

水肥(N)双因素下的小麦产量及水分利用率

赵炳梓 徐富安 周刘宗 徐梦熊

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 通过对 6 个水分等级和 5 个 N 肥等级的相互搭配研究,结果表明,灌溉水平 $\leq 105\text{mm}$ 时,对小麦产量抑制较为明显;而当施 N 量 $< 112.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 时, N 素成为增加小麦蒸散耗水和小麦产量的限制因素。但灌溉水平不同,小麦产量随施 N 量的增加而变化的趋势亦不同。当灌溉水平为 475mm 时,它们之间关系为典型抛物线。然而,小麦的水分利用率则随灌溉水量的增加而降低。只有当灌溉水平较低时,随着施 N 量增加,水分利用率有上升的趋势。

关键词 水分; N 肥; 小麦产量; 水分利用率

中图分类号 S152.7 S158.3

水分和养分都是作物赖以生长发育所必需的条件。在当今工业高度发展,肥料问题基本解决的前提下,水成为当今绝大部分地区农业上的一个重要限制因素,尤其在那些降雨不稳,年潜在蒸发量大大超过降雨量的地区^[1]。过去的许多研究均表明,水分和肥料的交互作用非常明显,在适宜的范围内肥料越充足,根系越发达,吸水能力越强,水分利用率越高。但是陈尚谟在旱区研究得出玉米、谷子、大豆的水分利用率与施肥量的关系不是直线而是典型的抛物线^[2];而徐学选等的研究则表明水肥主次效应存在着一个转换阈值^[3]。肥料 N 的损失与土壤性质、灌溉水量、肥料用量及施肥方式等有关^[4]。所以合理的水肥搭配不仅可以降低耗水量,减少水资源浪费,而且可以降低土壤养分损失和硝态 N 对地下水污染的威胁。然而,在生产实践中仍缺乏水分、养分互相优化配合的定量模型指导。因此,研究水分与养分的相互搭配对当地粮食产量及其构成的影响无疑具有重要意义,为当地优化的水肥管理技术提供有益的依据。

1 材料与方法

试验在河南省封丘县中国科学院封丘农业生态试验站内进行。采用有底铁皮桶(Lysimeter),桶直径 53cm,高 80cm,桶底有一小洞供收集渗漏水用。桶内装土高 70cm,其中耕作层(轻壤土)20cm,其余为当地底土(中壤土)填装,最底层 2cm 为砂

子。为了使试验尽量和当地自然条件一致,避免光、温对土壤的影响,铁皮桶的下部 60cm 埋入地下室。小麦品种为当地使用比较广泛的品种,即新麦 9 号。试验设水、肥(N)两个因素。有 6 个水分水平,1997 年 10 月 18 日播种时,各桶土壤水分为田间持水量的 85%左右,追肥前不灌水,小麦在 1998 年 2 月 25 日(返青期)追肥和统一灌溉水 13.6mm 结束后,各处理灌溉水量分别按同期水面蒸发量的 0.0、0.2、0.4、0.7、1.0、1.3 倍来灌溉(分别以 W0、W1、W2、W3、W4、W5 表示),即 W0、W1、W2、W3、W4、W5 的灌水量分别为 37.0、105.0、172.0、273.0、374.0、475.0mm,而最终耗水量则分别为 184.0、255.0、313.0、393.0、463.0 和 543.0mm。N 肥设 5 个水平,分别以 0.0、112.5、225.0、337.5、450.0 kg N/hm² 来计(以 N0、N1、N2、N3、N4 表示)。N 肥 60%作基肥,40%在返青期作追肥施入。各桶 P(以 KH₂PO₄ 施入) K(以 KCl 施入)肥用量统一,均作基肥施,按 112.5kg/hm² 来计。试验共有 6×5=30 个处理。试验区有移动防雨棚以防雨水进入。

试验期间,收集渗漏水并称重。试验结束收获时,测定各处理产量、总干物质量及籽粒产量。蒸散量=试验期间灌溉水量+(试验开始时土壤含水量-试验结束时土壤含水量);实际蒸散量=蒸散量-渗漏水;水分利用率为单位面积单位蒸散量的籽粒产量或总干物质产量。

2 结果与讨论

2.1 水肥 (N) 搭配与小麦产量

水肥 (N) 搭配对小麦籽粒的影响如图 1 所示。结果显示, 无论施 N 水平如何, 灌溉水量 W1 处理的籽粒产量始终处于最低水平, W2、W3、W4 处理的籽粒产量非常接近, 并且始终处于比较高水平。

试验表明, 当施 N 量从 0 增至 112.5kg/hm² 时, 小麦籽粒产量急剧上升, 增产幅度随灌溉水量不同而异, 其升幅达 810~3075kg/hm²。水分在一定程度上能弥补肥料的不足引起的对籽粒产量的影响。而当施 N 量超过 112.5kg/hm² 时, 籽粒产量随着 N 肥用量的继续增加而增加的趋势变缓或略有下降 (W4 处理)。值得一提的是, W5 处理的籽粒产量随着 N 肥施用量的变化而呈现典型抛物线形状, 籽粒产量 (Y) 与施 N 量 (X) 之间的关系为: $Y = -0.6537X^2 + 23.247X + 219.11$, 相关系数 R² 达 0.9513 的极显著水平, 当 N 肥用量为 225kg/hm² 左右时, 籽粒产量为抛物线顶点, 产量达 6810kg/hm² 左右水平, 为所有处理最高值。

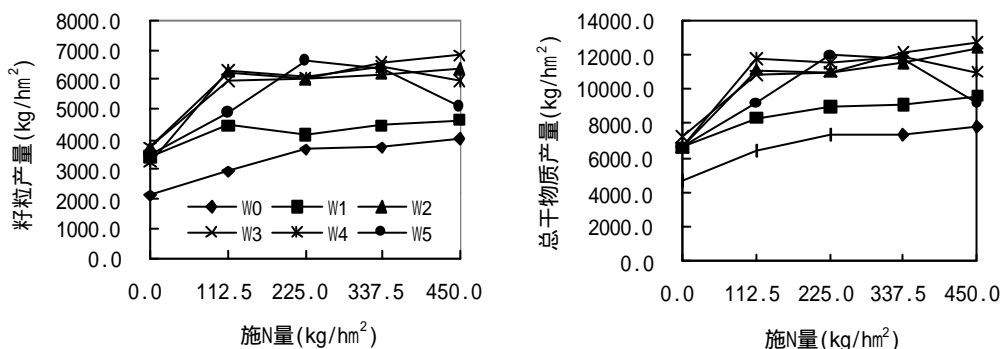


图 1 水肥(N)相互作用与小麦产量

Fig.1 Interaction of water and fertilizer (N) and yield of wheat

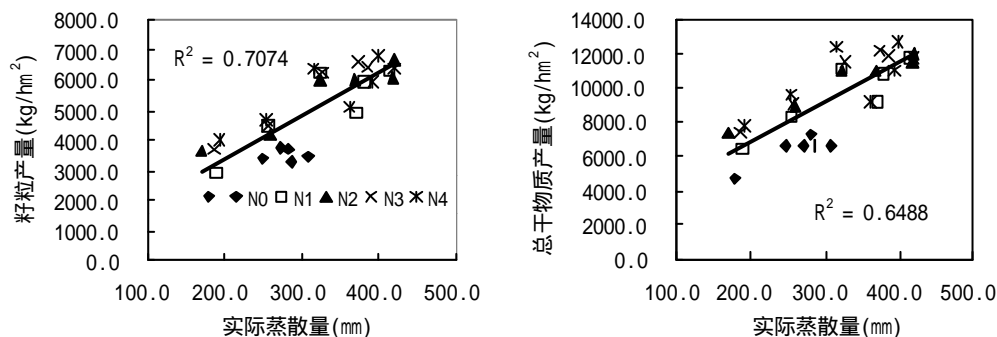


图 2 小麦实际蒸散量与产量的关

Fig. 2 Wheat yield in relation to actual transpiration

2.2 小麦蒸散量与产量

众所周知, 作物产量随着蒸散量的上升而上升。陈玉民等的研究表明, 当水源不足、管理水平较低

时, 小麦、玉米、棉花的产量与蒸散量之间往往呈直线相关; 在肥水充足时, 则呈抛物线关系^[5]。图 2 资料表示, 从总的趋势来看, 实际蒸散量与小麦产

$$Y = -1.1157X^2 + 40.383X + 421.76$$

相关系数 R² 达 0.9509 的极显著水平。

由上可知, 无论是籽粒产量还是总干物质产量, 当 N 肥用量达 112.5kg/hm² 左右时, 产量可有较大幅度上升。从灌溉水平来看, 当灌溉水平从 W1 增至 W2 时, 产量的增幅较大, 继续增加灌溉水平至 W4, 产量几乎不变或略有下降; 但当灌溉水平为 W5 时, 施 N 量到 225kg/hm² 左右时, 产量仍可大幅度上升, 达最高, 然后产量则随着 N 的继续增加而大幅度下降, 这是因为水的渗漏和 N 的淋溶损失所致。

量直线相关。籽粒产量 (Y) 与实际蒸散 (X) 之间的关系为 : $Y=0.9563X+35.102$ 相关系数 $R^2=0.7074$; 而总干物质产量 (Y) 与实际蒸散 (X) 之间的关系为 : $Y=1.5359X+154.12$, 相关系数 $R^2=0.6488$ 。资料同时显示 , 不施 N 处理者 , 即使灌溉水达 500mm 时 , 但由于小麦生长受缺 N 抑制 , 其实际蒸散量多在 300mm 左右 , N 素成为增加蒸散耗水和小麦产量的限制因素。但施 N 量增至 $112.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 时 , 各水分条件下的蒸散量和产量呈迅速上升趋势 , N 素已不再成为抑制蒸散和产量的明显因素。

从实际蒸散量低于 200mm 区域来看 , 不同施 N 条件下的产量差异可达 $150\sim 3000\text{kg}/\text{hm}^2$, 可见 , 供水不足时 , 增施 N 肥有较好效果 ; 当实际蒸散量超过 320mm 左右时 , 小麦产量有了显著的上升 , 在此区间 , 似乎存在着一个蒸散量与小麦产量之间一个阈值。在一定 N 素水平 (如 $112.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 以上) 时 , 蒸散耗水达到这个水平 , 小麦产量能达到 $6000\text{kg}/\text{hm}^2$ 上下水平。当然 , 这仅对本试验结果分析而言。这种较高水肥效益的临界点在不同气候年型可能是不一样的 , 它们存在一个范围 , 并且确定这个范围对生长管理十分重要 , 但需要经过多年试验才能明确。

2.3 水肥 (N) 搭配与小麦水分利用率

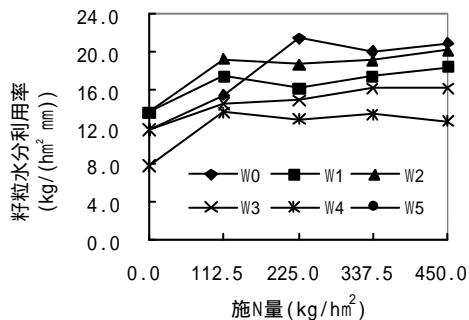


图 3 结果表明 , 无论施 N 水平如何 , 总干物质水分利用率均随着灌溉水量的增加而降低 , 尽管 W1、W2 处理间非常接近。因此 , 本试验显示 , 小麦生育期内任何灌水均使小麦总干物质水分利用率降低 , 籽粒的水分利用率也基本上符合这个趋势。W2 处理的小麦籽粒水分利用率处于比较高水平 , 依此为 W1、W3、W4、W5 处理 , 即随灌溉水量增加而下降。由于 W1 水平对小麦产量抑制较为显著 , 虽然总耗水量较少 , 但水分利用率却不如 W2 ; 相反 , W2 虽比 W1 处理多耗水 58mm , 但增产幅度平均将近 $1500\text{kg}/\text{hm}^2$, 水分利用率较高。可见 , 总耗水量由 255mm 增至 313mm , 水分利用效率在这个区间较高。灌溉水量越大 , 耗水量越多 , 这是由于籽粒和生物量的形成并未随着灌水量的增多而按比例增加 , 同时由于每次灌水增加了上层土壤含水量而增加了蒸发耗水及改善了植株的水分状况而增加了蒸腾耗水 , 在每次灌水之后都会产生一个耗水高峰 , 致使水分利用效率下降。因此 , 从产量和水分利用率相结合来分析 , 在小麦上灌溉水平 W2 左右比较经济。当然 , 这与今年气候情况有关 , 当年麦季总降水量达 211mm , 比多年平均 154mm 高 27 % 。 4、5 月份阴天较多 , 大气蒸散力较低 , 因此 313mm 的总耗水量获得了较好结果。

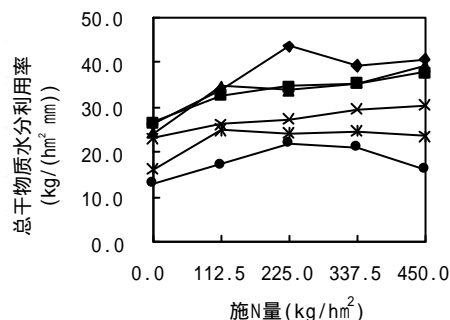


图 3 水肥(N)相互作用与小麦水分利用率

Fig. 3 Interaction of water and fertilizer (N) and water use efficiency of wheat

从小麦籽粒和总干物质的水分利用率变化趋势来看 , 这个结果与玉米的实验结果有较大差异^[6]。玉米在 W3 处理时 (即灌溉水量为水面蒸发量的 0.7 倍左右时) , 籽粒和总干物质的水分利用率为最高。这大约与这两种作物生长在不同季节有关 , 小麦生长季节的蒸散耗水不太强烈 , 即使在拔节灌浆期最大日耗水量也只有 5mm 左右。本试验表明 , 在总耗水量在 180mm 左右条件下 , 小区麦粒产量平均仍有 $3270\text{kg}/\text{hm}^2$; 而玉米生长在 6~9 月蒸散激烈的季节里 , 在蒸散耗水达 220mm 左右时 , 几乎不能形成籽

粒。因此 , 二种作物在水分利用率的表现上就有较大差别。这种现象也给我们一种启示 , 在水分不足地区 , 有条件种植越冬作物时 , 将比种植大秋作物有较大的水分经济效益。事实上 , 国外 (如以色列) 获得高水分利用效率的小麦生产多在雨养农业地区。图 3 资料同时显示 , 在灌溉水量较低时 , 随着施 N 量增加 , 水分利用率有上升趋势 ; 但在 W4、W5 处理时 , 随着施 N 量提高 , 水分利用率开始有所提高 , 随着 N 肥用量的进一步增加 , 水分利用效益下降。这是由于 N 水平的提高将有利于产量水平

的上升,水分利用率也随之上升。而过多 N 素,使茎叶旺长,蒸腾过旺,就导致了水分利用率的下降。

参考文献

- 1 Freney JR. Strategies to reduce gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 48:155~160
- 2 陈尚谟. 旱区施肥量与农田水肥利用率关系研究. *中国农业气象*, 1994, 15 (4): 12~15
- 3 徐学选等. 春小麦水肥产出协同效应研究. *水土保持学* 报, 1994, 8 (4): 72~78
- 4 Hartmann RH, Verplancke M, et al. Influence of Soil Surface Structure on Infiltration and Subsequent Evaporation under Simulated Laboratory Conditions. *Soil Tillage Res.*, 1981, 1: 351~359
- 5 陈玉民等. 中国主要作物需水量与灌溉. 北京: 水利电力出版社, 1995, 34~35
- 6 赵炳梓, 徐富安. 水肥 (N) 交互作用对玉米生长影响研究 (初报). 见: 李生秀主编. *土壤-植物营养研究文集*. 西安: 陕西科技出版社, 1999, 551~557

WHEAT YIELD AND WATER-USE EFFICIENCY AS INFLUENCED BY DIFFERENT COMBINATIONS OF IRRIGATION WATER AND NITROGEN FERTILIZER

Zhao Bingzi Xu Fuan Zhou Liuzong Xu Mengxiong

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract One field experiment was carried out in the Fengqiu Experimental Station. It consisted of six levels of irrigation water and five levels of nitrogen fertilizer. The results showed that water greatly limited the formation of wheat yield when the irrigation water was below 105mm, while N fertilizer became the major factor limiting wheat yield and evapotranspiration when the application rate was less than 112.5kg/hm². The trend of yield increasing with N application rate changed with irrigation water, and a typical parabola was observed when the irrigation rate was 475mm. Water-use efficiency decreased with increase in irrigation water, however, a positive relationship between N application rate and water-use efficiency could be obtained only when the irrigation water was at the low level.

Key words irrigation water, nitrogen fertilizer, wheat yield, water use efficiency

(上接第 93 页)

- 36 Seip HM, Crristeophersen N, Sullvian TJ. Episodic variation in stream water aluminum chemistry at Birkenes, Southern - most Norway. in: Lewis TE. ed. *Environmental Chemistry and toxicology of aluminum*. Lewis Publishers Chelsea. MI. 1989, 159~169.

EFFECTS OF ACID PRECIPITATION ON TERRESTRIAL ECOSYSTEM I. MOBILIZATION AND TRANSLOCATION OF ALUMINUM IN SOIL

Guo Jingheng Zhang Xiaoshan Tang Hongxiao

(*Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085*)

Abstract The mobilization and translocation of aluminum is one of the severest effects of acid precipitation on ecosystem and an important process by which soils significantly buffer the acid deposition. Because of high toxicity of active aluminum, soil aluminum mobilization has been paid much more attention to in both agronomic and eco-environmental researches. But it is unfortunate that current models cannot account for field and experimental data due to complexity of the soil system and aluminum forms. In this paper, a relatively comprehensive review of recent studies on soil aluminum mobilization mechanisms was carried out. Based on the work, some promising prospects were explored for future study.

Key words Acid precipitation, Soil aluminum, Mobilization and translocation