

不同施氮水平和杂草清除时间对半湿润地区农田氮素利用及产量的影响^{*}

南维鸽^{1, 2, 3}, 李世清^{1, 2, 4*}, 侯红乾^{1, 2}, 李生秀²

(1. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 3. 陕西理工学院, 汉中 723001;

4. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 在半湿润地区中等肥力土垫旱耕人为土上进行田间试验, 通过对冬小麦不同生育期杂草和作物样品的采集与分析, 研究不同施肥及杂草处理对氮肥肥效的影响。结果表明: 作物吸氮量随施氮量增加而增加, 杂草吸氮量随施氮量增加而降低; 在不同杂草处理全生育期不清除杂草(A)、越冬前清除杂草(B)、返青期清除杂草(C)和拔节期清除杂草(D)的各个处理中, A、B、C和D杂草吸氮量分别占农田植物(作物+杂草)地上部分总吸氮量的1.98%、1.39%、3.99%和3.82%。籽粒产量随施氮量增加而增加, 施氮量为135 kg N# hm⁻²时产量最高, 达5 645.1 kg# hm⁻², 施氮量高于135 kg N# hm⁻²时, 产量趋于稳定。氮肥利用率、氮肥利用效率、氮肥农学效率和氮肥生理效率均随施氮量增加而降低; 从不同杂草处理看, 以全生育期不清除杂草处理氮肥利用率最高, 达到43.8%, 返青期清除杂草处理氮肥利用率最低, 为26.3%, 二者间差异达显著水平; 氮肥利用效率以越冬期清除杂草处理最高, 为42.8 kg# kg⁻¹ N, 全生育期不清除杂草处理最低, 为40.6 kg# kg⁻¹ N; 氮肥生理效率以返青期清除杂草处理最高, 为57.5 kg# kg⁻¹ N, 显著高于其他杂草处理。综合氮效率及产量效率, 小麦农田杂草处理时间应该相对较早, 以越冬期和返青期清除杂草较好。

关键词: 施肥; 产量; 氮素利用率; 氮素利用效率

中图分类号: S512.1⁺ 1

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2007)05201242-07

Effects of Different Fertilizer Application and Time of Removing Weed on the Nitrogen Use and Yield in the Semi-humid of Winter Wheat Field

NAN Weige^{1, 2, 3}, LI Shiqing^{1, 2, 4*}, HOU Hongqian^{1, 2} and LI Shengxiu²

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling

Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of

Water Resources, Yangling Shaanxi 712100, China; 3. Shaanxi University of Technology, Hanzhong Shaanxi 723001, China;

4. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: Application of nitrogen (N) fertilizer is one of the most important measures that increase grain yield and improve grain quality of winter wheat. However, it is common that excessive N fertilizer is applied on fertility field, which not only causes the decline of N use efficiency and economic effects, but also results in larger amount of nitrate-N accumulated in soil, and so it is concerned to bring potential risk environment. In farmland ecological system, N use efficiency may be changed provided that there is weed. Therefore, nitrogen and weed treatments were arranged in a split-plot design with three replicates. Within normal density treatments, five levels of nitrogen, PN₀, PN₄₅, PN₉₀, PN₁₃₅ and PN₁₈₀ were applied. Within each of these treatment combinations, different weed treatments were imposed. The field experiment was conducted in Eumorphic Anthrosol located in the semi-humid

* 收稿日期: 2007-04-02 修回日期: 2007-04-26

基金项目: 国家自然科学基金(30571116, 30670326); 西北农林科技大学创新团队项目资助。

作者简介: 南维鸽(1979-), 女, 陕西省兴平市人, 在读硕士生, 主要进行植物生理生态研究工作。E-mail: nanweige@shu.cn

* 通讯作者: 李世清, 教授, 博士生导师。E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

mid farmland ecological system. Wheat sample and weed sample were collected at different growth stages of winter wheat, total N of which was measured. The experiment was designed to analyze grain yield and nitrogen utilization under different fertilizer levels and weed treatments. The results indicated that N uptake of crop increased with addition of N fertilizer application. N uptake of weed decreased with increase of N fertilizer application during the whole growth stage. Average of N uptake by weed at different treatments A, B, C and D was respectively 2.38, 1.60, 4.71 and 4.54 kg N # hm⁻², accounting for 1.98%, 1.39%, 3.99% and 3.82% of the N uptake amount of overground plant. Grain yield increased with addition of N fertilizer application. However, yield with application 135 kg N # hm⁻² amounted to maximum 5 645.1 kg # hm⁻². Nitrogen utilization rate, nitrogen use efficiency and nitrogen agronomy efficiency decreased with an increase of N fertilizer application during whole growth stage of winter wheat. Nitrogen utilization rate of no removing weed treatment at whole growth stage was the highest to 43.8%, and the lowest to 26.3% in removing weed treatment at reviving stage. Nitrogen utilization efficiency of removing weeds at overwinter stage was the highest to 42.8 kg # kg⁻¹N, and was the lowest to 40.6 kg # kg⁻¹N in removing weeds at jointing stage. Nitrogen physiology efficiency of removing weeds at reviving stage was the highest to 57.5 kg # kg⁻¹N, than others treatments. Analysis of the nitrogen efficiency and the yield efficiency, the time of removing weed should be in prophase of winter wheat, especially in overwinter and reviving stage.

Key words: Fertilizer application; Yield; Nitrogen utilization rate; Nitrogen utilization efficiency

氮肥的产量效应、氮肥利用率以及土壤) 作物体系中的氮素平衡, 始终是评价氮肥合理施用与否的关键所在^[1]。过去对肥料氮利用程度评价指标主要是用差减法或者¹⁵N 标记的氮肥利用率, 国内许多研究者通过田间小区试验发现, 尿素和碳铵的利用率变动于 9%~72%, 平均在 30%~41%, 大部分在 30%~35%^[2,3], 有约 2/3 的氮素以不同途径损失掉^[4], 如沙质土壤中 NO₃⁻ 2N 的淋溶^[5,6]、石灰性土壤中的氨挥发及反硝化损失等^[7]。而氮素利用率降低的原因很多, 人们比较认可的观点是氮肥的盲目使用。针对这一问题, 许多地区也开展了氮肥不同用量的试验研究及氮肥与其他化肥配合施用效果的研究^[8,9]。众多研究认为^[10~12], 随土壤施氮水平的提高, 籽粒产量、籽粒含氮量、氮素累积量均显著增加, 氮利用效率下降。但是在农田生态系统中, 我们往往忽略了杂草的存在, 杂草既是影响农作物生长的主要因素, 也是农田生态系统的重要组成部分^[13], 维持一定数量的农田杂草对保护农业生态系统生物多样性具有重要意义, 但是杂草与作物争夺水、肥、光、气、热, 影响作物产量, 同时杂草吸收了一部分肥料氮。杂草存在对氮效率是否有影响, 目前, 研究较少, 本研究设计了不同施氮水平和杂草处理, 研究农田系统中杂草对氮效率和产量效率的影响。

1 材料和方法

1.1 自然条件

试验在西北农林科技大学土壤肥料试验站进行。该试验站处于黄土高原南部旱作区, 位于渭河三级阶地, 海拔 520 m 左右。本地区属大陆性季风气候, 冬小麦生育期大于 5e 的积温在 1 000~1 300 e, 年均降水量 632 mm, 分布不均, 主要集中在 7、8、9 三个月, 冬春易旱, 年均气温 12.9 e, 年蒸发量 1 400 mm, 地下水深大于 60 m; 属半湿润易旱地区。作物轮作方式主要为冬小麦~夏玉米。供试土壤为土垫旱耕人为土, 其剖面层次大体可划分为耕层(0~20 cm)、粘化层(20~60 cm)和母质层(60~200 cm)。试验地 0~20 cm 土层土壤有机质 13.8 g # kg⁻¹、全氮 0.78 g # kg⁻¹、硝态氮 5.0 mg # kg⁻¹、氨态氮 10.7 mg # kg⁻¹ 和有效磷 11.7 mg # kg⁻¹。

1.2 试验设计

以中等肥力土垫旱耕人为土为供试土壤, 以小偃 22 为指示作物, 进行大田试验。试验处理包括施肥和杂草处理 2 个因子, 采用完全方案。以杂草处理为主处理, 施肥处理为副处理。设 4 种杂草处理方式: 全生育期不除杂草(A)、越冬前清除杂草(B)、返青期清除杂草(C)和拔节后清除杂草(D); 在施磷的基础上每公顷施氮 0 kg、45 kg、

90 kg、135 kg 和 180 kg (即 PN₀、PN₄₅、PN₉₀、PN₁₃₅和 PN₁₈₀); 共 5 个施肥处理 @4 个杂草处理 = 20 个处理; 3 次重复, 共 60 个小区, 小区面积为 6 m², 各小区以 20 cm 的垄隔开。冬小麦播种量为 150.0 kg # hm⁻², 氮肥以尿素(含氮 46%)为氮源; 每公顷均施 1 500 kg 过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)。尿素和磷肥, 在小麦播种前一次性做种肥混施入 0~ 20 cm 土层, 全生育期未进行补充灌溉。管理与一般大田相同。冬小麦于 20052 10216 日播种, 2006206206 日收获, 全生育期为 232 d。

1.3 分析方法

杂草样品的采集: 分别于 2005212231、20062 03207、20062042018 和 2006206205 收集 B 处理、C 处理、D 处理和 A 处理杂草的样品, 4 个时期按区采取杂草样品后, 分类, 称其鲜重后, 在 60 e 下烘干 48 h 至恒重时称生物量干重; 根据试验设计, 在各时期采完杂草后, 一旦发现杂草清除干净, 保持小麦生长期田间无杂草。

小麦样品的采集: 2006201202 越冬期在 B 处理区(即 15 个小区)采取 1 m 行长小麦地上部分样品, 2006203214 返青期在 C 区(即 15 个小区)采 1 m 行长小麦地上部分样品, 2006204219 日拔节期在 D 区(即 15 个小区)采取 1 m 行长小麦地上部分样品; 成熟时, 按区收获(即 60 个小区), 每小区收获 2 m @2 m = 4 m², 样品采集后在 90 e 杀青 0.5 h, 烘干; 成熟期样品在太阳下充分晒干后脱粒, 并取茎叶和籽粒样品烘干测定含水量, 由此计算茎叶和籽粒干重产量(之和为地上部分生物量)。

样品的测定: 把各个时期采集的杂草和小麦样品用浓 H₂SO₄2 混合催化剂消煮后, 用自动定氮仪测定全氮含量^[14]。

1.4 氮效率计算及显著性检验

氮肥利用率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥生理效率等指标的计算参考文献[10, 15], 氮素物质生产效率和氮素产量生产效率的计算公式分别为:

氮素物质生产效率(kg # kg⁻¹ N) = 施肥处理生物产量/ 施氮量;

氮素产量生产效率(kg # kg⁻¹ N) = 施肥处理籽粒产量/ 施氮量。

试验结果采用 DPS 软件进行差异性检验, 多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 施氮和杂草处理对冬小麦生物量及吸氮量的影响

2.1.1 施氮对作物和杂草生物量的影响 试验结果表明(表 1), 成熟期作物生物量随施氮量增加而显著增加, 从不同杂草处理平均值看, 每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg 时的生物量与对照(PN₀)相比, 分别增加 26.8%、31.3%、38.6% 和 33.4%; 施氮对作物生物量影响与杂草处理有关, 对越冬期和返青期清除杂草处理, 作物生物量随施氮量增加而增加; 而全生育期不清除杂草和拔节期清除杂草处理, 在施氮量低于 135 kg N # hm⁻²时, 作物生物量随施氮量增加而增加, 施氮量高于 135 kg N # hm⁻²时, 作物生物量趋于下降。从平均值来看, 杂草生物量随施氮量增加而降低, 与不施氮对照相比, 在每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg 时杂草生物量分别增加 47.1%、36.6%、16.7% 和 8.7%。从作物不同生育期看, 越冬期杂草生物量最低, 仅为 64.6 kg # hm⁻², 与其他生育期差异达显著水平(P < 0.05), 在拔节期杂草生物量最高, 为 247.8 kg # hm⁻²; 在小麦成熟收获时, 杂草生物量 165.0 kg # hm⁻², 这与此时部分杂草已经干枯死亡等有关。总体来看, 杂草生物量所占农田植物总生物量比例很低。施氮 135 kg N # hm⁻²时, 拔节期清除草和全生育期不清除草处理, 作物生物量最高, 分别达到 13.14 @10³ kg # hm⁻²和 13.28 @10³ kg # hm⁻², 而杂草生物量有所下降, 说明在 135 kg N # hm⁻²施氮处理下, 作物和杂草养分竞争表现尤为明显。

2.1.2 不同施氮水平和杂草处理对氮素吸收的影响 试验结果表明(表 2), 无论在何生育期清除杂草, 杂草吸氮量均随施氮量增加而降低, 在 A、B、C 和 D 杂草处理时的杂草吸氮量平均分别为 2.38、1.60、4.72 和 4.54 kg N # hm⁻², 返青期和拔节期清除杂草吸氮量较高, 返青期清除杂草处理吸氮量是全生育期不清除杂草和越冬期清除杂草吸氮量的 1.98 倍和 2.94 倍。这是因为越冬期杂草发芽率低, 生物量少, 杂草吸氮量低; 而返青期杂草生物量少, 但杂草氮含量高, 吸氮量高; 从拔节期后, 由于小麦与杂草相互竞争, 小麦群体生长优于杂草群体生长, 部分杂草结粒、停止生长或死亡, 杂草生物量相对下降, 杂草吸氮量下降。

成熟期作物吸氮量随施氮量增加呈上升趋势,与生物量的变化趋势基本一致。在不同杂草处理间,作物吸氮量差异不显著,均值变化在 114 ~ 118 kg N # hm⁻² 间,而 A、B、C 和 D 处理,杂草吸氮量仅占各自农田植物(作物+ 杂草)总吸氮量

的 1.97%、1.38%、3.98% 和 3.76%。这说明,农田系统中作物吸氮量仍是地上部分植物吸氮量的主要组成部分,而在不同时期清除杂草,对成熟期作物吸氮量影响不显著。

表 1 不同处理作物和杂草生物量

Table 1 Biomass of crop and weed in the different treatments / (kg # hm⁻²)

杂草处理 Weed treatments	生物量 Biomass	施肥 Fertilization					杂草处理均值 Average
		PN ₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	
A	作物生物量	9250.0	12583.3	12708.3	13666.7	12750.0	12191.7
	杂草生物量	137.7	138.7	178.5	207.3	162.5	165.0
	地上部分总生物量	9387.7	12722.0	12886.8	13874.0	12912.5	12356.7
B	作物生物量	9166.7	11916.7	11916.7	13083.0	13542.0	11925.0
	杂草生物量	38.2	34.4	108.4	58.4	83.8	64.6
	地上部分总生物量	9204.9	11951.1	12025.1	13141.4	13625.8	11989.6
C	作物生物量	9708.3	11833.3	12500.0	12791.7	13083.3	11983.3
	杂草生物量	127.8	297.2	223.2	192.8	185.1	205.2
	地上部分总生物量	9836.1	12130.5	12713.2	12984.5	13268.4	12186.5
D	作物生物量	9750.0	11583.0	12667.0	13083.3	11166.7	11650.0
	杂草生物量	256.5	353.9	255.6	195.4	177.8	247.8
	地上部分总生物量	10006.5	11936.9	12852.6	13278.7	11466.0	11908.1
施氮处理均值 Average	作物生物量	9468.8	11979.1	12448.0	13156.2	12635.5	
	杂草生物量	140.1	206.1	191.4	163.5	152.3	
	地上部分总生物量	9608.8	12185.1	12619.4	13319.7	12818.2	

注: N 的下标表示施氮量(kg # hm⁻²), P₀ 表示施磷(P)量(78.6 kg # hm⁻²); A. 表示全生育不清除杂草; B. 表示越冬前清除杂草; C. 返青期清除杂草; D. 拔节后清除杂草。下同。

Note: The subscript of N and P represent the amount of application N and P (kg # hm⁻²), respectively. / A, B, C, D' represent weed treatments. A. No weeding during the whole growing, B. Remove weed before overwinter, C. Remove weed in reviving, D. Remove weed after jointing, the same as below.

表 2 不同处理杂草和植物吸氮量

Table 2 N uptake of weed and plant in the different treatments / (N kg # hm⁻²)

杂草处理 Weed treatments	吸氮量 N uptake of plant	施肥 Fertilization					杂草处理均值 Average
		PN ₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	
A	杂草吸氮量	2.00	2.82	2.07	2.63	2.39	2.38
	作物吸氮量	82.26	108.02	114.47	146.46	139.89	118.22
B	杂草吸氮量	0.91	0.79	2.69	1.38	2.24	1.60
	作物吸氮量	86.28	98.73	110.40	136.05	142.19	114.73
C	杂草吸氮量	2.21	5.80	5.09	5.34	5.32	4.72
	作物吸氮量	95.44	108.08	122.68	112.91	129.42	113.71
D	杂草吸氮量	4.60	5.38	4.42	4.07	3.11	4.54
	作物吸氮量	93.20	106.16	122.98	136.36	123.11	116.36

2.2 不同施氮水平及杂草清除时间对氮效率的影响

2.2.1 对氮肥利用率(NUR)的影响 由表 3 可见,不同施氮水平,氮利用率随施氮量增加而降低,PN₄₅处理的氮肥利用率为 38.3%,显著高于 PN₁₈₀处理(25.1%) (P < 0.05); 从均值来看,氮肥利用率以 A 处理最高,为 43.8%,显著高于 B、C 和 D 处理(其氮肥利用率分别为 31.3%、26.3%和 27.7%) (P < 0.05), A 处理氮肥利用率分别是 B、C 和 D 处理的 1.40 倍、1.67 倍和

1.58 倍,这说明在有杂草存在情况下,氮肥利用率高,而返青期清除杂草后,氮肥利用率反而下降,特别是在施肥量高于 135 kg N # hm⁻²,氮肥利用率更低。

如果将杂草吸氮量计算在内(表 4),从平均值看,氮肥利用率(32.3%)略高于不考虑杂草吸氮量时的氮肥利用率(31.0%),返青期清除杂草处理差异较大,相差 3.8%,而且施氮量越低,差异表现越明显,这可能与作物生长前期,杂草吸氮量特别是在低施氮量下所占比例较高有关。

2.2.2 对氮素利用效率(NUE)的影响 从表4可以看出,氮肥利用效率随施氮量增加而降低,PN₁₈₀处理相对PN₄₅处理氮肥利用效率降低12.0%;从平均值看,不同杂草处理间氮肥利用效率表现为B>C>A>D,说明在越冬期清除杂草每千克吸氮量产生干物质最高(42.8 kg),拔节期

清除杂草最低(40.6 kg)。

考虑杂草吸氮量时,在越冬期清除杂草和返青期清除杂草氮肥利用效率没有差异,拔节期清除杂草时氮肥利用效率下降。这是由于考虑杂草吸氮量在内时,农田植物地上部分吸氮量增加,从而导致生产作物籽粒的氮肥利用效率下降。

表3 不同处理施肥氮肥利用率

Table 3 Nitrogen utilization rate of the different treatments / %

杂草处理 Weed treatments	考虑杂草吸氮量 NUR including weed				不考虑杂草吸氮量 NUR excluding weed				考虑杂草均值 Average including weed	不考虑杂草均值 Average excluding weed
	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀		
A	59.0	35.9	48.0	32.2	57.2	35.8	47.6	32.0	43.8	43.2
B	27.4	28.8	37.2	31.8	27.7	26.8	36.9	31.1	31.3	30.6
C	36.1	33.1	15.3	20.6	28.1	30.3	12.9	18.9	26.3	22.5
D	30.5	32.9	31.6	15.9	28.8	33.1	32.0	16.6	27.7	27.6
施氮处理均值 Average	38.3	32.7	33.0	25.1	35.5	31.5	32.4	24.7	32.3	31.0

表4 不同处理施肥氮肥利用效率

Table 4 Nitrogen utilization efficiency of the different treatments / (kg# kg⁻¹N)

杂草处理 Weed treatments	考虑杂草吸氮量 NUE including weed					不考虑杂草吸氮量 NUE excluding weed					考虑杂草均值 Average including weed	不考虑杂草均值 Average excluding weed
	PN ₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	PN ₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀		
A	43.5	43.1	42.1	40.1	37.8	44.5	44.2	42.8	40.9	38.4	41.3	42.2
B	40.9	46.4	44.2	41.6	40.6	41.3	46.8	45.3	42.1	41.3	42.8	43.4
C	40.0	44.8	40.0	45.0	42.0	40.9	47.2	41.5	47.1	43.8	42.3	44.1
D	39.9	45.7	40.0	39.5	37.9	41.9	48.0	41.5	40.7	38.9	40.6	42.2
施氮处理均值 Average	41.1	45.0	41.6	41.6	39.6	42.2	46.6	42.8	42.7	40.6	41.8	43.0

表5 不同处理氮肥农学效率

Table 5 Nitrogen agronomy efficiency of the different treatments / (kg# kg⁻¹N)

杂草处理 Weed treatments	施肥 Fertilization				杂草处理均值 Average
	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	
A	24.7	13.7	17.2	9.5	16.3
B	23.4	15.9	16.0	12.8	17.0
C	26.6	13.3	10.5	9.8	15.0
D	26.5	13.3	12.2	4.9	14.2
施氮处理均值 Average	25.3	14.1	14.0	9.3	15.6

2.2.3 对氮肥农学效率(NAE)的影响 氮肥农学效率随施氮量增加而降低(表5),PN₄₅处理氮肥农学效率与其他施肥处理PN₉₀、PN₁₃₅及PN₁₈₀处理间的差异达极显著水平(P<0.01),施氮45、90、135和180 kg N# hm⁻²时,每千克施氮量分别增产籽粒25.3、14.1、14.0和9.3 kg # hm⁻²;不同杂草处理氮肥农学效率也不同,表现为杂草处理B>A>C>D,其平均值分别为17.0、16.3、15.0和14.2 kg # kg⁻¹N,以越冬期清除杂草处理最高,拔节期清除杂草处理最低,越冬期清除杂草比拔节期清除杂草增加19.7%。以上结果说明,施氮量增加,产量提高,但单位施氮增

产量不同,施氮量高时增产效率下降,并以越冬期前清除杂草,效果较佳,施氮对增加农学效率的作用愈明显。

2.2.4 对氮肥生理效率(NPE)的影响 从表6可以看出,氮肥生理效率随施氮量增加而降低,每公顷施氮45、90、135和180 kg,氮肥生理效率平均值分别为71.9、43.3、46.5和37.1 kg # kg⁻¹N,施氮45 kg 氮肥生理效率平均为71.9 kg # kg⁻¹N,显著高于施氮180 kg (氮肥生理效率平均为37.1 kg # kg⁻¹N)(P<0.05)。从不同杂草清除时间处理看,返青期清除杂草氮肥生理效率最高,为57.5 kg # kg⁻¹N,显著高于其他杂草处理(P<0.01),全生育期不清除杂草氮肥生理效率值最低,为36.3 kg # kg⁻¹N。氮肥生理效率在返青期清除杂草分别是拔节期清除杂草和全生育期不清除杂草的1.2倍和1.6倍。可以看出,随施氮量增加,增加单位吸氮量所转化成的籽粒产量在下降,农田杂草清除在返青期,比较理想,其次为越冬期前清除杂草。

考虑杂草氮肥生理效率比不考虑杂草氮肥生理效率低,在返青期表现更为明显,相差10.3

kg # kg⁻¹ N。这说明在返青期前清除杂草增加单位吸氮量产生的籽粒产量最高,并且在此期间

表 6 不同杂草处理施肥氮肥生理效率

Table 6 Nitrogen physiology efficiency of different treatments / (kg# kg⁻¹ N)

杂草处理 Weed treatments	考虑杂草吸氮量 NPE including weed				不考虑杂草吸氮量 NPE excluding weed				考虑杂草均值 Average including weed	不考虑杂草均值 Average excluding weed
	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀		
A	41.8	38.3	35.8	29.5	43.1	38.4	36.1	29.7	36.3	36.8
B	85.4	55.4	42.9	40.2	84.6	59.5	43.3	41.2	56.0	57.1
C	73.6	39.6	68.8	47.5	94.5	43.8	81.2	51.8	57.5	67.8
D	86.9	39.7	38.6	31.1	92.1	40.2	38.1	29.5	49.1	50.0
施氮处理均值 Average	71.9	43.3	46.5	37.1	78.6	45.5	49.7	38.1	49.7	52.9

2.3 不同施氮水平及杂草清除时间对产量效率的影响

2.3.1 对籽粒产量的影响 试验结果表明(表 7),籽粒产量随施氮量增加而显著增加,每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg,与对照(PN₀)相比,籽粒产量分别增加 30.3%、33.7%、50.1% 和 44.3%,越冬期和返青期清除杂草,随施氮量增加籽粒产量呈上升趋势;但对拔节期清除草及全生育期不清除杂草处理,施氮 135 kg N # hm⁻²时籽粒产量最高,为 5983.3 kg # hm⁻²,当施氮量达到 180 kg N # hm⁻²籽粒产量(5375.0 kg # hm⁻²)反而下降。在低氮供应条件下,在小麦拔节期前田间保持一定杂草有利于提高作物产量;施氮高于 135kg N # hm⁻²时,田间杂草的存在不利于作物成穗,会导致产量降低。不同时间清除杂草对作物的产量有一定的影响,随杂草清除时间的后移,杂草对作物的影响愈明显,减产愈明显。

表 8 不同杂草处理氮肥产量生产效率和氮肥物质生产效率

Table 8 Nitrogen yield efficiency and nitrogen biomass efficiency of different treatments / (kg# kg⁻¹ N)

杂草处理 Weed treatments	氮肥产量生产效率 Nitrogen yield efficiency				杂草处理均值 Average	杂草处理 Weed treatments	氮肥物质生产效率 Nitrogen biomass efficiency				杂草处理均值 Average
	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀			PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	
A	106.1	54.4	44.3	29.9	58.7	A	282.7	143.2	102.8	71.7	150.1
B	102.7	55.6	42.4	32.6	58.3	B	265.6	133.6	97.3	75.7	143.1
C	113.3	56.6	39.4	31.5	60.2	C	269.6	141.3	96.2	73.7	145.2
D	113.4	61.7	35.5	23.0	58.4	D	265.3	142.8	98.4	63.7	142.5
施氮处理均值 Average	108.9	57.1	40.4	29.3	58.9	施氮处理均值 Average	270.8	140.2	98.7	71.2	145.2

每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg 时干物质生产效率分别为 271.0、140.1、98.7 和 71.2 kg # kg⁻¹ N,各施肥之间均达到极显著差异(P < 0.01),表明随施氮量增加单位施氮量产生的地上生物量下降。施氮 45、90、135 和 180 kg N # hm⁻²时,每公斤施氮量分别增产地上部分生物量 57.3、33.5、27.5 和 17.8 kg # hm⁻²;在不同杂草处理看,全生育期不清除杂草时,单位施

杂草吸氮量对作物吸氮量影响较大。

表 7 不同施肥冬小麦籽粒产量

Table 7 Grain yield of winter wheat in the different fertilizer treatments / (kg# hm⁻²)

杂草处理 Weed treatments	施肥 Fertilization					杂草处理均值 Average
	PN ₄₀	PN ₄₅	PN ₉₀	PN ₁₃₅	PN ₁₈₀	
A	3663.3	4773.3	4900.0	5983.3	5375.0	4939.0
B	3566.7	4620.0	5002.0	5723.0	5868.0	4955.9
C	3903.3	5098.0	5098.0	5322.0	5665.0	5017.3
D	3906.7	5100.0	5105.0	5552.0	4790.0	4890.7
施氮处理均值 Average	3760.0	4897.8	5026.3	5645.1	5424.5	

2.3.2 对产量效率的影响

氮素产量生产效率随施氮量增加而降低(表 8),每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg,其产量生产效率分别为 108.9、57.1、40.4 和 29.2 kg # kg⁻¹ N,各施氮水平间差异达到极显著水平(P < 0.01),说明不同施氮水平下,单位施氮量产生干物质质量下降显著,返青期清除杂草处理产量生产效率最高。

氮量产生的地上生物量最高,为 150.1 kg # kg⁻¹ N。

3 讨论

本试验研究表明,随施氮量增加,植株会吸收更多的土壤氮素,对肥料氮的吸收相对减少,小麦氮素吸收效率和氮素利用效率降低,当施氮量小于 135 kg N # hm⁻²,增施氮,小麦植物氮素累积

量增加,当施氮量大于 135 kg N # hm⁻² 时,继续增加氮肥,小麦植株氮素积累量无显著增加。赵俊晔等^[16] 研究认为,当施氮量大于 150 kg N # hm⁻² 时,继续增加施氮,小麦植株氮素积累量无显著变化。随施氮量增加,小麦氮素吸收效率和氮素利用效率均呈下降趋势,这与李世清等^[17] 过去研究结果一致。

本研究还表明,氮肥利用率和氮肥利用效率随施 N 增加而降低,施氮越高,氮肥利用率和氮肥利用效率越低。全生育期不清除杂草氮素利用率高(43.8%),在越冬期清除杂草,单位吸氮量转化产量值最高(42.8 kg) 和单位施氮量增加产量最高(17.0 kg),在返青期清除杂草,因增加单位吸氮量产生的干物质量最高(57.5 kg),这说明,全生育期不清除杂草,氮肥利用程度高,越冬期清除杂草,氮素利用程度和氮肥的产量效率较高,返青期清除杂草氮素转化率高,进一步说明,田间杂草的存在对作物吸氮量影响很大,农田系统中,在越冬期和返青期清除杂草效果较好。

该试验条件下,籽粒产量和生物量随施氮量增加而增加,每公顷施氮 135 kg 籽粒产量和生物量产量达到最高,分别为 5.65 kg # hm⁻² 和 13.16 @10³ kg # hm⁻²,而杂草生物量在此有所下降。这说明在此施氮处理下,作物和杂草养分竞争表现尤为明显。本试验所有施氮处理小麦籽粒产量在 4620~5980 kg # hm⁻² 间,随施氮量增加,产量提高,但单位施氮增产不同,施氮量高增产效益下降,每 kg 肥料氮的增产仅 9.3~25.3 kg,小麦的秸秆产量与籽粒产量表现为同样的趋势。但施用氮肥显著促进了收获期小麦地上部分对氮素的吸收,不同施肥处理氮肥利用率为 15.3%~59.0%,随施氮提高而略有下降,氮肥的这种增加吸氮量而不增加产量的现象说明,多施的氮肥造成作物对氮素的奢侈吸收并没有产生真正的增产肥效,这可能与土壤起始无机氮(187.9 kg N # hm⁻²) 已远远超过作物的氮素需求有关。在本研究中,本季农田系统中约有 1/2~2/3 左右的氮未被吸收利用或损失或残留在土壤中,这与李世清等^[18] 在该地区的研究结果一致。

参考文献:

[1] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,等.基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J].生态学报,2002,22(7):1122~1128.

[2] 李世清,王瑞军,李紫燕,等.半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库)土壤剖面中累积的硝态氮[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):1~13.

[3] 朱兆良.农田生态系统中化肥氮的去向和氮素管理[A].朱兆良,文启孝.中国土壤氮素[C].南京:江苏科学技术出版社,1992.213~249.

[4] 郭建华, Henry Janzen. 氮肥用量和水分淋溶对土壤和小麦氮素平衡的影响[J].土壤通报,2000,31(12):259~261.

[5] 吕殿青,同延安,孙本华.氮肥使用对环境污染影响的研究[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):8~15.

[6] 寇长林,徐建生,王恒宇.砂质潮土冬小麦对氮肥的利用与氮素平衡[J].核农学报,2003,17(6):476~480.

[7] 李世清,李生秀.旱地农田生态系统氮肥利用率的评价[J].中国农业科学,2000,33(1):76~81.

[8] 徐福利,赵明智,吕殿青,等.洛川旱原冬小麦氮、磷及有机肥施肥模式及施肥量研究[J].干旱地区农业研究,1992,10(4):49~55.

[9] Foulkes M J, Sylveste2Bradley R, Scott RK. Evidence for differences between winter wheat cultivars in acquisition of soil mineral nitrogen and up take and utilization of applied fertilizer nitrogen [J]. J. AgricSciCam, 1998, 130: 29~44.

[10] 李世清,王瑞军,张兴昌,等.小麦氮素营养与籽粒灌浆期氮素转移的研究进展[J].水土保持学报,2004,18(3):106~111.

[11] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and in2 terpretation of factors with contribute to efficiency of nitro2 gen utilization[J]. Agron. J., 1982, 74: 562~568.

[12] 党廷辉,郝明德,郭胜利,等.旱地小麦施氮和地膜栽培的氮素效应与淋溶[J].西北植物学报,2003,23(8):1433~1437.

[13] 张磊,欧阳竹,董玉红,等.农田生态系统杂草的养分和水分配效应研究[J].水土保持学报,2005,19(2):69~73.

[14] 鲍士旦.主编.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.12:265~267.

[15] 李韵珠.土壤水和养分的有效利用[M].北京:北京农业大学出版社,1994.139~148.

[16] 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):814~822.

[17] 李世清,李凤民,宋秋华,等.半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响[J].应用生态报,2001,12(2):205~209.

[18] 李世清,李生秀.旱地农田生态系统氮肥利用率的评价[J].中国农业科学,2000,33(1):76~81.