

冬小麦水氮有效利用的研究

刘来华 李韵珠 蔡雪梅 黄元仿

(中国农业大学土壤和水科学系,北京 100094)

摘要: 本文针对作物高产、高效和节约水肥资源的目的,研究了不同土壤水和氮水平下的小麦冠、根生长状况、籽粒产量、蒸散、N素吸收状况以及水分利用效率(WUE)和小麦氮素利用效率(NUE_w)。结果表明,当相对含水量为75%~85%,施N量较高情况下,可以使小麦冠、根发育良好,使蒸散与吸N量提高,从而增加籽粒产量,提高WUE,并使NUE_w达适中水平。文中也强调了单纯追求籽粒高产(高产,低效)或高效(低产高效)的不可取性。

关键词: 冬小麦; 土壤水分; 氮素; 利用效率

中图分类号: S152.75; S158.3

肥与水是农业生产及作物生长中最重要的两大因子。在研究冬小麦吸收水肥问题上,特别是在吸收N素及水分方面,以往的研究多着重于某一单因子的作用^[1,4~6],近年来,水肥交互作用的研究日益受到国内外科学工作者的重视^[2,3,7~10],工作大多针对田间自然降水或人工灌溉处理与不同施肥处理下,研究作物的产量及水分利用效率和某些作用的生理指标对不同水,肥处理的反应,如何全面综合研究小麦生长状况,产量,水分利用率、N素利用效率的规律性反应方面,还需进一步作深入研究,以期探索最优的水肥管理措施,本文目的就在于此。

1 材料及方法

本研究利用有机质含量极低的细砂壤土,设置不同水平的土壤含水量和施N量,进行小麦管栽试验,研究冬小麦的生长状况与吸收NO₃⁻-N和水分的规律。

1.1 试验设计与布置

表1 供试土壤基本性状

Table 1 The basic properties of soil tested

全N/% Total N	NO ₃ ⁻ -N/mg·kg ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N/mg·kg ⁻¹	有机质/% O. M.	有效P/mg·kg ⁻¹ Olsen-P	速效K/mg·kg ⁻¹ NH ₄ Ac-K
0.0382	11.8	3.54	0.311	3.96	23.0
土壤质地 Soil texture	饱和含水量/% Saturated water content	田间持水量/% Field capacity	容重/g·cm ⁻³ Bulk density	吸湿水含量/% Hygroscopic water content	
细砂壤土 Fine sandy loam	15.4	14.5	1.51	1.50	

收稿日期: 1995-09-06

1.1.1 供试作物 冬小麦品种为农大015,2~3月春化,03-20播种,06-27收获。

1.1.2 供试土壤基本情况见表1

1.1.3 设计及处理 总体设计:二因子四水平的全处理栽培方式,每个处理四次重复。分别在拔节期,抽穗前期,抽穗后期,收获期取样进行有关测定。试验共种小麦256管,每管种苗3株,小麦生长在四周能开窗通风的温室中。土壤水、氮处理见表2。

表2 试验处理

Table 2 Experimental treatments

代号 Code	W1	W2	W3	W4	代号 Code	f1	f2	f3	f4
相对含水量* / % Relative water content	65	75	85	100	施N量/mg·kg ⁻¹ N Supply	0	44.2	94.2	160.9

* 相对含水量指含水量占田间持水量的百分数,以下用RW代表

施肥方式:P,K作底肥一次性施入,N肥60%作底肥,40%在抽穗期施入(以溶液形式施入土表下20cm处),化肥为Ca(NO₃)₂,KH₂PO₄,KCl。

土壤水分:每隔5d称土管重,并加水至各土管初始重量,以维持各管的土壤含水量在较小范围内变动,拔节期前通过埋入土中的细管子加水于土表下20cm处,拔节期后加水位置分别在土表及土表下20cm、40cm处交替进行。

装土方法:土管为高40cm,直径10cm的硬质塑料管,按容重称取土壤,并拌以准确称量的肥料装土入管后,按所设置的土壤含水量加水,种上麦苗。

取样时间:04-28(拔节期,播后37d),05-06(抽穗前期,播后47d),05-24(抽穗后期,播后65d),06-27(收获期,播后99d)。

1.2 主要测试项目和方法

1.2.1 植株测定 根鲜重:取出土壤中的全部根系,冲洗干净后在6000RPM转速下离心处理2min后称重。

根长:用网格法计算,公式为 $L=11/14 \times U \times N$,其中L为根总长(cm),U为框格单位(本文U=2),N为根与纵横框格线交叉点数。

根干重及地上部分干重:恒温箱中75℃烘干8h后称重。

根半径:本试验实测了部分鲜根密度,均为 $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,与Barber 1984资料相同,故可由根鲜重及根长计算而得平均根半径。

1.2.2 蒸发量观测 根据水肥处理状况,设置裸土蒸发量观测的土管,每5d称重,且加水至初始土管重,所以水量计为土壤蒸发量。

1.2.3 植物蒸腾量 按下法作估算:蒸腾量=蒸散量-蒸发量

1.2.4 养分测定 半微量蒸馏法测定植物全N。土壤NO₃⁻-N用常规法浸提,用离子色谱仪-Dionex 2000i/sp测定。

2.1 小麦冠,根生长规律及产量效应

2.1.1 地上部分生长状况 从图1a可知,除f1外,在f2~f4施N量下,小麦地上部分的干物质积累量在RW65%至75%之间增长较快,75%以上变化不大。而施N量为零的f1,

植株因缺 N 而生长严重受阻,在此条件下, RW 提高对干物质积累几乎没有多大影响, RW 高时甚至降低。由图 1b 可看出,在 W1 的情况下,干物质随 N 的变化不大,在 W2~W4 水分状况下,干物质质量随施 N 量的增加而增加,在 0~45 mg·kg⁻¹ 时增加较快,以后增加变缓。

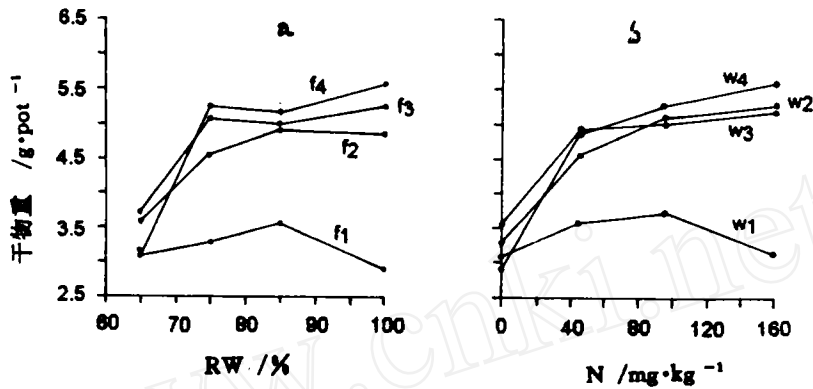


图 1 小麦地上部分干物重与 RW(a)和施 N 量(b)的关系

Fig. 1 The relation between the dry matter weight accumulated for the above ground part of wheat and RW(a) and N supply(b)

2. 1. 2 根系生长状况 从表 3 小麦地下部分干物质累积与土壤水、氮关系中可知,当 RW 很低时,地下部分干物积累量水平很低,说明土壤水分不足必然对根系生长不利,而 RW 在 W2~W4 时则其干物积累量均较多,其中以 W2~W3 时为最高,W4 时次之。随着施 N 量增加,当达到 f2 后,地下部分的干物积累量即可达到较高值,超过 f2 后其干物质虽有所下降,但变幅不大。

表 3 各处理地下部分干物质积累量

g·pot⁻¹

Table 3 The dry matter weight accumulated of the roots for the treatments

	f1	f2	f3	f4
W1	0.132	0.153	0.148	0.144
W2	0.164	0.194	0.187	0.190
W3	0.167	0.205	0.194	0.197
W4	0.173	0.191	0.185	0.188

2. 1. 3 冠根比规律 从图 2 资料分析得知,冠根比例随生长时间的增加而增大,说明小麦在生长 65d(图 2b)后,地上部分干物积累量较 47d(图 2a)的相对增加较大。就图 2b 来看,土壤含水量很低时,冠根比较小。土壤含水量较高如 W2 或 W3 时,冠根比例较大。从施 N 量来看,当施 N 量低如 f1 时,则冠根比极小,而施 N 量在 f2~f4 时,其冠根比便又较为接近。若结合产量来分析,小麦的冠根比应在 W2~W3 和 f2~f4 处理下范围内较为适宜。

2. 1. 4 经济产量效应 根据试验结果,产量与土壤含水量、施 N 量的定量关系可由小麦籽粒产量 Y(g·pot⁻¹)与土壤水分 RW(%)和施 N 量 N(mg·kg⁻¹)的二元非线性回归方程表示,即:

$$Y = 12.7 + 0.353RW - 3.25 \times 10^{-3}N - 2.18 \times 10^{-3}RW^2 - 9.72 \times 10^{-6}N^2 + 1.22 \times 10^{-4}RW \cdot N \quad (1)$$

$n=16 \quad F=9.83^{**} \quad F_{0.01}=5.64 \quad R=0.9118$

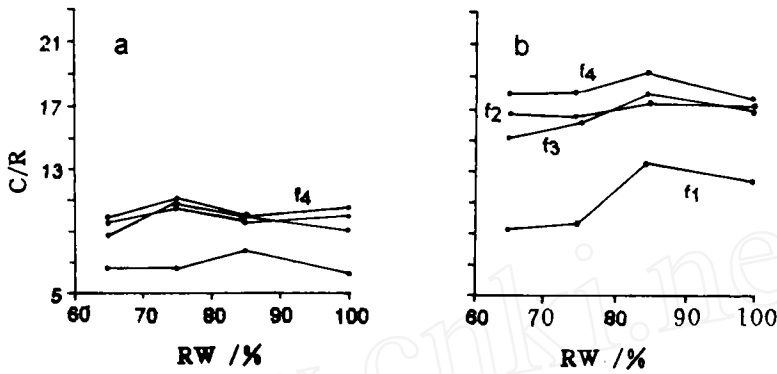


图2 小麦冠根比与RW的关系(a)47d,(b)65 d
Fig. 2 The shoot/root ratio versus RW (a) 47 d (b) 65 d

此函数关系亦可用籽粒产量等值线图来描述,从图3得知RW籽粒产量Y的影响有明显的规律性,当RW为80%左右时为最佳土壤含水量,在该RW下,获得某定量的产量,N素用量可最小。

在本试验N施用量情况下,籽粒产量随施N量而增加,从等值线图分析,籽粒产量最高区位于RW为75%~85%,N在f2以上区域内,与上述小麦冠、根生长状况相符。

2.2 蒸散规律与水分利用效率

2.2.1 蒸散量(ET)变化规律 从图4蒸散量等值线图中得知,在本试验条件下,蒸散量(mm·d⁻¹)随RW增加而增加,与一般报导一致。随施N量增加而减少,总趋势呈现含水量愈低,N含量愈高,则蒸散量愈低的现象,可能与土壤溶液中N浓度增高,降低了蒸散有关。

2.2.2 水分利用效率(WUE) 本文中的水分利用效率WUE定义为每消耗1kg水所形成的籽粒产量Y(g),相当于每方水所形成的籽粒公斤数,即kg·m⁻³。

水分利用效率(g·kg⁻¹)作为RW(%)和施N量(mg/kg)的函数,可用二元非线性回归方程表示。

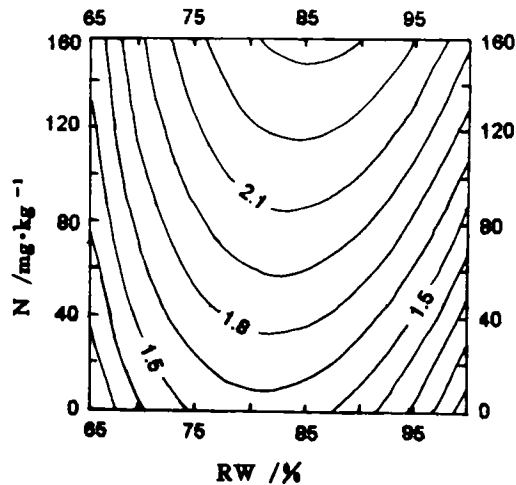


图3 籽粒产量(g·pot⁻¹)与RW和施N量关系的等值线图
Fig. 3 The contour map of the yield (g·pot⁻¹) with RW and N supply

$$\begin{aligned}
 WUE = & -3.71 + 0.11 \text{ RW} + 4.51 \times 10^{-4} N - 6.99 \times 10^{-4} RW^2 \\
 & + 1.08 \times 10^{-5} N^2 + 1.22 \times 10^{-7} RW \cdot N \quad (2) \\
 n = & 16, F = 13.14^{**}, R = 0.9316
 \end{aligned}$$

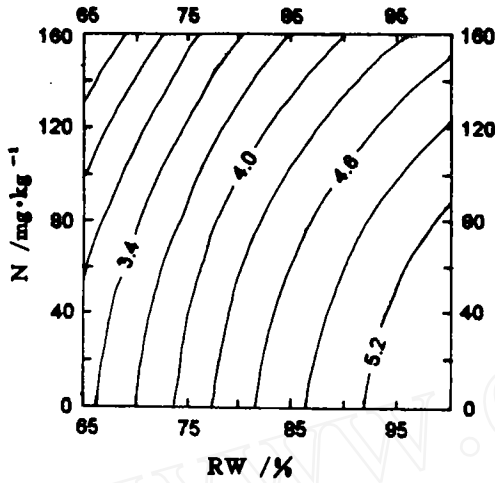


图 4 ET 与 RW 和施 N 量关系的等值线图

Fig. 4 The contour map of ET (mm · d⁻¹) with RW and N supply

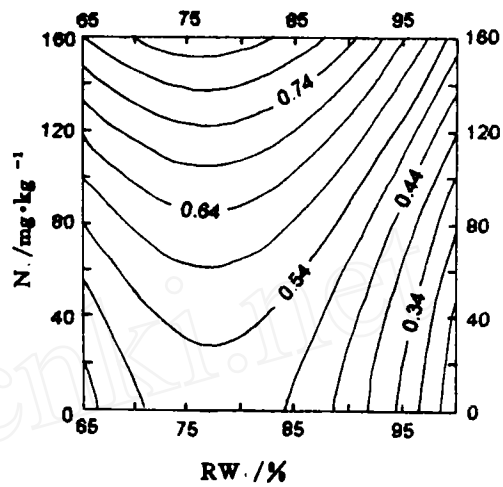


图 5 WUE 与 RW 和施 N 量关系的等值线图

Fig 5 The contour map of WUE (g · kg⁻¹) with RW and N supply

从图 5 的 WUE 等值线图可以看出, WUE 最低区为 RW 最高和施 N 量最低处, 其次为 RW 和 N 均低处。在本试验条件下, WUE 最高区为 RW 75%~80% 的高 N 区, 与产量规律类似。

2.3 N 素吸收规律和小麦的 N 素利用效率

2.3.1 N 吸收量

图 6 表示了小麦全生育期内所吸收的总氮量 (g · pot⁻¹) 与 RW 和施 N 量的关系, 氮吸收总量用茎叶、籽粒和根各自的含 N 百分数乘以各部分的干物重的总和得到, 其中根含 N 率以 1.3% 计。图 6a 说明 RW 为 75%~85% 时, 氮吸收量相对最高, 土壤含水量过低

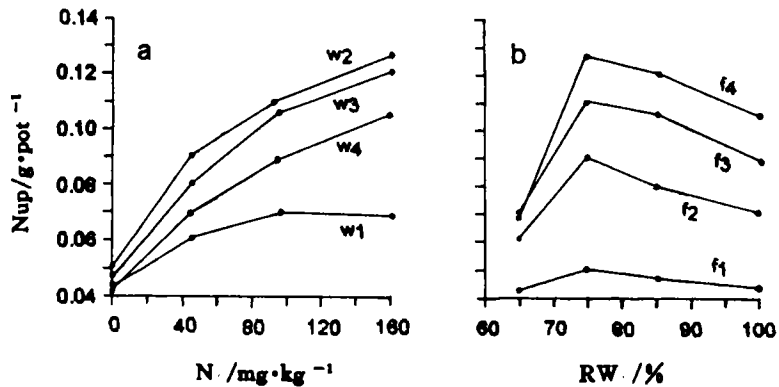


图 6 小麦 N 吸收量与 RW(a)、施 N 量(b)的关系

Fig. 6 N uptake of wheat versus RW(a) and N supply (b)

或过高都影响根系对 N 素的吸收。此外, 除 W1 外, 其他水分状况下, 施 N 量增加则氮吸收

总量亦增加。由此可知,小麦根系吸N的最佳水,氮范围应为W2~W3和f2~f3。

2.3.2 小麦的N利用效率(NUE_w) 此处的小麦N素利用效率定义为每吸收1g N素所形成的籽粒产量Y(g),有的文献中称为植物的生理效率(NPE)。

本试验条件下,土壤含水量和施N量与 NUE_w 之间的关系可以二元非线性函数加以拟合如下。

$$\begin{aligned} NUE_w = & -17.808 + 1.219RW - 0.225N - 8.301 \times 10^{-3}RW^2 \\ & + 1.041 \times 10^{-3}RW \cdot N + 6.265 \times 10^{-4}N^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$n=16, F=15.25^{**}, R=0.9406$

图7表示了以式(3)画出的 NUE_w 的等值线图,与水分利用效率相反, NUE_w 值最大区域为N和RW均低处,而最低值在高N区,但仍以RW75%~85%为最佳区,主要因为,低N区的N吸收量极低,虽产量也低,但两者的相对比值 Y/N_{up} ,即 NUE_w 却为最高。相反地,高N区由于N吸收量高而使 Y/N_{up} 相对降低, NUE_w 为低值区。

3 分析及讨论

小麦经济产量的形成及水分利用效率和N素利用效率都直接或间接地取决于其生长状况。而小麦的生长则决定于土壤水分和养分以及其它多

方面的条件。从生产与资源角度考虑,作物生产的理想效果应是经济产量、 WUE 、 NUE_w 以及吸N量均高,且施N量和灌水量最节省时为最佳。在高产低 WUE 和 NUE_w 值情况下,说明了水肥资源利用的不当。同时,尽管 WUE 和 NUE_w 可能有较高的值,但经济产量低的情况下,也不能定为最佳的选择目标。所以,在本试验条件下,冬小麦生产的最佳水分适宜范围是在W2~W3,即RW为75%~85%之间。在本试验施N量范围内,经济产量高值区与 WUE 一致,而 WUE 与 NUE_w 的高值区正好相反。因此最佳施N量范围应定为f3左右。在以上水、氮范围内,小麦生长状况良好,冠根比适宜,吸N量较多,最终表现出高产、高效(即 WUE 值高,而 NUE_w 值适中)。

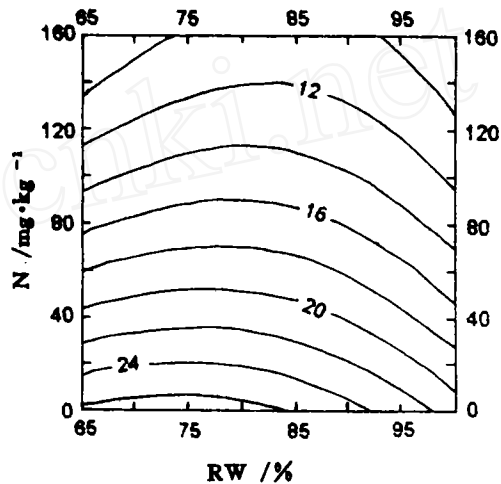


图7 NUE_w 与 RW 和施 N 量关系的等值线图
Fig 7 The contour map of NUE_w with RW and N supply

参 考 文 献

- 1 山仑. 植物的水分利用效率和半干旱地区农业用水. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 61
- 2 李玉山等. 黄土高原南部作物水肥产量效应的田间研究. 土壤学报, 1990, 27(1): 1~7

- 3 张和平, 刘晓南. 黑龙江地区冬小麦生产中水肥关系及优化灌水施肥模型研究. 干旱农业研究, 1991, 10(1):32~38
- 4 赵立新等. 旱地冬小麦施肥效应研究. 干旱地区农业, 1991, 4:46~52
- 5 程素云, 莽存芳等. 施肥在提高旱作小麦水分生产率中的作用. 旱地农业研究, 1987, (2):58~66
- 6 Badaruddin M, Meyer D W. Forage legume effects on soil nitrogen and grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. Agron J, 1989, 81:419~424
- 7 Kerentajer L, Berliner P R. Effects of moisture stress on nitrogen fertilizer response in dryland wheat. Agron J, 1988, 80:977~981
- 8 Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron J, 1982, 74:562~564
- 9 Sharma B D, Jalota S K, Kar S, Singh C B. Effect of nitrogen and water uptake on yield of wheat. Fertilizer Research, 1992, 31,5~8
- 10 Singh P N, Joshi B P, Singh G. Water use and yield response of wheat to irrigation and nitrogen on an alluvial soil in North India. Agri Water Manage, 1987, 12:311~321

Study on The Efficient Use of Soil Water and Nitrogen for Winter Wheat

Lui Laihua Li Yunzhu Qi Xuemei Huang Yuanfang
(Dept. of Soil and Water Science, CAU, Beijing 100094)

Abstract: For high production of crops and saving water and fertilizer resources, the growth and yield of wheat evapotranspiration (ET), N uptake, water use efficiency (WUE) and the nitrogen use efficiency for wheat (NUE_w) were studied under various levels of soil water and N supply. The results showed that with soil moisture content 75%~85% of field capacity and higher N supply, shoot and root of wheat developed quite well, ET and N uptake were at high level, the yield of grain and WUE were increased and NUE_w kept moderate. The unsuitability of seeking for either high production or high efficiency alone was emphasized in this paper.

Key words: winter wheat; soil water; nitrogen; use efficiency