

供氮水平对引黄灌区春小麦氮平衡及产量和加工品质的影响

刘汝亮¹,李友宏¹,马世铭²,王芳¹,陈晨¹,曾希柏²,白玲玉²

(1.宁夏农林科学院农业资源与环境研究所,宁夏 银川 750002;

2.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境与气候变化重点实验室,北京 100081)

摘 要:以宁春 4 号为材料研究了不同供氮水平对土壤—作物体系氮平衡和春小麦产量和品质的影响,结果表明:氮肥利用率随施氮量的升高呈下降趋势,氮肥利用率在 18.2%~27.2% 之间,平均为 23.2%;氮素表观损失率为 31.2%~52.1%,随施氮量增加而增加。在 0~240 N kg/hm² 范围内,小麦籽粒产量和赖氨酸含量随施氮量增加而增加,当施氮量达到 360 kg/hm²,籽粒产量和赖氨酸含量不再增加;施用氮肥可以明显改善小麦的加工品质,表现为湿面筋含量提高,容重和弱化度降低。综合考虑小麦的产量、品质以及土壤—作物氮素平衡状况,在本试验条件下,当季春小麦施氮量不应超过 240 kg/hm²。

关键词:春小麦;氮平衡;产量;加工品质

中图分类号: S512.1⁺2; S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0094-05

肥料作为现代农业生产中作物养分的主要来源,直接参与或调节作物营养代谢与物质循环,因此与作物产量和品质有密切关系^[1~4]。宁夏平原自古以来就是我国灌溉农业的精华区,小麦是宁夏引黄灌区的主要粮食作物,单产一直位于全国前列。近年来关于施氮与小麦氮素利用以及产量和品质的关系已展开了大量的研究,但主要集中在我国华北平原的冬麦种植区^[5~7],而在降雨稀少,以灌溉为主的引黄灌区则不多见。由于引黄灌区特殊的生态条件和种植制度,氮素随着灌水淋失的可能性较大,因而氮肥适宜用量的确定对小麦高产、优质高效栽培非常重要。本文选择位于宁夏引黄灌区的吴忠国家农业科技园区为试验基地,利用田间小区试验研究了不同供氮水平下春小麦产量、加工品质及土壤—作

物体系中氮素平衡,旨在为科学评价该地区小麦氮肥的产量和品质效应及氮肥去向提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验于 2008 年 2~7 月在吴忠市利通区吴忠国家农业科技园区内进行。试验点位于东经 106°21'13",北纬 37°99'16",该区属温带大陆性半干旱气候,海拔为 1 130 m,年均降水量 260 mm,年蒸发量 2 018 mm,平均温度 9.4℃。全年日照 2 955 h,无霜期 163 d。水旱轮作是该地区主要的粮食种植方式。供试土壤为灌淤土,基础肥力中等偏上,基本理化性质和土壤容重见表 1、表 2。

表 1 供试土壤的基本理化性质
Table 1 Basic properties of tested soil

土壤层次 Soil layer (cm)	质地 Texture	容重 Bulk density (g/cm ³)	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
0~20	中壤土 Midium loam	1.34	14.2	1.12	62.2	17.7	226.7

收稿日期:2010-01-10
基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-004-02);IPNI 项目(国际植物营养研究所合作项目);国家科技支撑项目(2007BAD89B03,2007BAD89B04)
作者简介:刘汝亮(1982—),男,河南夏邑人,助理研究员,主要从事植物营养与农业环境保护方面的工作。E-mail: laoer168@126.com。
通讯作者:李友宏,研究员,主要从事肥料和农业环境方面的研究。E-mail: youhongli@vip.sina.com。
马世铭,研究员,主要从事施肥与农业气候变化方面的研究。E-mail: shiming99ma@yahoo.com.cn。

表 2 供试地各土层土壤容重

Table 2 The content of soil bulk density in different depth of experiment field

土壤层次 Soil layer(cm)	0~30	30~60	60~90	90~120	120~150
容重 Bulk density (g/cm ³)	1.34	1.37	1.49	1.42	1.32

1.2 试验设计与研究内容

试验设 4 个 N 水平,施氮量分别为:0、120、240、360 kg/hm² (以下简称 N₀, N₁₂₀, N₂₄₀, N₃₆₀)。以普通尿素(含氮 46%)为氮源,60% 作为基肥于播前一次施入,40% 作为追肥于拔节前(4 月 10 日)施入。磷肥用量为 120 kg/hm² P₂O₅,钾肥用量为 90 kg/hm² K₂O,磷肥用重过磷酸钙(P₂O₅, 46%),钾肥用氯化钾(K₂O, 60%),磷钾肥均作为基肥一次施入。小区面积 4 m×8 m=32 m²,采用随机区组排列,重复 3 次。供试作物为春小麦,品种为宁春 4 号。

2008 年 2 月 28 日播种,播种量为 300 kg/hm²,2008 年 7 月 9 日收获,田间管理同当地高产田。小麦生育期间共灌水 4 次,分别为 4 月 26 日、5 月 4 日、5 月 21 日、6 月 18 日,每次灌水量为 1 500 m³/hm²。

1.3 田间取样与测定方法

分别在小麦播种前(2 月 26 日)、成熟期(7 月 10 日),在各小区按照 0~30、30~60、60~90、90~120、120~150 cm 分 5 层取土样,每小区随机取 3 点,相同层次的土壤混合为 1 个样。样品处理和测定步骤为,将样品充分混匀,称取 10.0 g 鲜土样,用 1.0 mol/L 的 KCl 溶液浸提(水土比 5:1),振荡 30 min,过滤,用法国产 FUTURA 型流动分析仪同时测定土壤硝态氮和铵态氮含量。土壤处理的同时,测定土壤含水量。按照小区全部收获脱粒晒干计产,并从中抽取部分植株和籽粒样品。植株样品粉碎过筛后,半微量凯氏定氮法测定植株全氮含量和籽粒蛋白质含量。小麦加工品质取 2 kg 小麦籽粒送农业部农产品质量监督检验测试中心(郑州)测定。水分的测定参照 AACC 法 46—19^[8];赖氨酸含量用近红外反射光谱法测定^[8];用 Brabender quadromar Jr 试验磨碾磨 300 g 籽粒,以 140 g/kg 的籽粒含水量计算出粉率^[8];沉降值参照 Axford 等方法^[9];湿面筋含量用 ICC 标准测定;容重、吸水量、面团形成时间、面团稳定时间、弱化度等,按照国家标准(GB/T17892—1999)进行分析。

1.4 计算方法

土壤硝态氮累积量(kg/hm²)=土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm³)×土壤硝态氮含量(mg/kg)/10;
氮素矿化是根据无氮区作物吸氮量与试验前后土壤

无机氮的净矿化来加以计算,由于不考虑氮肥的激发效应,故假定施肥处理的土壤氮素矿化量和无肥区相同,即:土壤氮素净矿化量=不施氮肥区地上部分氮积累量+不施氮肥区土壤残留无机氮量-不施氮肥区土壤起始无机氮量;根据氮平衡模型计算氮的表观损失^[10],即根据氮素输入输出平衡的原理:氮表观损失=氮输入量-作物吸收量-土壤残留无机氮量;而氮输入包括施入氮肥、起始无机氮和氮矿化 3 项,氮输出包括作物吸收、残留无机氮和表观损失 3 项,因此运用氮平衡模型计算氮表观损失率为:氮肥表观损失率(%)=氮表观损失量/施氮量×100%;氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮肥区产量-不施氮肥区产量)/施氮量;氮肥吸收利用率(%)=(施氮区吸氮量-不施氮区吸氮量)/施氮量×100%;土壤氮的依存率是指土壤氮对作物氮营养的贡献率,计算公式为:土壤氮依存率=无氮区吸氮量/施氮区吸氮量×100%;籽粒蛋白质含量(%)=籽粒全 N 含量×5.7^[10]。

数据统计分析采用 EXCEL 软件和 DPS 软件。

2 结果与分析

2.1 不同供氮水平对春小麦吸氮量和氮肥利用率的影响

施用氮肥是作物获得高产的重要措施,但随着土壤氮素肥力水平和作物基础产量的不断提高,氮肥的增产效应和合理施用问题一直是关系到农业可持续发展的关键问题。表 3 结果表明,春小麦产量随着施氮量的增加而增加,增施氮肥可以显著增加小麦籽粒和秸秆的吸氮量,小麦籽粒吸氮量增幅在 24.7%~43.1%;小麦秸秆吸氮量增幅 45.7%~91.7%。氮肥依存率和氮肥利用率随着施氮量的增加而降低,尤其是最高的 N₃₆₀ 利用率只有 18.2%,说明过量的氮肥投入造成作物对氮素的奢侈吸收并没有产生真正的肥效,反而增加了氮素流失的风险。

2.2 不同供氮水平对土壤—作物体系中氮平衡的影响

表 4 列出了春小麦整个生育期的土壤—作物体系中的氮素表观平衡。从表中可知,小麦全生育期土壤氮素的矿化量(54.6 kg/hm²)加上播前无机氮的数量,总量已经达到 175.1 kg/hm²,这一数量已经

可以满足小麦全生育期的需氮量^[10](一般认为不超过 180 kg/hm²),这也进一步说明了当地基础肥力较高。从收获后土壤残留的无机氮数量来看,各处理无机氮的残留量仍高达 103.8~210.7 kg/hm²,尤其

是当施氮量达到 240、360 kg/hm² 时土壤氮素残留量显著高于 N₁₂₀ 和 N₀ 处理。如此高的残留无机氮特别是硝态氮很容易通过淋洗或者是以反硝化途径流失出土壤—作物体系,造成对环境的危害。

表 3 不同供氮水平对春小麦吸氮量和氮肥利用率的影响

Table 3 Effect of N application on N uptake and apparent N recovery of spring wheat					
处理 Treatments	籽粒吸氮量 Grain N uptake (kg/hm ²)	秸秆吸氮量 Straw N uptake (kg/hm ²)	总吸氮量 Total N uptake (kg/hm ²)	氮肥依存率 Soil N dependent rate (%)	氮肥表观利用率 Apparent N recovery (%)
N ₀	46.9b	24.4c	71.3c	—	—
N ₁₂₀	58.8a	45.1b	103.9b	68.6	27.2
N ₂₄₀	67.5a	62.0a	129.5a	55.1	24.3
N ₃₆₀	67.1a	69.6a	136.7a	52.2	18.2

注:表中同一列中不同字母表示显著差异($P<0.05$),下同。

Note: Different letters in the same line indicated significance at $P<0.05$. They are the same in the follows.

表 4 春小麦全生育期 0~150 cm 的氮素表观平衡(kg/hm²)

Table 4 Apparent N balance during the whole spring wheat season				
项目 Items	N ₀	N ₁₂₀	N ₂₄₀	N ₃₆₀
N 输入 N input				
施氮量 N fertilizer	0	120	240	360
播前无机氮 Nmin before sowing	120.5	120.5	120.5	120.5
净矿化 Net mineralization	54.6	54.6	54.6	54.6
总量 Sum	175.1	295.1	415.1	535.1
N 输出 N output				
小麦收获带走 N removal by harvest	71.3	103.9	129.5	136.7
残留无机氮 Residual Nmin	103.8	153.7	183.2	210.7
氮表观损失 N surplus	0	37.5	102.4	187.7
总量 Sum	175.1	295.1	415.1	535.1

根据氮平衡的计算结果,当施氮量为 120、240、360 kg/hm² 时,氮的表观损失量依次为 37.5、102.4、187.8 kg/hm²,相应的表观损失率为 31.2%、42.6%、52.1%(表 5);而根据氮肥利用率和表观损失率的数据,即可算出各氮肥处理相应的土壤残留率,为 41.6%、33.1%和 29.7%。可见在土壤无机氮残留较高的土壤上,一次施氮不应超过 120 kg/hm²,而对于土壤肥力相对较低的情况下,建议施氮量不应超过 240 kg/hm²,否则即可引起氮肥表观损失或土壤残留显著增加。

表 5 春小麦全生育期 0~150 cm 的氮素表观去向
Table 5 The fate of N fertilizer during the whole spring wheat season

表观去向 Apparent fate	氮肥表观残留率 Apparent residual rate (%)	氮肥表观损失率 Apparent losses rate (%)
N ₁₂₀	41.6	31.2
N ₂₄₀	33.1	42.6
N ₃₆₀ 万方数据	29.7	52.1

2.3 不同供氮水平对春小麦产量和品质的影响

2.3.1 不同供氮水平对春小麦籽粒产量和营养品质的影响 增施氮肥显著提高了小麦的籽粒产量(表 6),各施肥处理与对照(N₀)比较差异显著,但 N₂₄₀ 和 N₃₆₀ 处理间的差异并没有达到显著水平。施氮量为 120、240、360 kg/hm² 时,籽粒产量分别比对照增加 566、1 166、1 066 kg/hm²,增产率分别为 13.5%、28.3%、25.9%,N₃₆₀ 处理籽粒产量与 N₂₄₀ 处理比较虽然出现了下降,但差异却未达到显著水平,可能原因是因为小麦生育后期营养生长过剩,造成植株上部通风不畅,影响了上部叶片的光合作用所导致^[12]。由此看来,在本试验产量水平下将氮肥控制在 240 kg/hm² 以内即可满足春小麦对氮素的需求。

Macy^[11] 将作物产量与籽粒 N 浓度的关系归结为 3 个阶段,在 N 极度缺乏阶段,增加氮肥用量,提高作物产量,但对籽粒 N 浓度没有影响;继续增加氮肥用量,则作物产量和籽粒 N 浓度共同增加;如

果再增加氮肥用量,产量不再变化,而籽粒 N 浓度仍旧增加。本试验结果与 Macy 的研究结果相一致。小麦籽粒中蛋白质含量随着施氮量增加而增加(表 6),增幅在 4.6%~12.3% 之间;各施氮处理蛋白质产量分别增加了 19.0%、43.7%、42.8%,各处理间

比较以 N₂₄₀ 处理蛋白质产量最高,说明在本试验条件下,N₂₄₀ 处理即可满足春小麦高产优质的需求。施氮量为 240 kg/hm² 时可显著提高小麦籽粒中赖氨酸的含量,当施氮量进一步提高,赖氨酸含量则表现出下降的趋势,这与赵会杰^[2]的研究结果一致。

表 6 不同供氮水平对春小麦籽粒产量和营养品质的影响
Table 6 Effect of N application on grain yield and quality of spring wheat

处理 Treatments	籽粒产量(kg/hm ²) Grain yield	增产率(%) Increased	蛋白质含量(%) Protein content	蛋白质产量(kg/hm ²) Protein yield	赖氨酸含量(g/kg) Lysine content
N ₀	4112±134c	—	6.5	267.5c	4.1
N ₁₂₀	4668±334b	13.5	6.8	318.2b	4.2
N ₂₄₀	5278±123a	28.3	7.2	384.5a	4.4
N ₃₆₀	5178±193a	25.9	7.3	382.1a	4.2

2.3.2 不同供氮水平对春小麦加工品质的影响
随着施氮量的提高,小麦的加工品质得到明显改善。表现为湿面筋、沉淀值、吸水量和稳定时间的增加,容重和弱化度的降低。其中受氮肥影响最大的是形成时间和稳定时间,稳定时间与对比较,分别提高了 22.7%、50.0% 和 63.7%;形成时间则是随着施

氮量的增加成倍增长。当施氮量过大(如达到 360 kg/hm²)时,虽然导致形成时间和出粉率的降低,但差异未达到显著水平,综合考虑小麦的加工品质,合理的施氮量应控制在 120~240 kg/hm²,这比黄土高原干旱地区^[12]的最佳施氮量(90 kg/hm²)和西南雨水充沛地区^[13]的最佳施氮量(150 kg/hm²)要高。

表 7 不同供氮水平对春小麦籽粒加工品质的影响
Table 7 Effect of N application on industrial quality of spring wheat

处理 Treatments	容重 Weight per volume (g/L)	湿面筋 Wet gluten (%)	沉淀值 Sediment value (mL)	吸水量 Water absorption (mL/100g)	形成时间 Development time (min)	稳定时间 Stable time (min)	弱化度 Soft degree (F.U.)	出粉率 Flour rate (%)
N ₀	820	23.8	52.8	55.2	1.4	4.4	92.0	72.5
N ₁₂₀	818	24.2	53.2	55.7	2.3	5.2	82.0	73.0
N ₂₄₀	802	28.2	54.2	56.8	5.0	6.6	80.0	72.0
N ₃₆₀	798	29.2	56.5	57.8	4.8	7.2	78.0	71.8

3 结 论

随着施氮量的升高,小麦籽粒和秸秆吸氮量均显著提高,但是氮肥利用率却随施氮量的升高而呈下降的趋势,小麦奢侈吸收的氮素主要保存在秸秆和叶片中,秸秆的移走和焚烧将会损失更多的氮素,可以考虑在当地提倡小麦秸秆还田,增加有机养分中氮素的投入,从而减少化学氮素肥料施用量。各施氮处理氮肥利用率平均为 23.2%,变幅在 18.2%~27.2% 之间,均低于全国氮肥平均利用率 35%^[13]。氮平衡评估结果表明,N₁₂₀、N₂₄₀ 和 N₃₆₀ 处理的氮素表观损失量为 37.5、102.4 kg/hm² 和 187.7 kg/hm²,相应的表观损失率分别为 31.2%、42.6% 和 52.1%,随着施氮量的升高而增加。

在 0~240 kg/hm² 的施氮范围内,产量随施氮量提高而增加,再增加施肥量,产量不再增加。小麦籽

粒中蛋白质含量虽随着施氮量的升高而增加,但当施氮量为 360 kg/hm² 时,赖氨酸含量与 N₂₄₀ 处理比较则下降了 5.5%。施用氮肥可以明显改善小麦的加工品质,提高湿面筋含量,降低容重和弱化度;稳定时间与对比较,分别提高了 22.7%、50.0% 和 63.7%;N₁₂₀ 处理、N₂₄₀ 处理和 N₃₆₀ 处理小麦面粉的形成时间分别比对照(N₀ 处理)提高了 1.6 倍、3.6 倍和 3.4 倍。在本试验条件下,施氮量控制在 240 kg/hm² 以下是兼顾小麦产量、品质、环境安全的合理氮肥用量。

参 考 文 献:

[1] 樊虎玲,郝明德,李志西.黄土高原旱地长期施用化肥对小麦品质的影响[J].麦类作物学报,2005,25(5):51—55.
[2] 赵会杰,薛延丰,徐立新.氮磷钾肥施用量及其配比对小麦品质的影响[J].河南农业大学学报,2004,28(4):374—378.

[3] 古巧珍,杨学云,孙本华,等.长期定位施肥对小麦籽粒产量及品质的影响[J].麦类作物学报,2004,24(3):76—79.

[4] 丰明,赵广才,常旭虹,等.不同灌水处理对彩色小麦籽粒产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2009,29(3):460—463.

[5] 沈善敏.长期土壤肥力试验的科学价值[J].植物营养与肥料学报,1995,1(1):1—9.

[6] 许振柱,于振文,王东,等.灌水量对冬小麦氮素吸收和运输的影响[J].作物学报,2004,30(10):1002—1007.

[7] 赵广才,张艳,刘利华,等.不同氮肥处理对冬小麦产量蛋白组分和加工品质的影响[J].作物学报,2005,31(6):772—776.

[8] American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of The AACC[M]. St Paul MN: AACC,1983.

[9] Axford D W. Note on the sodium dodecyl sulfate test of bread-making quality: Comparison with pelshenke and zeleny tests [J]. Cereal Chem, 1979,56(6):82—84.

[10] 崔振岭,石立委,徐久飞,等.氮肥施用对冬小麦产量、品质和氮素表观损失的影响研究[J].应用生态学报,2005,16(11):2071—2075.

[11] Macy P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants [J]. Plant Physiol,1996,11:749—764.

[12] 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):816—822.

[13] 易时来,何绍兰,邓烈,等.中性紫色土施氮对小麦氮素吸收利用及产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2006,26(5):167—169.

Effects of N application rates on N balance , grain yield and industrial quality of spring wheat

LIU Ru-liang¹, LI You-hong¹, MA Shi-ming², WANG Fang¹, CHEN Chen¹, ZENG Xi-bai², BAI Ling-yu²
(1. *Institute of Agricultural Resources and Environment, Academy of Ningxia Agro-forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China;*
2. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture / Key Laboratory of Agro-environment and Climate Change of the Ministry of Agriculture of China, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: Field experiments were conducted with four N level treatments by N₀: N 0 kg/hm², N₁₂₀: N 120 kg/hm², N₂₄₀: N 240 kg/hm², and N₃₆₀: N 360 kg/hm² respectively to study the effects of different N application rates on N balance, grain yield and industrial quality of spring wheat in the irrigated areas with the Yellow River water in Ningxia. The results showed that N fertilizer could significantly increase the yield and improve the industrial quality of spring wheat. The grain yield and lysine content were the highest by N₂₄₀ treatment, but when the amount of N application was greater than 240 kg/hm², the grain yield and lysine content decreased by 1.9% and 5.5% respectively. Apparent N recovery was decreased with N rates increasing, which was ranged from 18.2% ~ 27.2%. N balance results showed that N apparent losses were ranged from 31.2% ~ 52.1% in treatment N₁₂₀, N₂₄₀ and N₃₆₀. Considering high grain yield, industrial quality, apparent recovery of N fertilizer and low apparent losses rate, the amount of fertilizer N should be controlled under 240 kg/hm² during the wheat growing period.

Keywords: spring wheat; N balance; grain yield; industrial quality