

小麦 玉米带田玉米施氮时期的定量研究*

李 隆 金绍龄 张丽慧 吴国菁 马永泰 孙宁科 索东让

(甘肃省农科院土肥所,兰州 730070) (张掖地区农科所,张掖 734000)

摘 要 1992年和1993年分别在临泽、张掖两地采用混料试验设计中的单形格子设计方法,定量地研究了小麦/玉米带田中等量氮肥在玉米基肥、拔节肥和抽雄肥中的最优分配比例。结果表明,小麦/玉米带田玉米施肥还必须考虑到小麦,将两种作物作为一个综合目标考虑;在带田玉米施纯氮量390 kg/hm²的条件下,覆膜玉米(张掖点)氮的分配应为基肥30 kg/hm²,拔节肥315 kg/hm²,抽雄肥45 kg/hm²;不覆膜玉米(临泽点)氮的分配应相应为150、150和90 kg/hm²。

关键词 带状间作,施氮时期,单形格子设计

中图分类号 S143.1, S158.3, S344.2

小麦/玉米带田是一种高产高效的间作套种方式。这种间作种植对肥料特别是氮肥的依赖性很强,两种作物中又以玉米对氮肥的依赖性更大^[1]。所以带田玉米的氮肥施用是增产的关键。近年来,在小麦/玉米带田氮肥施用量方面利用回归设计及其分析方法进行了大量研究,基本上明确了带田氮肥、特别是玉米氮肥的施用量^[2~4],但施肥时期仍沿用单种玉米的研究结果。小麦/玉米带田中两种作物共生期长达70~90 d,共生期二者相互作用、相互影响,有利于一种作物的任何措施都会对另一种作物产生影响。施氮时期对玉米的生长发育影响很大^[5],从而间接影响小麦的生长发育,所以研究小麦/玉米带田兼顾两种作物的玉米施氮时期具有重要实际意义。本文应用混料试验设计方法探讨一定量氮肥在玉米不同生育时期的最优分配方案,为合理施肥提供推荐方案。

1 设计及方法

试验采用混料试验的单形格子设计^[6],包含3个因子,即基肥(x_1),拔节肥(x_2)和抽雄肥(x_3), x_1 , x_2 和 x_3 分别表示一定量氮肥中基肥、拔节期追肥和抽雄期追肥所占的比例。采用P(3,2)设计,试验方案见表1。

表1 试验设计及玉米氮肥(纯氮)施用量 kg/hm²

试验号	x_1	x_2	x_3	总用量	施用时期		
					基 肥	拔节追	抽雄追
0(CK)	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	390	390	0	0
2	0	1	0	390	0	390	0
3	0	0	1	390	0	0	390
4	1/2	1/2	0	390	195	195	0
5	1/2	0	1/2	390	195	0	195
6	0	1/2	1/2	390	0	195	195

收稿日期:1996-04-25
* 甘肃省科委资助项目

试验采用 0.70 m 小麦+ 0.80 m 玉米的带田种植方式,田间管理同大田。张掖点玉米覆盖地膜,临泽点未覆。各小区均施 P_2O_5 150 kg /hm²和土粪 75000 kg /hm²作肥底。小麦带种肥施纯氮 120 kg /hm²,玉米带施纯氮总量 390 kg /hm²。

试验第 1 年在临泽县平川乡进行,重复 3 次;第 2 年在张掖地区农科所进行,重复 2 次;小区面积 22.7 m²(临泽)和 26.7 m²(张掖),张掖点的试验收获时分秸秆和籽粒采样,分析植株含氮量。

2 结果分析

2.1 玉米施肥时期对小麦产量的影响

2.1.1 模型建立 根据设计及回归系数计算方法,对于 {3, 2}设计, $b_1 = y_1, b_2 = y_2, b_3 = y_3, b_{12} = 4y_{12} - 2(y_1 + y_2), b_{13} = 4y_{13} - 2(y_1 + y_3), b_{23} = 4y_{23} - 2(y_2 + y_3)$, 得如下模型:

小麦产量
$$Y_{\text{临泽}} = 4289x_1 + 4134x_2 + 4911x_3 - 1558x_1x_2 - 267x_1x_3 - 2802x_2x_3$$
$$Y_{\text{张掖}} = 3188x_1 + 3398x_2 + 4125x_3 - 1590x_1x_2 - 2325x_1x_3 - 2055x_2x_3$$

小麦千粒重
$$Y_{\text{张掖}} = 36.8x_1 + 39.5x_2 + 43.7x_3 - 3.0x_1x_2 - 9.0x_1x_3 - 10.4x_2x_3$$

2.1.2 模型解析 三因子混料试验的单形是一个等边三角形,其三个顶点分别为 (1, 0, 0), (0, 1, 0)和 (0, 0, 1)。三角形内任一点 $p(x_1, x_2, x_3)$ 都是一个混料方案,且 x_1, x_2 和 x_3 分别代表点 p 到三个边的距离。将每条边到其所对顶点的距离划分为 10 份,则每份为 0.10,并划线,即可得如图 1 所示的单形坐标图。如在顶点 (1, 0, 0) 处,则肥料 100% 作基肥,同理在 (0, 1, 0) 或 (0, 0, 1) 处分别示 100% 作拔节追肥或 100% 作抽雄肥。以小麦产量和小麦籽粒千粒重为指标,建立的玉米施氮时期对其影响的模型,并由绘制的等产线图可以直观地分析玉米施肥时期对小麦产量的影响 (图 1)。

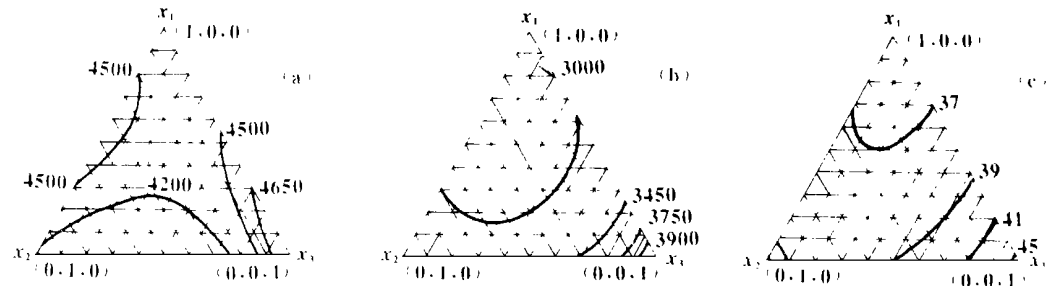


图 1 玉米施氮时期对小麦籽粒产量的影响

(a) 临泽点; (b) 张掖点,在顶点 (1, 0, 0) 处,玉米氮全部用作基肥,在 (0, 1, 0) 和 (0, 0, 1) 处,分别全部作拔节肥和抽雄肥; (c) 小麦千粒重等重线图

玉米施氮时期明显地影响着小麦的产量。小麦高产的等产线趋向靠近顶点 (0, 0, 1), 也就是说,小麦高产对玉米施氮时期的要求是尽量推迟,推迟到玉米抽雄时追肥,则小麦产量最高。如临泽点 (图 1a),小麦产量为 4200 kg /hm²时,要求 x_1 占 0% ~ 40%, x_2 为 25% ~ 100%, x_3 为 0% ~ 75%;小麦产量为 4500 kg /hm²时,要求 x_1 低于 15%, x_1 为 0% ~ 55%, x_3 则为 45% ~ 85%。最低不能低于 45%;而当小麦进一步提高产量时,如 4650 kg /hm²,则要

求 x_1 低于 30%, x_2 最高不能超过 10%, 对 x_3 要求 70% ~ 80% .这一点在张掖的试验结果中更为明显(图 1b),随着产量的升高,等产线愈接近顶点 (0, 0, 1) 小麦产量 3000 kg /hm², x_1 可在 15% ~ 85% 间变动, x_2 可在 0% ~ 70% 变动, x_3 可在 0% ~ 45% 变动;当小麦产量为 3450 kg /hm²时,要求 x_3 必须高达 70% ~ 80% ,至 3750 kg /hm²和 3900 kg /hm²时,则要求 x_3 高达 80% 以上. 两个点的试验结果充分说明,玉米施氮时期对小麦籽粒产量有明显影响.

玉米施氮时期对小麦籽粒千粒重的影响是对小麦产量影响的一个重要方面. 由图 1c 可以看出,玉米施氮时期明显地影响小麦籽粒千粒重. 当小麦千粒重为 37 g 时,氮肥在各个时期的分配 x_1 为 50% ~ 70%, x_2 为 0% ~ 35%, x_3 为 0% ~ 30% ,也就是说将玉米施氮重点放在基肥时,小麦千粒重必然下降,当玉米施氮量的 80% 左右分配于抽雄期时,小麦千粒重可提高到 41 g 左右. 表明玉米施肥对小麦千粒重影响很大,并与小麦产量的结果一致. 由此可见,要求带田小麦产量较高而且籽粒饱满度较好时,玉米的施氮期宜推迟,这在玉米覆膜情况下(如张掖点)表现更为明显. 这与前人在武威等地所得结论^[3]一致.

产生上述影响的主要原因是玉米氮肥施用时期对玉米植株的生长影响很大. 当玉米氮肥分配于前期,玉米长势很快,导致过早对小麦蔗荫,影响灌浆,从而影响小麦籽粒的饱满度(千粒重)以至产量. 相反,当玉米氮肥施于其生育后期,玉米较长时间内处于劣势,从而使小麦产量发挥至最大. 据测定,玉米前期不施氮,至 6月中旬时(小麦为灌浆期),玉米植株高度为 49. 9± 7. 7 cm;而玉米前期施用部分氮时,植株高度为 78. 9± 12. 7 cm;至 6月下旬时,则分别为 57. 6± 7. 7 cm 和 105. 1± 10. 6 cm.相应地,6月中旬和下甸小麦的植株高度施肥者分别为 72. 4± 6. 5 cm 和 87. 1± 8. 3 cm,不施肥者为 76. 5± 6. 8 cm 和 89. 6± 2. 7 cm. 玉米生长前期施肥者至 6月 2 日以后小麦一直受玉米遮荫,而玉米前期不施肥时,这段时间小麦不受遮荫,从而能充分接受光能.

玉米覆盖地膜条件下,生育进程较快,早期施氮会使玉米生长更迅速,导致对小麦的遮荫更为严重. 这可能是张掖点小麦高产要求玉米施氮时期尽量后移的一个重要原因.

2. 2 玉米施肥时期对玉米产量的影响

2. 2. 1 产量及其模型 由表 2 可见,施氮比不施氮玉米籽粒产量显著提高,临泽点为 79. 1%,张掖点为 166. 7% .建立的模型为:

临泽点 $Y = 11690x_1 + 12045x_2 + 8178x_3 - 3914x_1x_2 + 4696x_1x_3 + 3290x_2x_3$

张掖点 $Y = 6642x_1 + 7688x_2 + 3165x_3 + 52x_1x_2 + 7146x_1x_3 + 5206x_2x_3$

表 2 玉米施氮时期对产量的影响 kg /hm²

处理号	氮肥用量	产量代码	产量	
			临泽	张掖
0	0	Y_0	6527	2490
1	390	Y_1	11690	6642
2	390	Y_2	12045	7688
3	390	Y_3	8178	3165
4	390	Y_{12}	10889	7178
5	390	Y_{13}	11108	6690
6	390	Y_{23}	10934	6728

2. 2. 2 玉米施氮时期对玉米籽粒产量的影响 由图 2 可以看出,玉米籽粒产量的较高区

域在顶点 $(1, 0, 0)$ 或顶点 $(0, 1, 0)$ 附近, 即施肥的重点应是尽量提前。如临泽点 (图 2a), 产量 11400 kg/hm^2 时, 要求氮肥分配方式基肥为 $60\% \sim 85\%$, 拔节肥为 $0\% \sim 20\%$, 抽雄肥 $0\% \sim 40\%$, 即基肥为主; 或者基肥 $0\% \sim 20\%$, 拔节肥 $65\% \sim 85\%$, 抽雄肥 $0\% \sim 35\%$ 的拔节肥为主的分配方式; 要进一步提高产量, 如 11850 kg/hm^2 , 则要求抽雄期追肥 (x_3) 比例不能高于 20% 。在张掖点的结果则更为明显 (图 2b), 玉米高产的施肥分配区域应以拔节肥为主。如玉米籽粒产量 7500 kg/hm^2 , 要求拔节肥比例 (x_2) 不应低于 60% , 而产量 7650 kg/hm^2 , 则要求达 80% 以上。由于张掖点玉米覆盖地膜, 与临泽点 (未覆地膜) 的结果有一定差别, 但与以前在武威的小麦地膜玉米带田上的结果一致^[5]。

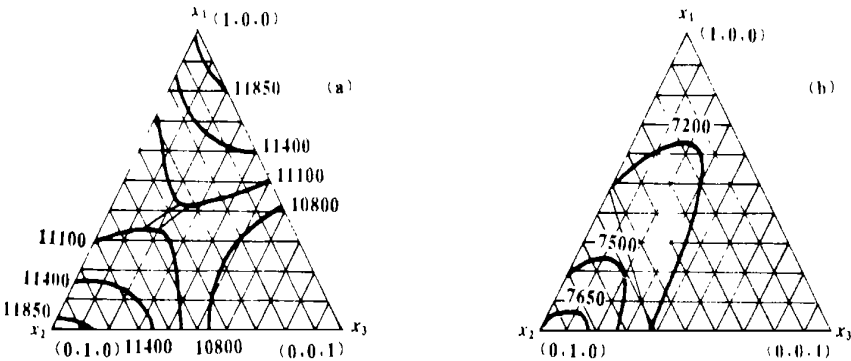


图 2 玉米施氮时期对玉米籽粒产量的影响

(a)临泽点; (b)张掖点

总之, 在带田玉米高产的氮肥运筹上, 玉米不覆膜, 应以基肥或拔节肥为主, 覆膜时则要求以拔节期追肥为重点。但小麦的高产却要求玉米施肥时期尽量后移, 使得小麦高产和玉米高产相互矛盾。解决好这个矛盾, 使得二者都处于互利状态, 实现带田高产将是这一问题的最优解。

2.3 玉米施氮时期对带田产量的影响

2.3.1 玉米施氮时期对带田籽粒产量的影响 带田产量是反映带田两种作物相互协调程度的综合指标。如前所述, 玉米施氮时期不仅影响玉米的产量, 而且还影响与其相间作的小麦的生长发育、籽粒饱满度和最终产量。因此, 以带田混合产量为指标建立施肥时期模型以确定施肥时期的最优分配是很有必要的。

用同样方法, 由表 3 建立的模型为:

临泽 $Y = 15978x_1 + 16179x_2 + 13086x_3 - 5470x_1x_2 + 4412x_1x_3 + 494x_2x_3$

张掖 $Y = 9830x_1 + 11078x_2 + 7290x_3 - 1524x_1x_2 + 4820x_1x_3 + 3164x_2x_3$

玉米不覆膜条件下, 施氮时期对带田混合产量的影响 (图 3a) 表明, 随着 x_3 增大, 产量趋于降低。张掖点的结果也表明, 带田高产要求玉米施氮时期要以玉米拔节期为重点。如 $x_2 > 50\%$ 时, 相应的带田产量为 10350 kg/hm^2 , 而当 $x_2 > 70\%$ 时, 相应的产量为 10650 kg/hm^2 , $x_2 > 90\%$ 时, 则带田混合产量可达 10950 kg/hm^2 。

表 3 施氮时期对带田籽粒产量的影响

kg/hm ²		
处理	临泽	张掖
1	15978	9830
2	16179	11078
3	13086	7290
4	14711	10073
5	15635	9765
6	14756	9975

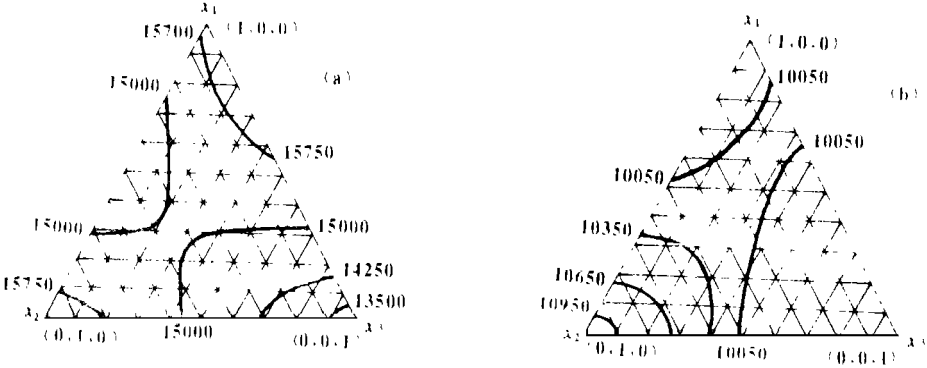


图 3 玉米施氮时期对带田籽粒产量的影响
(a)临泽点; (b)张掖点

2.3.2 玉米施氮时期 根据上面的分析,小麦/玉米带田中玉米氮肥施用时期的推荐要基于两种作物的综合指标——带田混合产量。用频数分析法分析产量 > 15000 kg/hm² 的施肥时期,在临泽点附近的土壤气候及栽培条件下,氮肥(纯氮)分配为:基肥 150 kg/hm²,拔节期追肥 150 kg/hm²,抽雄期追肥 90 kg/hm²;在张掖点附近,玉米覆膜施纯氮基肥为 30 kg/hm²,拔节期追肥 315 kg/hm²,抽雄期追肥 45 kg/hm²。

2.4 玉米施氮时期对两种作物吸氮量的影响

根据作物吸氮量(表 4)建立施氮时期对小麦/玉米及带田总吸氮量影响的模型为:

$$\begin{aligned} Y_{\text{小麦}N} &= 84.75x_1 + 91.05x_2 + 110.4x_3 - 56.4x_1x_2 - 38.7x_1x_3 - 87.3x_2x_3 \\ Y_{\text{玉米}N} &= 164.0x_1 + 172.5x_2 + 80.7x_3 - 41.0x_1x_2 + 131.8x_1x_3 + 88.4x_2x_3 \\ Y_{\text{带田}N} &= 248.7x_1 + 263.6x_2 + 191.1x_3 - 97.4x_1x_2 + 93.2x_1x_3 + 1.0x_2x_3 \end{aligned}$$

表 4 玉米施氮时期对两种作物吸氮量的影响 kg/hm²

处理号	小麦			玉米			带田合计
	籽粒	秸秆	小计	籽粒	秸秆	小计	
0	76.95	25.20	102.15	31.20	20.10	51.3	153.4
1	62.55	22.20	84.75	95.70	68.25	164.0	248.7
2	68.55	22.50	91.05	107.70	64.80	172.5	263.6
3	79.20	31.20	110.40	45.90	34.80	80.7	191.1
4	56.10	17.70	73.80	94.80	63.15	158.0	231.8
5	62.70	25.20	87.90	96.30	59.00	155.3	243.2
6	63.00	15.90	78.90	86.10	62.60	148.7	227.6

从用上述模型绘制的等吸氮量单形格子图(图 4)可以看出,玉米施氮时期愈向后推移,小麦吸氮量愈大,当 90% 以上的玉米肥料氮集中在玉米抽雄期时,小麦吸氮量达 105 kg/hm²,为最大;相反,玉米施氮期前移时,小麦吸氮量下降。

玉米施氮时期对玉米吸氮量的影响与对小麦相反,施氮期后移,使玉米吸氮量明显下降,抽雄期追肥占 35%~50% 时,玉米吸氮量 157.5 kg/hm²,当提高到 85% 左右时,玉米吸氮量下降至 105 kg/hm²。拔节期施氮量占总施氮 70% 以上,或基肥占 65%~90%,玉米

吸氮量较高 (图 4b)

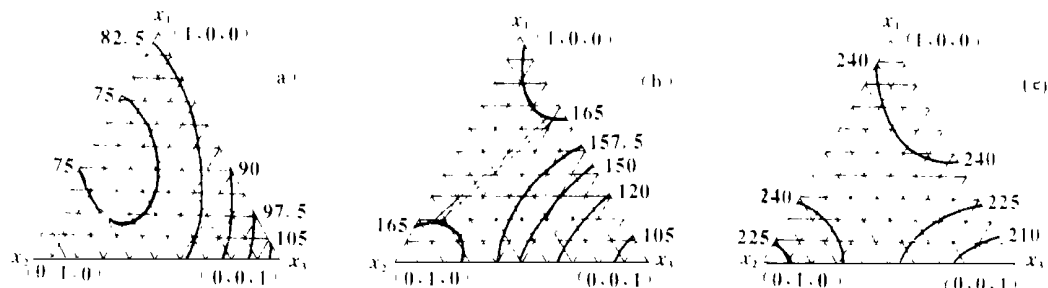


图 4 玉米施氮时期对作物吸氮量的影响 (张掖点)

(a) 小麦; (b) 玉米; (c) 带田

玉米施氮时期对两种作物吸氮量的综合影响可从图 4c 中清楚地看出, 氮以玉米拔节期为主施用使两种作物吸氮量最大, 这与带田产量结果是一致的 (张掖点)

3 结 论

1) 单形格子设计作为回归设计的一个方面, 在研究施肥时期方面具有直观定量的特点, 因此有较好的实用价值。

2) 玉米施氮时期不仅直接影响玉米的生长发育及产量, 而且对小麦的吸氮量、干粒重和籽粒产量也有很大影响。因此, 在小麦 / 玉米带田施肥研究中, 玉米施肥还必须考虑到小麦, 将其作为一个目标综合考虑。在玉米覆盖地膜条件下, 这种影响更为强烈。

3) 在临泽平川土壤气候条件下, 玉米一般不覆盖地膜, 带田总施纯氮量 $510 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 其中玉米为 $390 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 玉米施氮时期应为: 基肥 $150 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 拔节肥 $150 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 抽雄肥 $90 \text{ kg} / \text{hm}^2$; 在张掖点附近, 玉米覆盖膜条件下, 玉米施氮 (纯氮) 时期为: 基肥 $30 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 拔节肥 $315 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 抽雄肥 $45 \text{ kg} / \text{hm}^2$ 。

参考文献

- 1 李 隆. 小麦玉米带状间作氮营养吸收和利用效率研究. 西北农业大学硕士学位论文, 陕西杨陵, 1996
- 2 邱进怀, 李 隆, 包兴国等. 平川灌区带田培肥节能栽培模式研究. 甘肃农业科技, 1990(10): 24~26
- 3 郭天文, 李鸣涛, 刘世铎. 沿黄新灌区小麦玉米带田高产高效益综合农艺措施的初步研究. 甘肃农业科技, 1994(3): 5~7
- 4 孙惠萍. 吨粮田农艺措施数学模型试验研究. 甘肃农业科技, 1994(6): 14~15
- 5 李 隆, 邱进怀. 小麦地膜玉米施氮时期对其产量及吸氮生理的影响. 西北农业学报, 1993, 2(1): 51~55
- 6 李 隆. 肥料试验中应用的单形格子设计及其统计分析. 土壤通报, 1992, 23(6): 275~276
- 7 李 隆. 三因子混料试验数学模型的等产线绘制 BASIC 程序设计. 甘肃农业科技, 1991(增刊): 56~58
- 8 Duda G G. Use of simplex-lattice design techniques to determine optimum distribution of fertilizers. Fertilizer Research, 1992, 31(2): 193~207

Optimum Application Distribution of N Fertilizer in Several Maize Growth Stages in Wheat/Maize Strip Intercropping

Li Long¹ Jin Shaoling¹ Zhang Lihui¹ Wu Guoqing²
Ma Yongtai² Sun Ningke² Suo Dongrang²

(¹ Institute of Soil and Fertilizer, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, 730070)

(² Zhangye Research Institute of Agricultural Sciences, Zhangye, 734000)

Abstract The wheat/maize strip intercropping field experiment with simplex-lattice design at two locations in Zhangye and Linze in 1992 and 1993 were conducted to determine the optimum application distribution of N fertilizer at different maize growth stages. The results showed that, with the consideration of the responses of wheat, the optimum application distribution of N fertilizer at the rate of 390 kgN/hm² was 30, 315 and 45 kg at presowing, elongation, and tasseling stages respectively for maize covered with plastic sheet at Zhangye, and at Linze it was 150, 150 and 90 kgN/hm² for intercropped maize without plastic sheet.

Key words strip intercropping, N fertilizer application period, simplex-lattice design

欢迎订阅《农业工程学报》

《农业工程学报》是由中国农业工程学会主办的国家级学术期刊。它为建设现代农业服务。主要刊登农业生产体系建设系统工程与管理工程、水土工程、农业机械工程与机械化生产体系、设施农业与工厂化农业建设工程、生物环境控制工程、农村能源工程、农产品加工与贮藏保鲜工程以及高新技术农业应用等方面的研究报告、学术论文和综合述评等。

学报作为学会的学术园地,还设有“研究简报、学科动向、学术动态、学会记事、新书评价、论坛、基础技术理论讲座、高校与科研单位简介……”等众多丰富栏目,向会员及相关学科广大读者全面介绍农业工程最新科研成果与学科发展信息,提供国内外农业工程学术活动动态等。

《农业工程学报》为季刊,16开本,224页码,全部70克胶版纸本,彩色封面覆膜。1997年每期定价18元,全年4期共72元。

国内统一刊号 CN 11-2047/S,邮发代号 18-57