

稻茬田肥力水平与施氮量对小麦籽粒产量和物质生产的影响

张铭^{1,2}, 蒋达¹, 缪瑞林³, 许轲¹, 刘艳阳¹, 张军¹, 张洪程¹

(1. 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009; 2. 扬州大学农学院, 江苏扬州 225009;
3. 江苏省宿迁市政府, 江苏宿迁 223900)

摘要: 为给江苏淮北麦区不同肥力土壤上小麦高产施氮提供理论依据, 以该麦区主推中筋小麦淮麦 19 和强筋小麦烟农 19 为材料, 研究了高、中、低肥力稻茬田上施氮量对小麦籽粒产量和物质生产的影响。结果表明, 产量与施氮量在高、中土壤肥力条件下呈二次曲线关系, 在低肥力条件下呈线性关系; 高、中肥力条件下获得最高产量所需施氮量淮麦 19 分别为 246.7 和 286.1 kg·hm⁻², 烟农 19 分别为 247.9 和 292.6 kg·hm⁻²; 不同土壤肥力水平的高产处理在各个生育时期均有相应较高的群体质量性状。各土壤肥力条件下的不同施氮量处理, 由于小麦物质生产多方面因素的综合作用, 均出现了各自相对的最高产量, 而最高产量随土壤肥力提高而显著上升, 相反取得最高产量所需的施氮量却依次相应降低。因此, 小麦生产中要因土壤肥力水平的高低来制定不同的目标产量以及相对应的精确施氮量。

关键词: 小麦; 土壤肥力; 施氮量; 产量; 物质生产

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2010)02-0330-07

Effects of Different Soil Fertility Levels and N Application Rate on Wheat Yield and Matter Production after Rice

ZHANG Ming^{1,2}, JIANG Da¹, MIAO Rui-ling³, XU Ke¹,

LIU Yan-yang¹, ZHANG Jun¹, ZANG Hong-cheng¹

(1. Key Laboratory for Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

2. Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

3. Suqian Government of Jiangsu Province, Suqian, Jiangsu 223900, China)

Abstract: Took Huaimai 19 and Yannong 19 as materials, the effects of nitrogen application rate on yield and matter production in wheat after rice in northern of Jiangsu winter wheat growing areas under high, middle, low soil fertility levels were studied. The results showed that there were significant Conics relations between nitrogen application rate and wheat yield in high and middle soil fertility level, but it was a linear correlation under low fertility soil. The appropriate nitrogen rate were 246.7 and 286.1 kg·hm⁻² for high yield of Huaimai 19 in high, middle soil fertility level, and 247.9 and 292.6 kg·hm⁻² for high yield of Yannong 19; there were high-quality crops population with the higher yield treatment in every growth stages. There was a highest wheat production at nitrogen rates in different soil fertility level because of the combined effects in wheat matter production, and the highest wheat production improved with the soil fertility level increasing. In contrast, the nitrogen rates for highest wheat production declined with the soil fertility level increasing. Therefore, we should decide different target output and accurate nitrogen rate in accordance with different soil fertility levels in practice of wheat production.

Key words: Wheat; Soil fertility level; Nitrogen rate; Yield; Matter production

①收稿日期: 2009-08-03 修回日期: 2009-09-04

基金项目: 农业部农业结构调整重大专项(06-03-05B); 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(06KJB210134)。

作者简介: 张铭(1967-), 男, 在读博士, 主要从事作物栽培生理研究。E-mail: sqzhangming@suqian.gov.cn

通讯作者: 张洪程(1951-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事作物栽培生理研究。

科学的栽培措施是小麦取得高产的重要途径, 而确定精确合理的施氮量又是其中的关键。江苏淮北麦区的小麦栽培研究相对薄弱, 尤其是不同土壤肥力下因地制宜进行施肥的技术研究甚少, 很多地方施氮量不合理, 不但不能使小麦增产, 还对地下水、大气等环境造成潜在危害^[1-2]。因此, 研究该区不同肥力水平土壤上小麦的精确施氮技术, 既能保证该区小麦产量又能保护环境、节约成本和提高农民收益。目前, 就施氮量与小麦产量的关系, 已有大量研究^[3-11]。研究结果表明, 高肥力土壤上施氮量与产量呈二次曲线关系, 低肥田在 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以内施氮量与产量呈极显著线性正相关关系^[3]。孙旭生等^[4] 研究认为, 过高的施氮量 ($375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 导致灌浆后期叶片衰老加快, 净光合速率下降迅速, 叶面积指数降低, 千粒重下降明显, 最终使产量减少。张耀兰等^[5] 研究得出, 随施氮量的加大, 单位面积穗数和穗粒数均呈增加趋势, 而千粒重呈下降趋势。还有学者^[6] 研究表明, 施氮量在 $0 \sim 240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内, 干物质积累量随施氮量的增加而增加, 施氮量增至 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 干物质积累量降低。关于不同肥力土壤上氮肥的增产效应, 有研究^[7] 认为是低肥地 > 中肥地 > 高肥地。纵观前人观点, 大多是在单一肥力水平土壤上进行施氮量对产量和物质生产影响比较得到的, 并且多在旱田茬口下开展的研究, 而江苏淮北麦区南部不同肥力稻茬田上的这方面报道则很少见。本试验在高、中、低肥力的稻茬田上进行, 研究分析了肥力与施氮量对小麦籽粒产量和物质生产的影响, 以期为该麦区不同肥力土壤上小麦高产施氮提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试品种为江苏淮北麦区主推的中筋小麦淮麦 19 和强筋小麦烟农 19。

1.2 试验设计

试验于 2005-2007 年在江苏淮北麦区宿豫县 ($34^{\circ}02' \text{ N}$, $118^{\circ}07' \text{ E}$) 进行, 选择有代表性的水稻土粘壤土。通过前茬水稻测产和土壤养分测定选取该区有代表性的高、中、低肥力田各一块, 即三个肥力水平(三块田前茬水稻产量和肥力指标见表 1); 施氮量设 $0, 135, 202.5, 270, 337.5, 405 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 六个水平, 重复 3 次; 小区面积为 15 m^2 , 随机区组排列。试验于 10 月 17 日播种, 精量条播, 行距 25 cm , 基本苗为 $195 \text{ 万} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。氮肥运筹设置基追比强筋小麦为 $5:5$, 中筋小麦为 $6:4$; 追肥均在拔节

孕穗期一次性施用, 各处理施 P_2O_5 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 磷钾肥一次性基施, 其他管理措施统一按常规栽培管理方式进行。试验重复两年。

1.3 测定项目

在拔节、抽穗、成熟三个时期, 每个小区定两个 1 m 长的点查群体茎蘖数(成熟期为有效穗数), 并分别取样, 105°C 杀青 45 min , 80°C 烘干至恒重后测定全株干物质重。在这三个时期以及抽穗后 20 d 分别用 Li3000A 型自动叶面积仪测量植株叶面积, 并计算出叶面积指数。成熟期按小区收获, 并根据小区实际产量计算公顷理论产量。

用 DPS 数据处理系统和 Microsoft Excel 2003 进行数据分析。由于两年处理间试验结果变化趋势基本一致, 本文主要对 2007 年试验结果加以分析。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力与施氮量对小麦籽粒产量及构成因素的影响

2.1.1 小麦籽粒产量及构成因素的方差分析

方差分析结果(表 2)表明, 土壤肥力对穗数、千粒重和产量的影响极显著, 施氮量对产量及其构成因素均有极显著的影响。土壤肥力和施氮量间在穗数、穗粒数和两年的产量上存在极显著的互作效应。

2.1.2 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦籽粒产量及构成因素的影响

由表 3 得出, 籽粒产量在高、中土壤肥力条件下随施氮量的增加表现为先升后降的趋势, 与施氮量呈二次曲线关系; 在低肥力条件下表现为上升的趋势, 与施氮量则呈线性正相关关系。就其平均值而言, 高土壤肥力条件下的产量最高, 低土壤肥力条件下产量最低, 两个供试品种表现一致。高、中、低土壤肥力下籽粒产量与施氮量的关系用方程(y 为籽粒产量, x 为施氮量)可表示为:

$$\text{高肥力: } y_{\text{淮麦}19} = -0.0556x^2 + 27.428x + 4867.4, r = 0.9958^{**}$$

$$y_{\text{烟农}19} = -0.0552x^2 + 27.369x + 4908.0, r = 0.9953^{**}$$

$$\text{中肥力: } y_{\text{淮麦}19} = -0.0395x^2 + 22.598x + 4449.0, r = 0.9992^{**}$$

$$y_{\text{烟农}19} = -0.0386x^2 + 22.592x + 4385.4, r = 0.9990^{**}$$

$$\text{低肥力: } y_{\text{淮麦}19} = 7.9887x + 4497.1, r = 0.9122^{**}$$

$$y_{\text{烟农}19} = 8.1563x + 4532.9, r = 0.9151^{**}$$

根据方程可得出, 淮麦 19 在高、中土壤肥力条件下的施氮量分别为 246.7 和 286.1 kg · hm⁻²时, 籽粒产量出现最高值为 8 250.0 和 7 681.1 kg · hm⁻²; 而烟农 19 在高、中土壤肥力条件下施氮量分别为 247.9 和 292.6 kg · hm⁻²时, 籽粒产量最高值分别为 8 300.5 和 7 691.1 kg · hm⁻²。

表 1 试验田前茬水稻产量及土壤养分含量
Table 1 Yield of rice and the content of soil nutrient before the test

土壤肥力 Soil fertility	前茬水稻产量 Rice yield before the test /(kg · hm ⁻²)	空白区小麦产量 Wheat yield of blank plot /(kg · hm ⁻²)	全 N Total N content /(g · kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g · kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg · kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg · kg ⁻¹)
高肥力 High fertility	9 782.3a	4 006.7a	1.32a	18.29a	89.27a	15.00a	65.54a
中肥力 Middle fertility	8 475.2b	3 321.0b	1.10b	13.10b	75.01b	10.82b	55.79b
低肥力 Low fertility	7 259.8c	2 676.5c	0.88c	9.76c	63.85c	6.92c	46.28c

字母表示 5% 差异显著水平。下同。

Values followed by a different letter are significantly different at 5% probability level. The same as below.

表 2 小麦产量及构成因素方差分析(F 值)
Table 2 Analysis of variance of wheat grain yield and yield components(F value)

变异来源 Source	穗数 No. of spike	穗粒数 No. of kernel per spike	千粒重 1000 kernel weight	2007 年产量 Grain yield of 2007	2006 年产量 Grain yield of 2006
肥力水平 Soil fertility level	52.4* *	0.03	25.8* *	10.5* *	11.0* *
施氮量 Nitrogen rate	99.6* *	23.3* *	380.6* *		
肥力 × 施氮量 Fertility × Nitrogen	12.6* *	10.1* *	1.0		

* * 表示 1% 显著水平。下同。 * * means significant at 1% probability level. The same as below.

表 3 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦产量及其构成因素的影响
Table 3 Effect of different nitrogen rates on wheat grain yield and yield components in different fertility soils

肥力水平 Soil fertility	施氮量 Nitrogen level /(kg · hm ⁻²)	2007								2006 年产量 Grain yield in 2006 /(kg · hm ⁻²)	
		穗数 Spike number /(× 10 ⁴ · hm ⁻²)		穗粒数 Kernel number per spike		千粒重 1000 kernel weight /g		产量 Grain yield /(kg · hm ⁻²)		淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19
		淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19				
高肥力 High fertility	0	417.8g	438.8g	25.5g	25.4g	46.4ab	44.9b	4 827.2i	4 878.8g	4 885.4g	4 949.8g
	135	575.3d	613.7bcd	30.9de	29.3ef	43.5c	43.3c	7 621.6b	7 612.5bc	7 561.2bc	7 479.7bc
	202.5	657.3a	672.8a	31.2cd	31.3bc	40.9e	40.3ef	8 229.0a	8 314.1a	8 419.7a	8 501.3a
	270	663.2a	683.9a	32.1ab	31.8ab	39.5fg	39.0h	8 178.8a	8 250.6a	8 449.2a	8 401.3a
	337.5	669.8a	689.2a	30.8de	30.9cd	37.6h	36.9j	7 603.5b	7 656.0bc	7 736.8b	7 712.1b
中肥力 Middle fertility	0	381.2h	400.5h	25.0g	24.8g	46.9a	45.3b	4 431.0j	4 375.5h	4 217.4h	4 362.4h
	135	527.3e	555.0e	30.1e	29.2ef	44.0c	43.4c	6 843.9fg	6 795.3e	6 935.4de	6 958.4de
	202.5	579.8d	601.5cd	30.6de	30.0ef	42.1d	41.6d	7 360.5bcd	7 287.0cd	7 250.4cd	7 340.3bcd
	270	624.8b	651.6ab	31.1cd	30.2de	40.1f	39.8fg	7 695.0b	7 719.4b	7 702.2b	7 749.1b
	337.5	629.3b	678.5a	31.8ab	31.3bc	39.2g	37.1j	7 519.7bc	7 606.5bc	7 773.7b	7 728.4b
低肥力 Low fertility	0	354.9i	369.8i	23.6h	23.2h	47.1a	46.7a	3 882.5k	3 912.7i	3 676.3i	3 770.7i
	135	462.8f	486.5f	28.7f	29.0f	45.7b	43.8c	5 868.8h	5 929.5f	5 801.7f	5 864.2f
	202.5	525.8e	550.2e	30.8de	31.3bc	42.3d	40.5e	6 723.7g	6 808.5e	6 681.8e	6 775.8e
	270	543.9e	578.4de	31.5bc	31.5ab	41.2e	39.2gh	6 976.5efg	7 068.7de	6 999.7de	7 042.5cde
	337.5	573.8d	602.7cd	32.3a	31.9ab	39.5fg	38.2i	7 237.4cde	7 285.5cd	7 201.4d	7 171.9cde
405	592.7cd	621.5bc	32.3a	32.2a	38.4h	37.0j	7 078.8def	7 203.4d	7 181.7d	7 119.9cde	

两供试品种在高土壤肥力下 337.5 和 405 kg · hm⁻² 施氮处理、中土壤肥力下 405 kg · hm⁻² 施氮处理两年试验均发生倒伏。

The two year trial in high fertility of 405 and 337.5 middle fertility of 405 kg · hm⁻² occurred lodging in two varieties.

分析产量构成因素可知, 随施氮量的增加, 穗数呈线性上升的趋势, 而千粒重则呈线性下降的趋势。穗粒数与施氮量在高、中土壤肥力条件下呈二次曲线关系, 相关系数分别为 0.9964^{**}、0.9902^{**}; 在低土壤肥力条件下呈线性关系, 相关系数为 0.9186^{**}。不同土壤肥力条件下, 高肥力处理的穗数最多, 千粒重最小; 低土壤肥力的穗数最少, 千粒重最大; 穗粒数在不同土壤肥力条件间差异不显著, 两品种表现一致。综合两年的试验结果, 不同土壤肥力下小麦的穗数、穗粒数和千粒重需协调发展才能获得高产, 如果群体过大, 穗数过多, 可能会引起生长后期发生倒伏, 致使灌浆不充分和千粒重下降, 产量降低; 相反, 如果穗数过少, 则会因群体生长量不足而导致低产。

2.2 土壤肥力与施氮量对小麦物质生产的影响

2.2.1 土壤肥力与施氮量对单位面积茎蘖数及分蘖成穗率的影响

由表 4 可知, 土壤肥力水平间与施氮量间小麦拔节期、抽穗期和成熟期的茎蘖数均存在极显著的差异。不同土壤肥力水平下各生育时期的茎蘖数和成熟期茎蘖成穗率均表现为高肥力 > 中肥力 > 低肥力。随施氮量的增加, 拔节期和抽穗期的单位面积茎蘖数呈线性上升, 成熟期的茎蘖数与施氮量呈显著的二次曲线关系, 相关系数为 0.9964^{**}; 成穗率随施氮量的增加表现为先升后降的趋势, 与施氮量呈二次曲线关系, 相关系数为 0.9986^{**}。高土壤肥力下最高茎蘖数出现在拔节期的 405 kg · hm⁻² 施氮处理上, 但该处理的成穗率却不是最高, 因为该处理的前期群体密度过高使大部分蘖无足够生长空间而死亡, 无效分蘖数量增多, 最终的成穗率较低。中、低土壤肥力下最高茎蘖数处理没有得到最高成穗率的原因也是这样的。比较各处理的产量和成穗率发现, 各土壤肥力下最高产量处理的成穗率也均表现为最高。

表 4 不同土壤肥力与施氮量条件下小麦单位面积茎蘖数及茎蘖成穗率
Table 4 Number of main stems and tiller per unit ground area and earning percentage of main stems and tiller in wheat with different fertility soil and different nitrogen rates

土壤肥力 Soil fertility	施氮量 (kg · hm ⁻²) Nitrogen level	茎蘖数 Stem number / (× 10 ² stems · m ⁻²)						茎蘖成穗率 Earning percentage of main stems and tillers / %	
		拔节期 Jointing stage		抽穗期 Spiking stage		成熟期 Maturity stage		Earning percentage of main stems and tillers / %	
		淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19
高肥力 High fertility	0	10.27g	11.55h	4.90i	5.31i	4.18g	4.39g	40.7i	38.0i
	135	12.09ef	13.65ef	6.99de	7.36ef	5.75d	6.14bcd	47.6bcd	45.0bc
	202.5	12.97cd	14.56cd	7.63c	8.05cd	6.57a	6.73a	50.7a	46.2a
	270	13.56c	15.22bc	8.29b	8.53bc	6.63a	6.84a	48.9ab	44.9bc
	337.5	14.38ab	16.58a	8.43ab	8.76b	6.70a	6.89a	46.6cde	41.6g
	405	15.01a	17.19a	8.83a	9.57a	6.64a	6.82a	44.2fg	39.7h
中肥力 Middle fertility	0	9.40h	10.50i	4.37j	4.66j	3.81h	4.00h	40.5i	38.1i
	135	10.92g	12.32g	6.06h	6.54h	5.27e	5.55e	48.3bc	45.0bc
	202.5	11.94ef	13.57ef	6.56fg	6.81gh	5.80d	6.01cd	48.6b	44.3cd
	270	12.66de	14.21de	7.14d	7.20fg	6.25b	6.52ab	49.3ab	45.9ab
	337.5	13.71bc	15.58b	7.34cd	7.72de	6.29b	6.78a	45.9def	43.5de
	405	14.48a	15.67b	7.80c	8.10cd	6.17bc	6.24bc	42.6gh	39.8h
低肥力 Low fertility	0	8.43i	9.88i	3.94j	4.50j	3.55i	3.70i	42.1hi	37.4i
	135	10.30g	11.74gh	5.15i	5.58i	4.63f	4.86f	44.9ef	41.4g
	202.5	11.69f	13.20f	6.18gh	6.43h	5.26e	5.50e	45.0ef	41.7g
	270	12.02ef	13.73ef	6.38fg	6.70h	5.44e	5.78de	45.2ef	42.1fg
	337.5	12.62de	14.02de	6.86de	7.32ef	5.74d	6.03cd	45.5ef	43.0ef
	405	13.48c	15.06bc	7.12d	7.66de	5.93cd	6.21bc	44.0fg	41.3g

2.2.2 土壤肥力与施氮量对叶面积指数的影响

由表 5 可以看出, 不同土壤肥力间叶面积指数差异显著。就其平均值而言, 各个时期均表现为高肥力 > 中肥力 > 低肥力。两个小麦品种在抽穗期前, 叶面积指数随施氮量的增加呈线性上升趋势; 抽穗后 20 d, 在低土壤肥力条件下叶面积指数与施氮量呈线性关系, 而在高、中肥力条件下叶面积指数与

施氮量成二次曲线关系, 相关系数分别为 0.9920^{**} 和 0.9976^{**}。然而叶面积过大不利于高产。如在高肥力条件下 405 kg/ha 施氮处理孕穗期叶面积指数接近 8, 这样群体太大, 使田间通风透光性差, 光合源衰减快, 从孕穗期到抽穗后 20 d 的叶面积淮麦 19 平均每天下降速率为 0.119 m² · m⁻², 烟农 19 则为 0.121 m² · m⁻², 所以叶面积持续期短, 净同化率

低,不利于籽粒充实,产量不高;而高肥力条件下270 kg/ha 施氮处理的叶面积在孕穗后平均每天下降速率则相对较慢,淮麦 19 为 $0.096 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, 烟农 19 则为 $0.097 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, 所以产量最高。中、低

肥力土壤上高产处理的叶面积从孕穗期到抽穗后 20 d 的下降速率相对也较慢,因此在灌浆后期仍然有较大的光合源,是其高产形成的关键。

表 5 不同土壤肥力与施氮量条件下小麦各生育时期的叶面积指数
Table 5 Leaf area index in wheat with different fertility soil and different nitrogen rates

土壤肥力 Soil fertility	施氮量 /(kg·hm ⁻²) Nitrogen level	拔节期 Jointing stage		孕穗期 Booting stage		抽穗期 Heading stage		抽穗后 20 d 20 d after heading	
		淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19
		高肥力 High fertility	0	2.60h	2.68g	4.14g	4.23h	3.34i	3.43h
	135	3.69ef	3.78ef	6.88ef	6.92fg	5.89efg	5.93ef	3.87de	3.91bcd
	202.5	3.99d	4.08cde	7.23cd	7.28cde	6.19bc	6.23abc	4.05abc	4.08abc
	270	4.29bc	4.39abc	7.39bc	7.51bc	6.28abc	6.30abc	4.11a	4.13a
	337.5	4.40ab	4.48ab	7.54ab	7.73ab	6.31ab	6.35ab	4.01abc	4.04abc
	405	4.56a	4.64a	7.79a	7.91a	6.36a	6.41a	3.85e	3.92bcd
中肥力 Middle fertility	0	2.54h	2.61g	3.97gh	4.09h	3.22i	3.29hi	2.49g	2.53f
	135	3.59fg	3.65f	6.73f	6.78g	5.78fgh	5.86fg	3.69f	3.77de
	202.5	3.78e	3.90def	7.00de	7.17e	5.98def	6.11cd	3.95bcd	4.06abc
	270	3.98d	4.04cde	7.18cd	7.27cde	6.17bc	6.21bcd	4.04abc	4.09abc
	337.5	4.18c	4.34abc	7.36bc	7.51bc	6.23abc	6.30abc	4.07ab	4.10abc
	405	4.31bc	4.52ab	7.53ab	7.73ab	6.28ab	6.35ab	3.91cde	3.93bcd
低肥力 Low fertility	0	2.42h	2.51h	3.75h	3.84i	3.18i	3.23i	2.42g	2.49f
	135	3.45g	3.53f	6.62f	6.68g	5.63h	5.70g	3.57f	3.63e
	202.5	3.59fg	3.71ef	6.84ef	6.88g	5.75gh	5.91f	3.85e	3.90cd
	270	3.82de	3.88def	7.04de	7.14ef	6.05cde	6.09de	3.92cde	4.01abc
	337.5	3.97d	4.03cde	7.15cd	7.25cde	6.11bcd	6.20bcd	4.03abc	4.10abc
	405	4.16c	4.22bcd	7.33bc	7.50bcd	6.12bcd	6.22bcd	4.05abc	4.11ab

表 6 不同土壤肥力与施氮量条件下小麦各生育时期的干物质积累量
Table 6 Dry matter accumulation in wheat with different fertility soil and different nitrogen rates $t \cdot \text{hm}^{-2}$

土壤肥力 Soil fertility	施氮量 /(kg·hm ⁻²) Nitrogen level	拔节期 Jointing stage		抽穗期 Heading stage		成熟期 Maturity stage	
		淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19	淮麦 19 Huaimai 19	烟农 19 Yannong 19
		高肥力 High fertility	0	3.68fgh	3.90hij	8.06j	8.46i
	135	4.09de	4.21efg	11.45g	11.58fg	17.37d	17.83cd
	202.5	4.29cd	4.36cde	12.61de	12.67cde	19.27a	19.53a
	270	4.47bc	4.57bc	12.95cd	13.12bc	19.52a	19.64a
	337.5	4.73ab	4.79ab	13.58ab	13.59ab	18.82abc	18.91ab
	405	4.83a	4.99a	13.84a	14.03a	18.26bc	18.10bcd
中肥力 Middle fertility	0	3.38i	3.43k	7.39k	7.89j	10.34h	10.97h
	135	3.79fg	3.85ij	10.52h	10.64h	15.45e	15.45f
	202.5	3.96ef	3.99hij	11.40g	11.96efg	16.87d	17.45d
	270	4.13de	4.09ghi	12.61de	12.63cde	18.51bc	18.55bc
	337.5	4.29cd	4.30def	12.96cd	12.91bcd	18.88ab	18.61bc
	405	4.52bc	4.50cd	13.20bc	13.24bc	17.99cd	17.94cd
低肥力 Low fertility	0	2.94j	2.91l	6.86l	7.20k	9.27i	9.87i
	135	3.44hi	3.43k	9.82i	10.22h	13.86f	14.68f
	202.5	3.56ghi	3.75j	10.69h	11.39g	15.41e	16.44e
	270	3.65gh	3.87ij	11.91f	12.00efg	17.18d	17.18de
	337.5	3.78fg	3.95hij	12.26ef	12.19def	17.62d	17.44d
	405	3.92ef	4.14fgh	12.60de	12.56cde	17.93cd	17.55d

2.2.3 土壤肥力与施氮量对干物质积累量的影响

2.2.3.1 土壤肥力与施氮量对各时期干物质积累量的影响

土壤肥力间与施氮量处理间拔节、抽穗和成熟期干物质积累量均存在极显著差异(表 6)。在不同肥力土壤上小麦干物质积累量在拔节和抽穗期随施

氮量的增加均呈线性上升趋势;在高、中肥力条件下成熟期的干物质积累量与施氮量呈显著的二次曲线关系,相关系数分别为 0.9963^{**}、0.9972^{**},而在低肥力条件下干物质积累量与施氮量则呈线性关系。高肥力条件下各生育时期的干物质积累量均最大,在拔节期分别比中、低肥力条件下高 9.7% 和 22.1%,抽穗期分别高 6.3% 和 12.5%,成熟期分别高 6.9% 和 14.2%。与各处理小麦籽粒产量相比较可以看出,在各土壤肥力水平下最高产量处理均有较大的成熟期干物质积累量,并且抽穗至成熟期的群体生长速率也较大,高土壤肥力下群体生长速率平均每天达到 15.93 g · m⁻²,分别比中、低土壤肥力条件下的生长速率分别高 14.2% 和 27.3%。

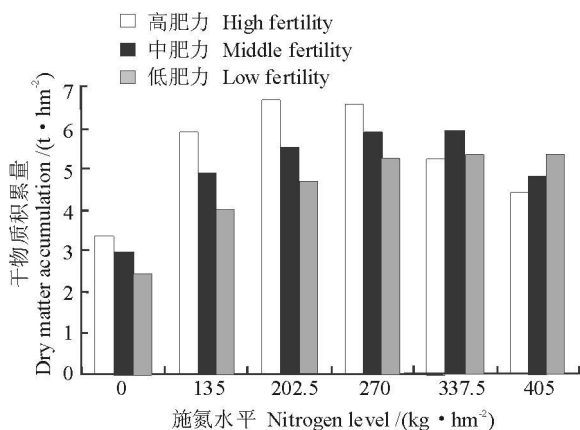


图 1 不同土壤肥力和施氮量条件下淮麦 19 花后干物质积累量

Fig. 1 Dry matter accumulation after spiking of Huaimai 19

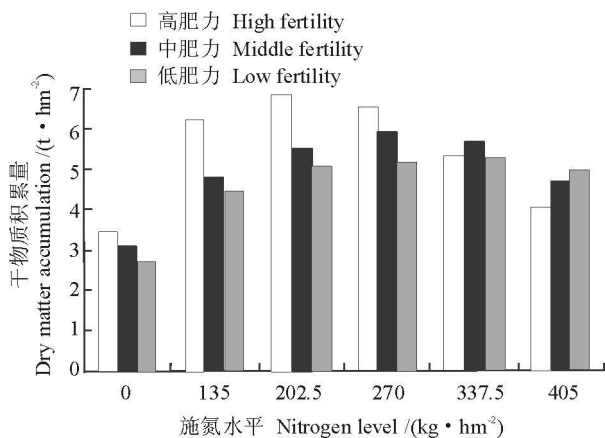


图 2 不同土壤肥力和施氮量条件下烟农 19 花后干物质积累量

Fig. 2 Dry matter accumulation after spiking of Yannong 19

2.2.3.2 土壤肥力与施氮量对花后干物质积累量的影响

由图 1、图 2 可知,施氮量在 0~270 kg · hm⁻²

时,花后干物质积累量在高肥力条件下的最大,在低肥力条件下最小;施氮量达到 337.5 kg · hm⁻²时,则在中肥力条件下花后干物质积累量最大,当施氮量达到 405 kg · hm⁻²时,在低肥力条件下花后干物质积累量则最大。花后干物质积累量与产量存在显著的线性正相关关系,即花后干物质积累量大的处理,籽粒产量也较高。由此可以看出,土壤基础肥力高的在低氮肥条件下就可取得较高小麦花后干物质积累量,施氮量过大反而影响花后干物质的积累,而中、低肥力条件下则需要较大的施氮量才能取得到较高的花后干物质积累量,所以在小麦的生产中应根据土壤肥力的高低来确定不同的施氮量。

3 讨论

3.1 不同肥力土壤的目标产量确定与精确施氮

本研究结果表明,不同肥力土壤上的小麦籽粒产量差异显著,与前人研究结果一致^[3]。根据平衡施肥原理,采用斯坦福方程^[2]精确计算施氮量,首先要根据不同土壤肥力合理确定目标产量,如果小麦目标产量定得过高,就有可能计算出一个不切实际的过大施氮量,造成资源浪费;相反,目标产量定得偏低,计算得出的施氮量偏少,就会因施氮不足而难以获得高产。从本研究中高肥力条件下施氮量为 135 和 405 kg · hm⁻²处理结果可以看出,施氮量过高和过低都不能得到高产,中、低肥力下也有类似规律。从这一规律可以看出,不同肥力土壤上通过调节施氮量虽均可得到高产,但各自的高产水平是不同的,且对应的施氮量也是不一样的。由此可见,根据具体田块的土壤肥力来确定合理的目标产量对小麦的高产稳产和高效施氮具有双重意义。从本研究结果看,试验区高、中、低肥力田块的目标产量分别宜定为 8 500、8 000 和 7 500 kg · hm⁻²。

同时,由本研究土壤得出,不施氮处理的产量在两年间表现较为稳定,可用它来代表土壤肥力水平的高低。本试验中两年不施氮处理的产量在高肥力下分别为 4 853.0 和 4 917.6 kg · hm⁻²;在中肥力下分别为 4 403.3 和 4 289.9 kg · hm⁻²;在低肥力下分别为 3 897.6 和 3 971.0 kg · hm⁻²,土壤肥力水平间差异十分显著。它们平均分别是高、中、低肥力上最高产量的 58.4%、56.3%、54.5%。因此,可以用各土壤肥力不施氮条件下的产量乘以 1.8,即可大体推算出不同土壤肥力的目标产量。当然,这种确定目标产量的方法还需日后深入研究。

3.2 培肥地力对小麦高产与氮肥高效的作用

分析本研究中各土壤肥力水平条件下氮肥的偏

生产力(施氮处理籽粒产量-空白籽粒产量/施氮量)得出,不同土壤肥力水平下最高产量处理的氮肥的偏生产力差异显著,在高肥力条件下最大,淮麦19和烟农19分别达到16.8和17.0 kg·kg⁻¹;中肥力次之,分别为12.1和12.4 kg·kg⁻¹;低肥力最小,分别为9.9和10.0 kg·kg⁻¹。中、低肥力下增加施氮量并没有使籽粒产量也同幅度增加,而是增加幅度逐渐变小,施氮量超过一定量时产量反而下降。本试验中各肥力土壤上高产处理的氮肥利用率都较高,高肥力条件下施氮量为202.5 kg·hm⁻²处理的产量最高,其氮肥利用率也达到47.2%,显著高于其他处理,而中、低肥力条件下施氮量分别为270和337.5 kg·hm⁻²处理的产量、氮肥利用率最高。由此可见,高肥力土壤上只需施少量氮肥,就能使小麦产量和氮肥利用率达到最高,而中、低肥力下高施氮处理也达不到这个水平,说明培肥地力对小麦籽粒产量和氮肥利用率的提高具有重要作用,在生产中应加强对土壤基础肥力的培养,这样既节约氮肥又容易取得小麦的高产,达到节本增效的目的。

有学者研究^[13]表明,高肥力田块植株吸氮量中,来自肥料氮的比例低于中、低肥力田块,来自土壤氮的比例则高于中、低肥力田,说明高肥力下植株从土壤中吸取的氮素要比中肥力的多,那么高肥力土壤所需施氮量则相对要少,与本研究结果一致。本研究中得出不同土壤肥力条件下的氮素利用率也不尽相同,总体上氮肥利用率是高肥力最高、低肥力最低,且各肥力水平下氮素利用率均随施氮量的增加呈先上升后下降趋势,这与前人研究结果^[14-15]有所不同。前人研究^[16-17]得出,低肥力田上的小麦植株对基施氮肥的吸收量及占总吸收氮素的比例大于拔节期追施,高肥力田上则正好相反。由此可见,不同土壤肥力的田块应采取不同的氮肥基追比,才能使小麦各个时期氮肥施用获得较高效果,因此今后在本研究基础上还要加强对氮肥运筹方式的研究。

参考文献:

[1] 张国梁,章申. 农田氮素淋失研究进展[J]. 土壤, 1998, 30(6):

291-297.

- [2] Keeney D R. Sources of nitrate to groundwater[A]. In: Follett R F. ed. Nitrogen management and ground water protection developments in agricultural and managed forest ecology 21[C]. New York: Elsevier, 1989: 23-34.
- [3] 林琪,侯立白,韩伟. 不同肥力土壤下施氮量对小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 561-567.
- [4] 孙旭生,林琪,李玲燕,等. 氮素对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 840-844.
- [5] 张耀兰,曹承富,杜世州,等. 施氮水平对不同类型小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(4): 652-657.
- [6] 于文明,于振文,魏守江. 施氮量和基本苗对小麦干物质积累量和产量及氮肥利用率的影响[J]. 山东农业科学, 2006(4): 35-37.
- [7] 朱明哲,吴国梁,翟素琴,等. 三种土壤基础肥力不同施氮量对优质小麦产量及品质的影响[J]. 河南职业技术师范学院学报, 2004, 32(6): 15-18.
- [8] 马东辉,李松,潘志海,等. 施氮量和花后控水对小麦水分生产效率及产量的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2009, 26(2): 99-102.
- [9] 赵俊晔,于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 484-490.
- [10] 王月福,姜东,于振文,等. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 513-520.
- [11] 康国章,王永华,郭天财,等. 氮素施用对超高产生育后期光合特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(1): 82-86.
- [12] Stanford G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production[J]. Journal of Environment Quality, 1979, 2: 159-165.
- [13] 韩燕来,葛东杰,汪强,等. 施氮量对豫北潮土区不同肥力麦田氮素去向及小麦产量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 151-154.
- [14] 介晓磊,韩燕来,谭金芳,等. 不同肥力和土壤质地条件下麦田氮肥利用率的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 884-888.
- [15] 赵俊晔,于振文. 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 815-822.
- [16] 王月福,于振文,李尚霞,等. 土壤肥力和施氮量对小麦氮素吸收运转及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1868-1872.
- [17] 田纪春,张忠义,梁作勤. 高蛋白和低蛋白小麦品种的氮素吸收和运分配差异的研究[J]. 作物学报, 1994, 20(1): 76-83.