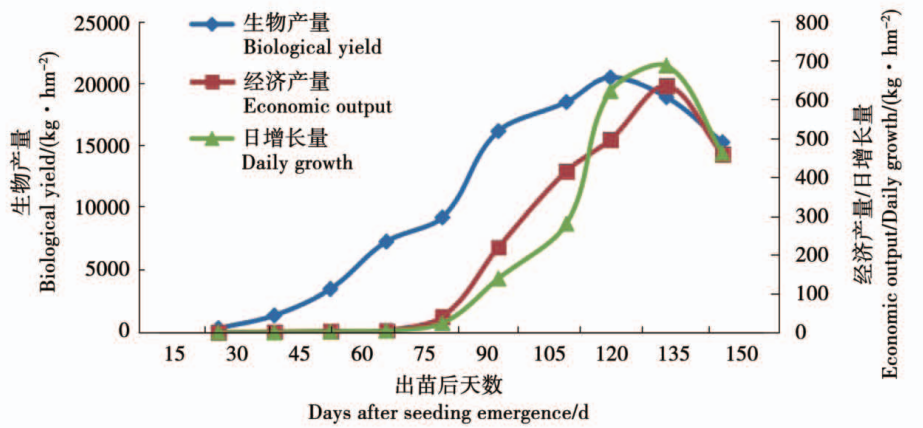


图2 超高产群体生物产量积累动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of biological yield accumulation in super high yield population

2.4.2 叶面积指数动态变化 由图3可知,吉育86叶面积指数(LAI)≥3的时间持续了71 d左右, LAI≥4出现在出苗后的53 d前后,始花之前LAI稳步增大,结荚鼓粒期达到最大值5.7~7.2,鼓粒始期(R5)至始熟期(R7),LAI≥3维持42 d。

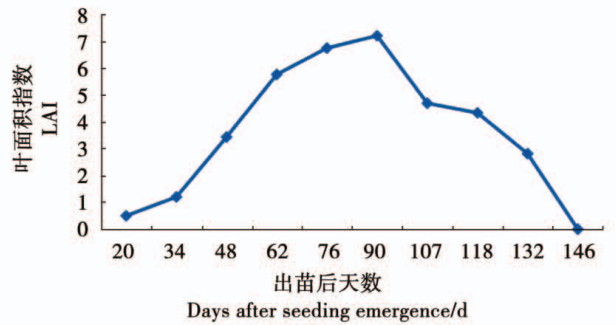


图3 超高产叶面积指数动态变化

Fig. 3 Dynamic change of leaf area index (LAI) of super high yield

2.4.3 叶绿素含量动态变化 吉育86属于披针形叶片,中上部平均叶长17.3 cm,宽7.47 cm,长:宽=2.32:1,由表6可知,叶绿素指也在鼓粒期处于峰值,最高达到52。

表6 吉育86叶绿素含量动态变化

Table 6 Dynamic changes of specific leaf weight and chlorophyll content of Jiyu 86

出苗后天数 Days after seedling emergence/d	生育时期 Growth stage	叶绿素值 Chlorophyll value
20	V3	—
34	R2	—
48	R2	45.8
62	R3	46.2
76	R4	49.0
90	R5	52.0
107	R6	50.3
132	R7	29.6

2.5 大豆超高产群体能量积累与消耗

根据《大豆产量生理基础》(第二版)^[7]中Howell所提供的资料估算,每形成1 kg大豆籽粒,积蓄和消耗的能量为3.6万kJ;大豆每形成1 kg生物产量,群体从空气中吸收2.0~2.5 kg CO₂。2017年大豆吉育86超高产6 273.3 kg·hm⁻²积累和消耗能量为22 583.88万kJ左右;当年生物产量为2.05万kg·hm⁻²,吸取的CO₂量为4.1万~5.13万kg·hm⁻²。

2.6 大豆超超高产田的水肥运筹

历年来新疆大豆高产创建是根据大豆不同生育时期对养分的需求及群体长势采用基肥、追肥、叶面肥等形式施入,以达到苗壮、增花、增荚、促粒重、增产量的目的^[3-5]。研究主要采用膜下滴灌技术,利用滴灌水肥一体化实现大豆田间水肥耦合,精确地将肥料随水滴入大豆根系区,减少肥料的挥发和渗漏损失;利用化学调控剂控制植株生长,使大豆生育期间可以充分、经济、有效地利用光、热、水、土资源,实现大豆高产、高效和优质的目标。

2.6.1 施肥措施 本年度基肥施羊粪45 t·hm⁻²,磷酸二铵225 kg·hm⁻²,尿素84 kg·hm⁻²,生育期随水施尿素699.1 kg·hm⁻²,磷酸一铵223.05 kg·hm⁻²,硫酸钾248.7 kg·hm⁻²。从始花期(R1)到结荚期(R4)共计40 d,分5次随水施入,氮肥施入量占总量的48.91%;磷肥施入量占总施肥量的57.7%,钾肥施入量占总施肥量的65.56%,从始粒期(R5)至完熟期(R7)共计57 d,分7次随水施入,氮肥施入量占总量的61.5%;施入量占总施肥量的38.5%,施入量占总施肥量的34.44%(表7)。

2.6.2 灌水措施 春季当5 cm土壤温度稳定在10℃时,采用干播湿出方式,第一次出苗,滴水时间为4月27日,滴水量为648 t·hm⁻²,要求渗透耕层,苗期5月上旬至6月上旬(始花期)32 d不滴水,达到蹲苗发根的目的。大豆花荚期6月中下旬至7月

中旬,历时 49 d,期间共滴水 5 次,滴水量 3 324. 15 t·hm⁻²,占生育期总耗水的 42.9%。7 月下旬至 9 月上旬,历时 45 d,进入大豆鼓粒的生殖生长期,期间共滴水 5 次,滴水 2 620. 2 t·hm⁻²,占总耗水量的 33.8%。大豆成熟期在 9 月 9 日—9 月 30 日,历时 21 d,滴水 2 次,滴水量为 790. 05 t·hm⁻²,占总耗水量的 10.2%。本年度吉育 86 生育期 148 d,出苗水到完熟期共耗水 7 744. 5 t·hm⁻²(含降水量),平均每天耗水 52. 35 t·hm⁻²(表 8)。

2. 6. 3 化学调控技术 根据吉育 86 植株下部 1 ~ 8 节结荚少、底荚高的特性,化控主要集中在苗期至盛花期,当年在 2 片复叶期(5 月 24 日),4 片复叶期(5 月 31 日)各喷施缩节胺 150 g·hm⁻²,6 片复叶期(6 月 9 日)喷施缩节胺、多效唑分别为 160. 5 和 214. 5 g·hm⁻²,8 片复叶期(6 月 22 日)喷施缩节胺、多效唑分别为 330 和 180 g·hm⁻²(表 9)。喷施化控剂时期控制在滴水、施肥前 2 ~ 3 d。

表 7 2017 年吉育 86 大豆高产创建施肥统计表
Table 7 Statistics table of fertilization for high yield of Jiyu 86 in 2017

生育时期 Growth stage	播种期	出苗期	始花期	盛花期	始荚期	盛荚期		始粒期		满粒期		始熟期		完熟期	施用量
	Seeding time	Seedling stage	Beginning of flowering stage	Full bloom stage	Beginning of podding stage	Full pod stage		Initial seed stage		Full seed stage		Beginning of full filling stage		Full filling stage	Dosage of application /(g·hm ⁻²)
时间 Date/(month-day)	04 - 27	05 - 06	06 - 07	06 - 14	07 - 01	07 - 13		07 - 26		08 - 06		09 - 09		09 - 30	—
复叶数 Compound leaf number	—	—	6	9	12	14	16	18	—	—	—	—	—	—	—
施肥日期 Application date/(month-day)	—	04 - 28	06 - 15	06 - 25	07 - 04	07 - 11	07 - 17	07 - 26	08 - 01	08 - 09	08 - 16	08 - 23	08 - 29	09 - 05	—
尿素 Urea/(kg·hm ⁻²)	—	—	60. 45	61. 80	68. 70	68. 70	82. 35	54. 90	82. 35	68. 70	41. 25	54. 90	41. 25	13. 80	699. 15
磷酸一铵 MAP/(kg·hm ⁻²)	—	—	17. 10	34. 35	34. 35	34. 35	17. 10	25. 80	25. 80	17. 10	8. 55	8. 55	—	—	223. 05
硫酸钾 KPS/(kg·hm ⁻²)	—	—	17. 10	34. 35	51. 45	34. 35	25. 80	17. 10	25. 80	17. 10	17. 10	8. 55	—	—	248. 70

表 8 吉育 86 大豆不同生育时期的耗水量
Table 8 Water consumption of Jiyu 86 at different growth periods

项目 Item	生育时期 Growth period					合计 Total
	出苗至始花期 From seedling to flowering	花荚期 Flowering and podding stage	鼓粒期 Seed filling stage	成熟期 Mature stage		
出苗后天数 Days after seedling/d	32	33 ~ 81	82 ~ 126	127 ~ 147		147
阶段耗水量 Stage water consumption/(t·hm ⁻²)	1010. 10	3324. 15	2620. 20	790. 05		7744. 50
占总耗水量 Total water consumption/%	13. 0	42. 9	33. 8	10. 2		100. 0
日耗水量 Daily water consumption/(t·hm ⁻²)	31. 50	67. 80	55. 20	37. 50		52. 65

2.6.4 叶面肥喷施 吉育 86 结荚、鼓粒主要集中在冠层中、上部。始荚期(6 月 28 日)主茎已 11 片复叶,盛荚期(7 月 20 日)主茎 18 片复叶全部展开,R5 至 R7 期根系逐渐衰老,为弥补根系吸收养分的不足,适量均衡的喷施叶面肥,延长中、上部功能叶

寿命,保持叶绿素含量,提高光合速率。从 R1 至 R8 期间 120 d,叶面喷洒尿素 7 次,总量为 21.00 kg·hm⁻²,磷酸二氢钾 9 次,总量为 17.98 kg·hm⁻²,有机络合微肥 7 次,总量为 12.64 kg·hm⁻²,3 种肥料以混合水溶液喷施(表 9)。

表 9 2017 年吉育 86 大豆高产创建化控、叶面肥统计表

Table 9 Statistics table of chemical control and foliar fertilizer of Jiyu 86 soybean with high yield in 2017													
生育时期 Growth stage	复叶数 Compound leaf number							始粒期 Initial seed stage	满粒期 Full seed stage			始熟期 Beginning of full filling stage	合计 Total /(kg·hm ⁻²)
	3	4	5	7	11	15	16						
日期/(月-日) Date/(monty-day)	05-24	05-31	06-09	06-22	06-28	07-13	07-17	07-31	08-15	08-19	08-24	09-09	—
缩节胺 DPC/(kg·hm ⁻²)	0.15	0.15	0.16	0.33	—	—	—	—	—	—	—	—	0.79
多效唑 MET/(kg·hm ⁻²)	—	—	0.21	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	0.39
尿素 Urea/(kg·hm ⁻²)	1.50	0.75	—	0.75	—	—	3.00	—	4.50	—	4.50	6.00	21.00
磷酸二氢钾 Mono potassium phosphate /(kg·hm ⁻²)	1.50	1.50	1.93	2.25	1.80	—	1.50	—	2.25	—	2.25	3.00	17.98
有机微肥 Organic trace element /(kg·hm ⁻²)	1.50	2.25	2.14	3.00	1.65	—	1.50	—	—	—	0.60	—	12.64

3 讨论

3.1 新疆春大豆超高产品种选择

获得大豆超高产,选择与之生态环境适宜的高品种是首要条件。在新疆膜下滴灌水肥一体化栽培条件下,大豆超高产品种建议选择具有适宜熟期,节间较短、易控,主茎结荚均匀,具有少量分枝,花荚量多,百粒重大,且根系发达,秆强,抗倒伏,耐水肥、耐密植等特性的高产品种。

3.2 合理的灌水措施

新疆属于典型的绿洲农业灌溉产区。滴灌技术的利用,大大提高了灌溉强度和灌溉频率的可控性,并且通过多次限量可控灌水,可为实现水、肥同步,发挥水、肥协同,提高根系养分吸收和对塑造理想株型^[8-9],形成大豆超高产群体提供有利保障。

大豆的灌溉需根据天气、温度、降雨、土壤墒情以及大豆生育时期对水的生理需求加以确定^[10]。新疆春大豆超高产灌水遵循“两头轻,中间重”的模

式。新疆石河子地区每年在 4 月 20 日左右采用膜下滴灌干播湿出的方式播种。播种后立即滴水,此方法有利于大豆发芽整齐,出苗一致。在出苗至始花期(5 月上旬至 6 月上旬)采用蹲苗促根措施,使其根壮苗齐,提高抗倒伏能力。在进入大豆营养生长与生殖生长并进时期(6 月中下旬至 7 月中旬),气温高、光照强,植株干物质积累迅速,大量花荚开始形成,为促进花荚成功率,需提高灌水强度,增加冠层湿度,利于叶片蒸腾和光合作用,灌水量占总灌水量的 40%~45%。但该时期的灌水需要有所控制,防止大豆群体中期徒长倒伏。在进入大豆鼓粒灌浆期(7 月下旬至 9 月上旬),光照充足,昼夜温差大,光合作用强,干物质积累较多,为保障光合物质转化效率,增加粒重,需稳定水分供给,但灌水量要根据气候条件来确定,以防倒伏,灌水量占总灌水量的 35%~40%。进入始熟至晚熟期(9 月的中下旬),为延缓顶端叶片衰老、根茎活力下降、增加粒重,需少量灌水,灌水量占总灌水量的 8%~

10%。试验年度吉育 86 生育期 148 d,出苗到完熟期共耗水 7 744. 1 t·hm⁻²(含降水量),平均每天耗水 52. 35 t·hm⁻²,水产比为 1. 23:1。

3.3 合理的肥料利用

滴灌施肥是利用滴灌系统将肥料溶于水,并随水通过各级管道以点滴的形式施入根系附近。因而,在施肥量、施肥时间和施肥均匀度等方面更加精细准确,能较好地满足作物生育各个时期对养分的需求,从而使作物获得较好的产量和经济效益^[11-12]。新疆超高产春大豆肥料的施用遵循“氮肥稳施,前轻后重;磷钾精施,叶肥配合”的原则。通过播种前与收获翻地后取土样化验结果对比,收获后土壤碱解氮增加 37. 58 mg·kg⁻¹,增加 80. 3%;速效磷减少 31. 2 mg·kg⁻¹,减少 48. 22%;速效钾减少 99. 57 mg·kg⁻¹,减少 17. 9%;有机质减少 1. 25 mg·kg⁻¹,减少 5. 9%;pH 值降低 0. 39。吉育 86 大豆品种达到 6 273. 3 kg·hm⁻²的超高产,平均每 100 kg 籽粒吸收施入氮为 7. 96 kg、P₂O₅为 3. 52 kg、K₂O 为 4. 59 kg,比率为 1:0. 44:0. 58。研究结果与章建新等^[13]研究结果氮:P₂O₅:K₂O = 1:0. 28:0. 69,倪丽^[14]研究结果氮素 7. 01 kg,磷素 1. 86 kg,钾 4. 43 kg,氮磷钾比例约为 1:0. 27:0. 63,董钻^[15]研究结果,平均产 100 kg 大豆籽粒吸收氮 8. 10 ~ 9. 25 kg、P₂O₅ 1. 64 ~ 2. 47 kg、K₂O 2. 9 ~ 3. 67 kg,氮钾比例为 1:0. 21 ~ 1:0. 31,氮磷比例为 1:0. 36 ~ 1:0. 46 等的试验结果有所区别。所以新疆超高产大豆氮、磷、钾等养分吸收与利用规律还有待进一步深入研究。另外,通过培肥地力,保证土壤肥力均匀,防止因肥力不均而出现的点片倒伏也是大豆超高产实现的一个重要因素。

3.4 必要的化学调控措施

新疆在大豆超高产创建中,均采用有机肥与氮、磷化肥作为底肥,并且按生育期进程,运用水肥一体化措施进行管理,所以在高水、肥供应的栽培条件下容易造成大豆群体旺长而倒伏减产。采用多效唑、缩节胺化控剂处理,使植株矮化,避免倒伏是新疆大豆超高产创建过程中的关键措施。目前,采用的化学调控主要集中在盛花期之前,通过化控控制每节平均长度在 4 ~ 5 cm 为宜,降低植株高度避免倒伏。本年度通过 4 次化控剂的喷施,平均株高 81. 63 cm,节数 16. 99,平均每节长度 4. 80 cm,缩短了主茎下部节间长度,防止旺长倒伏。根据多年实践并借鉴有关文献^[16-19],喷施化学调控剂可使植株达到:主茎节间缩短,植株矮化,茎秆增粗,结荚

高度降低,分枝略微增加,叶柄缩短等效果。这也是新疆春大豆超高产创建中塑造理想株型,提升种植密度,提高光合效率,在关键时期抑制营养生长,增强生殖生长的关键措施。

新疆春大豆膜下滴灌超高产栽培模式于 2018 和 2019 年进行优化改进,期间利用该模式创建新疆春大豆高产典型示范,2020 年利用该模式在重茬条件下进行模式化管理,创造了 6 804. 75 kg·hm⁻² 的全国大豆高产新纪录。

4 结 论

新疆春大豆膜下滴灌超高产栽培模式能够为大豆苗全、苗齐、苗匀、苗壮提供保障,生长期能够满足大豆对水肥的需求,确保生育期间水肥合理供应,该模式能够充分发挥大豆品种增产潜力,保花荚、抗倒伏、增粒重,增产效果显著,本模式的建立将为新疆乃至全国同类地区实现大豆高产高效种植提供技术支撑。

参考文献

[1] 曹永强,王昌陵,王文斌,等. 国内外大豆产业、科技现状浅析与我国大豆产业发展思考[J]. 辽宁农业科学, 2019(6): 44-48. (Cao Y Q, Wang C L, Wang W B, et al. A brief analysis on the status of soybean industry, science and technology at home and abroad and the development of soybean industry in China[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2019(6): 44-48.)

[2] 李东阳. 品种推广对大豆单产影响的实证分析[C]//第十届全国大豆学术讨论会论文摘要集. 北京:中国作物学会大豆专业委员会, 2017:1. (Li D Y. Empirical analysis on the influence of variety promotion on soybean yield per unit area[C]//Abstracts of the tenth national soybean academic symposium. Beijing: Soybean Professional Committee of Chinese Crop Society, 2017:1.)

[3] 罗赓彤,战勇,刘胜利,等. 新大豆 1 号和石大豆 1 号高产纪录的创造[J]. 大豆科学, 2001, 20(4): 270-274. (Luo G T, Zhan Y, Liu S L, et al. Xindadou 1 and Shidadou 1 record high yield[J]. Soybean Science, 2001, 20(4): 270-274.)

[4] 王连铮,罗赓彤,王岚,等. 北疆春大豆中黄 35 公顷产量超 6 吨的栽培技术创建[J]. 大豆科学, 2012, 31(2): 217-223. (Wang L Z, Luo G T, Wang L, et al. The cultivation technology of Zhonghuang 35 with yield of over 6 tons hectares was established in north Xinjiang [J]. Soybean Science, 2012, 31(2): 217-223.)

[5] 魏建军,罗赓彤,张力,等. 中黄 35 超高产大豆群体的生理参数[J]. 作物学报, 2009, 35(3): 506-511. (Wei J J, Luo G T, Zhang L, et al. Physiological parameters of high yield soybean population of Zhonghuang 35 [J]. Acta Agronomica Sinica,

2009, 35(3): 506-511.)

[6] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development[J]. Iowa State University of Science and Technology, 1977.

[7] 董钻. 大豆超高产生理基础[M]//董钻. 大豆产量生理. 第二版. 北京: 中国农业出版社, 2012: 223-228. (Dong Z. Physiological basis of high yield of soybean [M]// Dong Z. Soybean yield physiology. 2 ed. Beijing: Agricultural Press, 2012: 223-228.)

[8] 马江平, 黄玉芬. 浅谈膜下滴灌高产棉田水肥运筹规律[J]. 新疆农垦科技, 2013, 36(3): 8-9. (Ma J P, Huang Y F, et al. Discussion on the law of water and fertilizer management in high yield cotton field by drip irrigation under film[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2013, 36(3): 8-9.)

[9] 李永江, 蒲佰龙, 蒋桂英, 等. 膜下滴灌棉花采用“三水灌溉”法确保高产稳产[J]. 新疆农垦科技, 2016, 39(6): 64-67. (Li Y J, Pu B L, Jiang G Y, et al. Drip irrigation under film ensures high and stable yield of cotton [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2016, 39(6): 64-67.)

[10] 董钻. 大豆水分管理的理论依据[M]//董钻. 大豆产量生理. 第二版. 北京: 中国农业出版社, 2012: 132-134. (Dong Z. Theoretical basis of soybean water management [M]// Dong Z. Soybean yield physiology. 2 ed. Beijing: Agricultural Press, 2012: 132-134.)

[11] 尹飞虎, 何帅, 高志健, 等. 我国滴灌技术的研究与应用进展[J]. 绿洲农业科学与工程, 2015, 1(1): 3-6. (Yi F H, He S, Gao Z J, et al. Research and application progress of drip irrigation technology in China[J]. Oasis Agricultural Science and Engineering, 2015, 1(1): 3-6.)

[12] 曾胜和, 尹飞虎, 陈云, 等. 兵团肥料发展报告[J]. 2017 年新疆生产建设兵团农业供给侧结构性改革研讨会论文集, 2017: 21-47. (Zeng S H, Yin F H, Chen Y, et al. Fertilizer development report of the corps [J]. Symposium on Supply-Side Structural Reform in Agriculture of the XPCC in 2017, 2017: 21-47.)

[13] 章建新, 倪丽, 翟云龙. 施氮对高产春大豆氮素吸收分配的影响[J]. 大豆科学, 2005, 24(1): 38-42. (Zhang J X, Ni L, Zhai Y L, et al. Effect of nitrogen application on nitrogen absorption and distribution in high-yielding spring soybean [J]. Soybean Science, 2005, 24(1): 38-42.)

[14] 倪丽. 高产春大豆氮磷钾吸收分配规律研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2004. (Ni L. Study on nitrogen, phosphorus and potassium absorption and distribution of high yield spring soybean [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2004.)

[15] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 70-104. (Dong Z. Soybean yield physiology [M]. Beijing: Agricultural Press, 2012: 70-104.)

[16] 王化源. 多效唑在我国大豆栽培上应用近况与前景[J]. 大豆科学, 1992, 11(2): 173-177. (Wang H Y. Recent situation and prospect of application of polyazole in soybean cultivation in China[J]. Soybean Science, 1992, 11(2): 173-177.)

[17] 周君. 多效唑在滴灌大豆上的应用效果初探[J]. 新疆农垦科技, 2013, 36(3): 41-42. (Zhu J. A preliminary study on the application effect of dotriazole in drip irrigation of soybean [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2013, 36(3): 41-42.)

[18] 王宗标. 三唑类化合物(PP₃₃₃)对大豆农艺性状的影响及生理作用[J]. 大豆科学, 1991, 10(1): 69-72. (Wang Z B. Effects of triazole compounds (PP₃₃₃) on soybean agronomic characters and physiological effects [J]. Soybean Science, 1991, 10(1): 69-72.)

《大豆科学》正式加入 OSID 开放科学计划

《大豆科学》于 2019 年 8 月 1 日起正式加入 OSID(Open Science Identity)开放科学标识计划。将通过在文章上添加开放科学二维标识码(OSID 码),为读者和作者提供一个与业界同行和专家学术交流的平台,同时提供一系列增值服务,提升论文的科研诚信。

读者可以通过微信扫描论文的 OSID 码,在手机上听论文作者的语音介绍,可以看到论文的重点彩图和实验视频,也可直接与作者进行一对一的交流、关注作者的研究动向等。这些功能有助于读者深入了解该研究的实际状况与实现过程。

作者可以通过专属的 OSID 码对所著论文添加语音,介绍写作背景、动机、趣事以及研究灵感。添加无法在传统印刷出版展示的附加说明,以便更好地展现研究成果,拓展论文的传播方式。同时,通过 OSID 平台每位作者都能拥有所著论文的学术圈和问答,与读者进行交流互动。此外,作者还可以在学术圈发布感兴趣的话题、最新的研究观点、问题征集、学术推荐等,扩大作者自身的影响力,增强与读者的联系。