

施肥和密度对春小麦产量根系 及水分利用的影响

刘忠民 山 仑 邓西平

(中国科学院
水 利 部水土保持研究所 陕西杨陵 712100)

Lnanaga Shinobu Sinohara Wataro

(MiDoRi 1-1-1 Tanashi Tokyo Japan)

Jiro Harada

(University of Tokyo Bunkyo-ku Tokyo 113)

摘 要 春小麦是宁夏半干旱区的主要粮食作物,增施肥料和合理密植是提高春小麦产量的主要因素。该项研究是为了探索合理施肥量和种植密度,试验结果表明:合理密植和施肥可有效地达到 $2\ 250\text{kg}/\text{hm}^2$ 产量水平,需施N $90\text{kg}/\text{hm}^2$, P_2O_5 $135\text{kg}/\text{hm}^2$,密度 $500\text{粒}/\text{m}^2$;合理施肥可改善作物性状;施肥对根系的影响主要以耕层 $0\sim 20\text{cm}$ 最大;施肥与水分利用效率是正相关, r 为 0.894^{**} ,而密度与水分利用是显著负相关, r 为 -0.326 。

关键词 施肥 密度 产量 根系 水分利用率

Output Roots Growth and Water Use of Spring-wheat as Affected by Fertilization and Density of Plant

Liu Zhongmin Shan Lun Deng Xiping

*(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)*

Lnanaga Shinobu Sinohara Wataro

(MiDoRi 1-1-1 Tanashi Tokyo Japan)

Jiro Harada

(University of Tokyo Bunkyo-Tokyo 113)

Abstract To increase fertilization and density were mainly factors to raise spring-wheat output. This research aimed at studying on the fertilization amount and density rationally. The results revealed as follows: the rational fertilization and density might increase the crops output effectively, and fertilization presented the positive relationship with output with correlation

coefficient of 0.999^{**}; the rational fertilization amount and density might improve property; the roots amount as affected by fertilization mainly distribute in 0~20cm layer of soil. The fertilization presented the positive relationship with water use efficiency with correlation coefficient of 0.894^{**}, on the contrary, density presented the negative relationship with correlation coefficient of -0.326.

Key words fertilization density output of crop roots growth efficiency of water application

春小麦是宁夏南部半干旱区的主要粮食作物,种植面积较广。研究春小麦的生产潜力,探索其增产途径,在栽培技术中,施肥和密度两项措施关系最为密切。施肥、密度与产量关系的研究,已有不少学者做过,但多限于单因子试验,不够系统和深入,这次中日合作进行研究,具有现实和理论方面的意义。

1 试验方法

试验于 1989 年在固原县河川乡上黄村坪地进行。海拔 1765m,土壤为绵黄土,肥力较低,前茬作物为胡麻,品种为红芒麦。

试验设计:为施肥量 5 个等级和密度 4 个等级相互作用的处理 20 个(见表 1),小区面积 3.2m²,重复 5 次。

表 1 试验处理

| 播种量 (粒/m ²) | 施肥量(g/m ²) | | | | |
|----------------------------|------------------------|----|----|----|-----|
| | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 300 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 500 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 700 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 900 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

所用肥料为日本产复合肥,含氮量 12%,五氧化二磷 18%,氧化钾 16%。

试验于 1989 年 3 月 17~18 两日播种,采用人工开沟,沟深 10cm,先放入化学肥料,然后覆土 2~3cm,石滚镇压后播种,播深 6~7cm,播后覆土、耙平。

4 月 11 日各处理开始出苗,4 月 15~16 日出苗数超过 50%。

6 月 8~11 日对全部小区进行生长性状调查。同时对试区内 4 个重复中,同一密度(500 粒/m²)的 5 个处理及同一施肥水平(50g/m²)的 4 个处理,共 32 个小区进行根系总长度、粗根长度及干物质重测定。测定

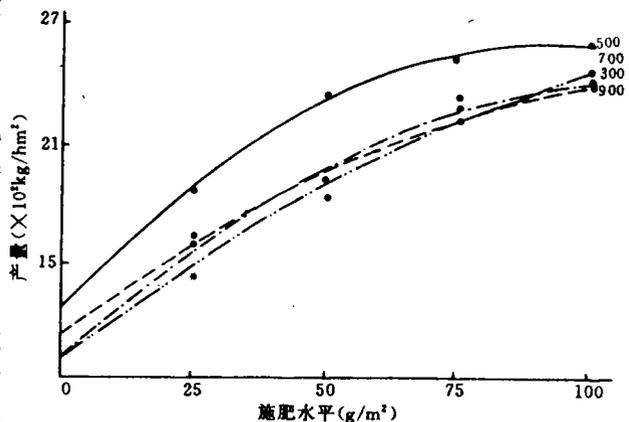


图 1 施肥与产量的关系

方法:采取在预定小区内用特制的取根器挖取包括条间、条下在内的宽 16cm,长 20cm,深 10cm 的根土样本,每区分 6 层,0~60cm 共 6 个根样。通过洗涤后,再用网格法测定其数量,计算出长度,并烘干称重。

收获时在小区内选取长 50cm,宽 80cm(16cm×5 行)面积 0.4m² 测产样方,进行总株数、茎数、总穗数、籽粒产量、生物学产量、千粒重及 10 株样本个体的秆长、穗长、结实小穗、每穗粒数等性状考查。

在播种及收获时,用土钻取土,烘干称重法测定 0~200cm 土层含水量。

2 试验初步结果

2.1 籽粒产量

籽粒产量折合最高 2 482.5kg/hm²,为密度和施肥的高限处理;产量最低为 825kg/hm²。为密度最大而不施肥处理(表 2)。

| 施肥水平(g/m ²) | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | ∑ | \bar{X} | |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| 300 | 951.0 | 1624.5 | 1849.5 | 2358.0 | 2377.5 | 9160.5 | 1832.1 | |
| 密度 | 500 | 1195.5 | 1729.5 | 2187.0 | 2362.5 | 2412.0 | 9886.5 | 1977.3 |
| | 700 | 1035.0 | 1398.0 | 1905.0 | 2268.0 | 2424.0 | 9030.0 | 1806.0 |
| (粒/m ²) | 900 | 825.0 | 1492.5 | 1879.5 | 2250.0 | 2482.5 | 8929.5 | 1785.9 |
| | ∑ | 4006.5 | 6244.5 | 7821.0 | 9238.5 | 9696.0 | | |
| \bar{X} | | 1001.6 | 1561.1 | 1955.3 | 2309.6 | 2424.0 | | |

分析结果表明,施肥水平对产量影响差异极显著,密度影响差异不显著。施肥与产量呈正相关关系,相关系数为 0.999;密度与产量相关关系较差。无论密度如何,籽粒产量随施肥水平提高而增加,均可获 2 250kg/hm² 产量水平。其增长趋势为抛物线式,如图 1。

不同密度条件下增长趋势不同,过分稀植和密植与增施肥料关系更为密切。回归方程如下:

$$300 \text{ 粒/m}^2 \quad y = 968.4 + 1.73697 \times (-7.81 \times 10^{-3})x^2 \quad r = 0.9883$$

$$500 \text{ 粒/m}^2 \quad y = 11861.2 + 1.77223 \times (-9.55 \times 10^{-3})x^2 \quad r = 0.9991$$

$$700 \text{ 粒/m}^2 \quad y = 996.7 + 1.39794 \times (-4.25 \times 10^{-3})x^2 \quad r = 0.9952$$

$$900 \text{ 粒/m}^2 \quad y = 844.7 + 1.76211 \times (-6.76 \times 10^{-3})x^2 \quad r = 0.9988$$

测验表明,在稀植 300 粒/m² 情况下,施肥水平 75g/m² 以上处理间差异不显著;当密度增加到 500 粒/m² 时,施肥水平下降到 50g/m²,以上处理间差异不显著,即 50,75,100g/m² 各施肥水平产量差异不显著;随密度增加到 900 粒/m²,施肥水平提高到 100g/m² 时,各处理差异才显著。密度 700 粒/m² 和 300 粒/m² 产量差异相同。

上述情况说明,在本试验密度(300~900 粒/m²)范围内增施肥料均能增产。获得 2 250kg/hm² 左右产量的施肥量为 75g/m²,即每公顷施 N 135kg,P₂O₅202.5kg,超过此施肥水平增产不显著。密度愈大要求施肥量愈高,当密度达 900 粒/m² 时,必须提高施肥量到 100g/m² 水平,才能获得 2 250kg/hm² 左右产量。密度的合理范围在 300~700 粒/m² 之间,以 500 粒/m² 较为经济;施肥水平在 50g/m² 时,每公顷施 N90kg,P₂O₅135kg,亦可获得接近相同的产量。

2.2 生物学产量

生物学产量最高的为密度 900 粒/m² 和施肥 100g/m² 的高限处理,产量 8 400kg/hm²。生

物产量最低的为不施肥和密度最小的 300 粒/m² 处理,产量 3 645/hm²,二者相差一倍以上,见表 3。

经统计分析,生物学产量受密度和施肥水平双重影响,施肥水平的影响大于密度的影响。密度处理间差异达 5% 显著水平,施肥水平达 1% 显著水平。t 检验证明,当施肥量为 0,25g/m² 时,各种密度之间生物学产量差异不显著,施肥量达到 50g/m² 以上时,高密度处理的(900 粒/m²)与其他密度有着显著的差异。

表 3 生物学产量 kg/hm²

| 密度(粒/m ²) | 放肥水平(g/m ²) | | | | | Σ | X |
|-----------------------|-------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | | |
| 300 | 3645 | 5385 | 5745 | 7860 | 6870 | 29505 | 5901 |
| 500 | 4050 | 6015 | 6375 | 7215 | 6960 | 30615 | 6123 |
| 700 | 4140 | 517.5 | 5970 | 7485 | 7410 | 30180 | 6036 |
| 900 | 4095 | 571.5 | 7500 | 8385 | 8400 | 34095 | 6819 |
| Σ | 15930 | 22290 | 25590 | 30945 | 29649 | | |
| X | 3982.5 | 5572.5 | 6397.5 | 7736.3 | 7410 | | |

2.3 产量构成因素分析

在产量构成诸因素(表 4)中,结实小穗、每穗粒数、千粒重受肥料、密度作用影响最为突出,处理间差异均达 1% 显著水平。结实小穗、每穗粒数、千粒重随施肥水平提高而增加,随密度增大而减少。

表 4 产量构成因素

| 处理 | 总株数 (个) | 总茎数 (个) | 总穗数 (个) | 结实小穗 数(个) | 每穗粒 数(个) | 穗长 (cm) | 千粒重 (g) |
|---------------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 0 | 271 | 284 | 266 | 6.6 | 10.3 | 4.6 | 33.9 |
| 施肥 (g/m ²) | | | | | | | |
| 25 | 263 | 285 | 265 | 8.1 | 13.5 | 5.4 | 36.5 |
| 50 | 246 | 286 | 263 | 8.7 | 14.5 | 5.9 | 37.2 |
| 75 | 238 | 274 | 251 | 9.3 | 15.4 | 6.1 | 38.2 |
| 100 | 254 | 291 | 257 | 9.4 | 15.9 | 6.1 | 39.0 |
| 300 | 140 | 173 | 149 | 9.4 | 16.1 | 6.3 | 38.7 |
| 密度 (粒/m ²) | | | | | | | |
| 500 | 232 | 260 | 237 | 9.0 | 15.2 | 5.8 | 37.3 |
| 700 | 302 | 330 | 304 | 7.8 | 12.4 | 5.3 | 36.2 |
| 900 | 342 | 372 | 352 | 7.5 | 11.9 | 5.2 | 35.6 |

结实小穗对施肥水平的反应敏感,在低肥(不施肥,施 25g/m²,50g/m²)情况下,随密度增加而减少。密度大于 500 粒/m² 以上,结实小穗减少明显;但随施肥水平提高,即由 50g/m² 提高到 75g/m² 时,结实小穗明显增加,密度处理间差异很小。当施肥水平提高到 100g/m² 时,密度处理间差异基本消除。即增施肥料可以起到消除或弥补由于密度增大而减少结实小穗数的效果。

每穗粒数受密度影响较大,对施肥反应较迟钝。在低密度(300~500 粒/m²)情况下,每穗粒数均较高密度者为多,施肥处理间差异不明显,仅与不施肥处理有明显差异,说明在更瘠薄情况下粒数才表现减少。随密度增大到 700~900 粒/m² 时,每穗粒数相应减少,施肥处理间差异也极显著。

千粒重受施肥、密度双重作用影响,处理间差异显著性均达 1% 显著水平。密度小、施肥量大时千粒重最大,随密度增大,千粒重相对减小,即使提高施肥水平也不能提高千粒重的绝对

值。当密度为 300 粒/m² 时,施肥水平在 50g/m² 以上的各处理间无明显差异;当密度增大到 500~700 粒/m² 时,施肥量也随之提高到 75g/m² 水平,即 75g/m² 与 100g/m² 处理间无显著差异,但绝对值已明显地降低。当密度增大到 900 粒/m² 时,施肥水平相应提高到 100g/m²,才使千粒重相对提高,但绝对值仍比稀植时低。

2.4 施肥对春小麦根系的影响

从表 5 看出,施肥促进了春小麦根系的生长,使 0~60cm 土层内的总根干重、总根长度及粗根长均较不施肥处理有明显增加。而施肥各处理间差异不明显,仅总根长与粗根长之比随施肥量提高而增加,单株根数较不施肥处理增加 1.8~2.9 条,主要为次生根。由此可见,增施肥料可促进春小麦次生根的生长发育,使次生根数增多,发育健壮,粗根长度增加,从而为吸收利用土壤中养分和水分创造了条件。从根系密度图 2 看出,施肥对根系的影响,主要以耕层 5~15cm 最大,35cm 以下处理间差异很小。

2.5 肥料密度因素对春小麦水分利用影响

本试验于坪地进行,地势平坦,基本无径流。5~7 月降水量比历年月平均略低,属于旱少雨年份。播种时 0~200cm 土壤含水量平均为 280.9mm,生育期(3 月 17~7 月 27 日)内降水量 171.0mm。各处理水分利用情况见表 6。

表 5 施肥对春小麦根系的影响

| 施肥量(g/m ²) | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 总根干重(g) | 2.9223 | 3.4227 | 3.6276 | 3.5976 | 3.6989 |
| 总根长(m) | 259.7 | 298.1 | 256.5 | 255.7 | 300.1 |
| 总粗根长(m) | 49.6 | 59.9 | 57.6 | 66.7 | 86.5 |
| 总根长/总根粗长 | 5.23 | 4.98 | 4.45 | 3.82 | 3.46 |
| 种子根数 | 4.7 | 5.5 | 4.6 | 5.0 | 4.9 |
| 次生根数 | 4.1 | 5.9 | 6.5 | 6.7 | 6.5 |
| 单株根数 | 8.8 | 11.4 | 11.1 | 11.7 | 11.4 |

注:土层深为 0~60cm。

春小麦生育期耗水量(蒸腾和蒸发),统计分析结果表明,施肥与耗水量有密切关系。t 检验证明,无论何等密度施肥处理只有高限施肥量(100g/m²)耗水量较大,平均 275.0mm,与其它各施肥处理间(227~234mm)存在显著差异,说明施肥量达到 100g/m² 时会导致土壤水分消耗增大。

水分利用效率变量分析结果表明,施肥对水分利用效率影响极显著,相关系数 r 值为 0.894;密度对其影响呈负相关, r 值仅为 -0.326。

本试验水分利用效率以不施肥处理最低,为 4.41kg/(mm·hm²),75g/m² 处理最高为 10.005kg/(mm·hm²)。在施肥量 0~75g/m² 范围内,水分利用效率随施肥量每提高一个档次

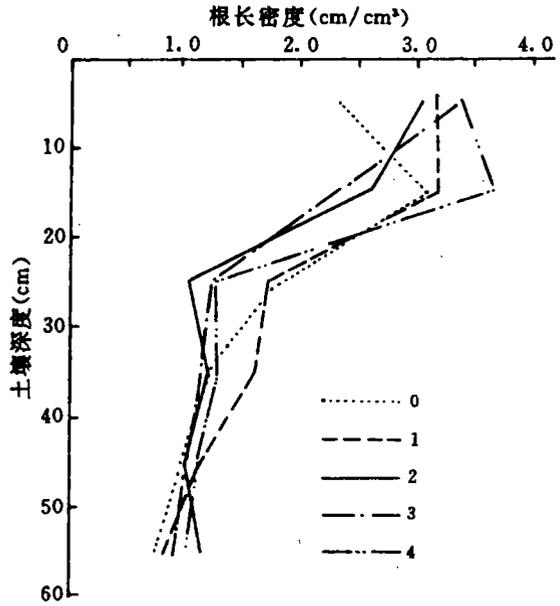


图 2 施肥对红芒麦根系的影响

相应依次递增52.7%,24.5%,19.3%。当施肥水平超过75g/m²时,水分利用效率不再增长且下降。可见,增施肥料在一定范围内可以提高水分利用效率,但增长率递减,当施肥量达到一定水平时,水分利用效率则不再提高。

· 表 6 春小麦生育期间耗水量及水分利用

| 施肥水平(g/m ²) | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | Σ | \bar{X} |
|-------------------------|----------------------------------|--------|--------|---------|--------|----------|-----------|
| 密度(粒/m ²) | | | | 耗水量(mm) | | | |
| 300 | 221 | 238 | 243 | 230 | 261 | 1193 | 239 |
| 500 | 230 | 233 | 236 | 238 | 283 | 1220 | 244 |
| 700 | 234 | 243 | 231 | 233 | 279 | 1220 | 244 |
| 900 | 223 | 217 | 224 | 223 | 275 | 1162 | 232 |
| Σ | 908 | 931 | 934 | 924 | 1098 | 4795 | |
| \bar{x} | 227 | 233 | 234 | 231 | 275 | | 240 |
| | 水分利用效率[kg/(mm·hm ²)] | | | | | | |
| 300 | 1.435 | 6.825 | 7.605 | 10.245 | 9.105 | 35.215 | 7.043 |
| 500 | 5.205 | 7.440 | 9.270 | 9.930 | 8.445 | 40.29 | 8.058 |
| 700 | 4.425 | 5.760 | 8.250 | 9.735 | 8.685 | 36.855 | 7.371 |
| 900 | 3.705 | 6.885 | 8.385 | 10.095 | 9.030 | 38.100 | 7.620 |
| Σ | 14.77 | 26.910 | 33.510 | 40.005 | 35.265 | 150.460 | |
| \bar{x} | 3.693 | 6.728 | 8.378 | 10.001 | 8.816 | | 7.523 |

3 结果与讨论

(1)春小麦(红芒麦)在固原地区旱塬地,连续4年干旱少雨,无径流,不施有机肥,土壤较瘠薄的情况下,增施肥料与产量呈正相关关系, r 值为0.9590,可以达到2250kg/hm²左右产量;密度与产量相关性不显著, r 值为-0.410。增施肥料可以起到弥补由于密度过大而造成产量降低的效果。欲达2250kg/hm²产量水平,施肥量以每公顷N90kg,P₂O₅135kg为宜。密度以500粒/m²播量为宜,300~700粒/m²均可,不过必须提高施肥水平。

(2)结实小穗、每穗粒数、千粒重等产量结构的主要因素,受施肥、密度双重作用影响。施肥水平提高可使结实小穗数增多,每穗粒数增加,千粒重增大。密度过大,则使结实小穗数、每穗粒数减少,千粒重降低。结实小穗对肥力反应敏感,每穗粒数、千粒重受密度影响较大。施肥水平提高增产的关键是使上述情况得到有利的改善和提高。

(3)增施肥料的作用还在于促进春小麦根系增长,使根量增加,尤以0~20cm土层根系增长显著。根量增加改善了植物对水分和营养物质的吸收利用条件,从而提高产量和水分利用效率。

(4)施肥与水分利用效率呈正相关关系, r 值为0.894,密度对其相关性不显著, r 值为-0.326。水分利用效率随施肥水平提高而提高,但随施肥水平提高增加率减小。在施肥水平为75g/m²时水分利用效率可达9.645kg/(mm·hm²),过高施肥量对水分利用效率的增加不起作用。