

施氮量对固定道垄作春小麦产量及氮肥利用率的影晌

唐文雪¹, 马忠明²

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为确定固定道垄作栽培方式下小麦适宜的氮肥投入量, 分别设置 4 个施氮水平(0、120、180、240 kg/hm²), 研究了固定道垄作栽培方式下不同施氮量对小麦干物质积累、产量和氮肥利用率等的影响。结果表明, 氮肥能够明显促进小麦生长发育, 显著提高小麦产量及氮肥利用率。施氮量为 180 kg/hm² 时, 小麦叶面积指数、干物质积累量较高; 籽粒产量最高, 为 5 883.3 kg/hm²; 氮肥吸收利用率高达 52.10%, 氮肥农学利用率为 18.77 kg/kg, 均显著高于施氮量 240 kg/hm² 的处理。综合分析认为, 河西绿洲灌区固定道垄作栽培方式下小麦的适宜施氮量为 180 kg/hm²。

关键词: 固定道垄作; 施氮量; 春小麦; 籽粒产量; 氮肥利用率

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)07-0048-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.013)

Effect of Nitrogen Application Rate on Spring Wheat Yield and Nitrogen Utilization in Fixed Ridge Cropping

TANG Wenxue¹, MA Zhongming^{1,2}

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Four nitrogen levels (0, 120, 180, 240 kg/hm²) were set to determine the appropriate n fertilizer input in wheat under fixed ridge cultivation. The effects of different nitrogen application rates on dry matter accumulation, yield and n fertilizer use efficiency of wheat under fixed ridge cultivation were studied. The

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0800806); 甘肃省农业科学院科技创新专项(2019GAAS12和 2017GAAS25)。

作者简介: 唐文雪(1967—), 女, 甘肃临夏人, 研究员, 主要从事作物栽培与农业面源污染研究。Email: gstwx@163.com。

通信作者: 马忠明(1964—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 博士, 主要从事作物栽培与节水农业研究。Email: mazhming@163.com。

- 的甘肃不同产区栽培当归遗传多样性研究[J]. 中草药, 2015(23): 3549-3557.
- [13] 盛丽. 甘肃省当归资源的 RAPD 分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [14] 陈士林. 中国药典中药材 DNA 条形码标准序列[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [15] 罗煜, 马培, 姚辉, 等. 多基元药材秦艽 ITS2 条形码鉴定研究[J]. 药学学报, 2012, 47(12): 1710-1717.
- [16] 孙红梅, 张本刚, 齐耀东, 等. 当归药材资源调查与分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 437-441.
- [17] 李鹏程, 刘效瑞. 当归新品种岷归 4 号选育及优化种植技术研究[J]. 中药材, 2011, 34(7): 1017-1019.

(本文责编: 郑立龙)

results showed that nitrogen fertilizer could significantly promote the growth and development of wheat, and increase the yield and nitrogen use efficiency of wheat. Leaf area index(LAI) and dry matter accumulation were higher in wheat when nitrogen application was 180 kg/hm². The grain yield was the highest (5 883.3 kg/hm²). The utilization rate of nitrogen fertilizer was up to 52.10% and the utilization rate of agriculture is 18.77 kg/kg, respectively, which were significantly higher than that of 240 kg/hm² treatment. In a comprehensive analysis, the optimum nitrogen application rate of wheat was 180 kg/hm² under fixed ridge cropping in Hexi Oasis Irrigation Area.

Key words: Fixed ridge cropping; Nitrogen application rate; Spring wheat; Grain yield; Nitrogenous fertilizer efficiency

河西绿洲灌区具有丰富的光热资源和土地资源,是我国重要的商品粮基地。春小麦是该区主要的粮食作物,常年播种面积 13.33 万 hm²。生产中普遍采用土壤深翻、大水漫灌的平作栽培方式。为追求高产,春小麦生长季施氮量高达 300~400 kg/hm²,灌水量在 4 000 m³/hm² 以上,导致水肥资源利用效率低下、资源浪费及生态恶化严重,发展固定道保护性耕作技术并优化利用氮肥资源对农业可持续发展具有重要意义^[1-2]。固定道垄作保护性耕作是在农田中设置固定的机械行走道路,固定垄作和沟灌代替传统平作和大水漫灌,垄上种植作物,垄沟既是灌水沟,也是机械车轮行走道,作物收获后,高留茬秸秆覆盖免耕^[3]。固定道保护性耕作方式具有高度机械化种植、改善土壤结构、提高水肥利用效率、减少生产投入(水肥、劳动力)及提高作物产量等优点^[4-6]。国外在作物垄作栽培技术上的研究起步较早,20 世纪 40 年代已经有对作物垄作栽培技术研究的报道,目前这一技术已经澳大利亚、美国、欧洲等国家和地区被采用,在干旱和水涝灾害严重的发展中国家也被广泛应用,而我国这方面的研究工作才刚刚起步^[7]。固定道保护性耕作技术引进河西绿洲灌区后,在春小麦固定道耕作条件下土壤理化性状、水分动态、盐分动态、土壤有机碳变化等^[8-12]方面有了一定研究,但对固定道保护性耕作栽培下氮肥适宜投入量等的研究鲜见报道。我们通过对不同施氮量下小麦生长发育情况及氮肥利用率的研究,旨在为固定道保护性

耕作春小麦栽培高效施肥技术提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2017 年 3—7 月在甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站进行。试验站位于甘肃省河西走廊中段,海拔 1 570 m,年平均日照时数 3 085 h,昼夜温差 13.0~16.07 ℃,平均气温 7 ℃,≥0 ℃积温 3 388 ℃,≥10 ℃积温 2 896 ℃,无霜期 153 d。土壤属轻壤土,0~200 cm 土层平均容重 1.376 g/cm³,有机质含量 7.9 g/kg,速效磷含量 24.7 mg/kg,速效钾含量 82.0 mg/kg。年平均蒸发量 2 075 mm,年降水量不足 130 mm,干旱指数达 10.3,属于典型的无灌溉就无农业的干旱灌溉地区,具有西北绿洲灌溉农业区的典型特征。

1.2 供试材料

指示小麦品种为当地主栽品种陇辐 2 号。N 肥为尿素(N 46.4%),P₂O₅ 磷肥为重过磷酸钙(44% P₂O₅)。

1.3 试验设计与方法

试验共设 4 个施氮水平,分别为不施氮(N0)、施氮 120 kg/hm²(N1)、施氮 180 kg/hm²(N2)、施氮 240 kg/hm²(N3)。采用随机区组设计,重复 3 次,小区面积 32.5 m²(6.5 m×5.0 m)。试验各处理均施 P₂O₅ 120 kg/hm²。起垄前将 N 和 P₂O₅ 全部撒施于起垄带,然后起垄。小麦全生育期灌水量 2 400 m³/hm²,共灌水 3 次,分别于三叶期、挑旗期、灌浆期灌水,灌水量占灌溉定额的比例分别为

30%、35%、35%。水表量水灌溉，小水慢灌，灌沟不漫垄。试验采用固定道垄作栽培方式种植，免耕、垄作和高留茬(20 cm)秸秆覆盖，垄面宽 65 cm，垄沟宽 35 cm，垄高 20 cm。播种前只对垄床进行少量的修整，固定机械行走道，垄面无机械压实。每垄种植 5 行，行距 15 cm，开沟撒种，播深 3~5 cm。播种量 375 kg/hm²。2017 年 3 月下旬播种，7 月中旬收获。

1.4 测定项目和方法

1.4.1 干物质积累量的测定 拔节期、抽穗期、开花期、灌浆期和成熟期采集每小区的边行、次边行及中行地上部植株样品，每行随机采集 10 株，将植株放入烘箱，105 ℃杀青 30 min 然后 75 ℃烘干至恒重称量。

1.4.2 叶面积和叶片 SPAD 值测定 拔节期、抽穗期、开花期、灌浆期、成熟期采集每小区的边行、次边行及中行地上部植株样品，每行采集 10 株。应用叶绿素测定仪 (SPAD-502) 测定旗叶 SPAD 值，测定每片绿叶的长宽，用长宽系数法计算叶面积 (系数为 0.75)。

1.4.3 产量及产量构成因子测定 灌浆期定点调查各处理穗数。成熟期采集每小区的边行、次边行及中行地上部植株样品，每行随机采集 10 株，共采集 30 株，测定穗长、穗粒数、千粒重等。每小区去除边垄，中间 3 垄植株全部收获，按实收面积测产。小麦籽粒和秸秆分开计产。

1.4.4 植株全氮测定及相关指标计算 收集考种植株，分别测定植株籽粒及秸秆全氮。

小麦氮素总积累量=籽粒产量×氮素含量(%) + 秸秆产量×氮素含量(%);

氮肥吸收利用率=(施氮区吸氮量-不施氮区吸氮量)/施氮量^[13]

土壤氮依存率=(无氮区吸氮量/施氮区吸氮量)×100^[14]

氮肥农学利用率=(施氮肥区产量-不施

氮肥区产量)/施氮量^[13]

1.5 数据处理

试验数据采用 SPASS13.0 和 EXCEL2007 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对小麦干物质积累的影响

小麦产量的形成是由干物质积累、运转及分配所决定，干物质积累反映了小麦光合产量的累积，是小麦籽粒产量形成的物质基础。从图 1 可看出，拔节期单株干物质仅为 0.17~0.21 g，拔节前小麦地上部干物质积累缓慢，处理间差异不明显。拔节之后随生育进程推进，干物质积累迅速，处理间差异逐渐明显。开花期、成熟期单株干物质重分别为 1.08~1.78、1.56~3.70 g，并随施氮量增加干物质呈增加趋势。拔节后，施氮处理的干物质重均显著高于 N0 处理，总体表现为 N3>N2>N1>N0。

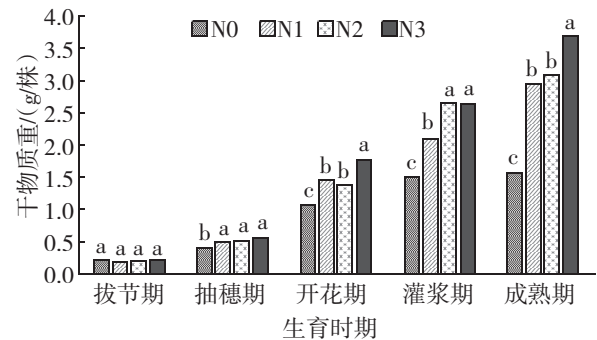


图 1 小麦干物质积累动态变化

2.2 施氮量对小麦叶绿素 SPAD 值的影响

从表 1 看出，施氮量可显著提高小麦 SPAD 值。SPAD 值随着施氮量的增加和生育时期的推进，表现为先增大后减小趋势。拔节到灌浆期，当施氮量超过 180 kg/hm² 时不能显著增加叶绿素 SPAD 值；成熟期 SPAD 值随施氮量增加而增加，表现为 N3>

表 1 不同施氮量处理的小麦 SPAD 值

处理	拔节期	抽穗期	开花期	灌浆期	成熟期
N0	43.35b	53.75b	49.95c	48.51b	17.32d
N1	52.15a	57.40a	57.85b	55.40ab	24.54c
N2	53.10a	59.60a	62.85a	58.05a	29.77b
N3	53.21a	56.35a	60.15ab	59.10a	34.85a

N2>N1>N0。不施氮处理的 SPAD 值在抽穗期就达到最高，施氮处理在开花期最高。所有处理在成熟期均急剧下降到最低，与灌浆期相比，N0、N1、N2、N3 处理 SPAD 值下降 64.30%、55.70%、48.72%、41.03%。施氮量越大 SPAD 值下降幅度越小，说明施氮量延缓了生育后期叶片 SPAD 值降低速度。

2.3 施氮量对小麦叶面积指数的影响

叶片是作物光合作用的主要器官，叶面积的大小影响作物的生长发育及产量形成，叶面积指数反映作物群体光合作用及干物质生产能力^[15]，较大的光合绿叶面积及较长的绿叶持续期是小麦取得高产的生理基础^[16]。从图 2 看出，小麦各生育期的叶面积指数表现为先增大后降低的变化趋势，以抽穗期叶面积指数最大。随着生育期的推进，小麦叶片从植株底部开始枯萎，叶面积逐渐减小，叶面积指数降低。不同施氮量对小麦叶面积指数均有显著性影响。拔节期、抽穗期和开花期，施氮处理叶面积指数

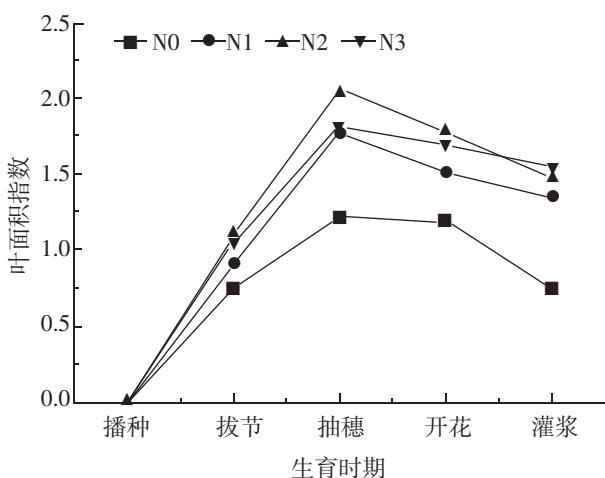


图 2 小麦叶面积指数动态变化

均高于 N0 处理，其中以 N2 处理叶面积最大。灌浆期叶面积指数持续下降，N2 处理下降幅度大于 N3 处理，并且施氮处理的叶面积指数仍明显高于 N0 处理。各生育期叶面积指数总体表现为 N2>N3>N1>N0。

2.4 施氮量对小麦产量及产量构成因子的影响

氮素具有促进小麦生长发育，提高有效分蘖数，增加穗粒数、千粒重，提高小麦产量的作用。由表 2 可知，不同施氮量对春小成麦穗数有一定的影响，但春小麦茎蘖成穗数低，结实率低下，对产量贡献率不大。穗粒数随着施氮量的增加先增加后减少，以 N2 处理穗粒数最高，为 26.87 粒，显著高于 N0、N1 处理，与 N3 处理差异不显著。千粒重随着施氮量的增加呈先增加后下降趋势，N2 处理的千粒重最大，但各处理间差异不显著。小麦籽粒产量为 2 505.6 ~ 5 883.3 kg/hm²，随着施氮量的增加先增后减，N2 处理与 N3 处理差异不显著，与 N1、N0 处理差异显著，N3 处理与 N1 处理差异不显著。生物产量为 5 194.44 ~ 11 038.74 kg/hm²，随着施氮量的增加而增加，N2 处理显著高于 N1、N0 处理，与 N3 处理差异不显著。说明低氮使小麦营养生长弱，植株早衰，造成籽粒及植株产量低，而高氮使春小麦过度贪青徒长，营养生长旺盛，因而抑制其生殖生长，导致籽粒灌浆不充分，不利于产量的形成与提高。

2.5 施氮量对小麦氮肥利用率的影响

氮肥利用率有土壤氮依存率、氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率等不同指标。从表

表 2 施氮量对小麦产量及产量构成因子的影响

处理	成穗数 /(万穗/hm ²)	穗粒数 /粒	千粒重 /g	生物产量 /(kg/hm ²)	籽粒产量 /(kg/hm ²)
N0	520 a	14.40 c	48.69 a	5 194.44 c	2 505.6 c
N1	529 a	24.51 b	50.90 a	10 116.67 b	5 266.7 b
N2	532 a	26.87 a	51.74 a	10 883.33 a	5 883.3 a
N3	531 a	26.74 a	49.79 a	11 038.74 a	5 521.4 ab

3 看出, 土壤氮依存率、氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率均随着施氮量的增加呈下降趋势, 施氮量为 120 kg/hm² 时均为最大。对以上 3 个指标的分析表明, 低氮条件下虽然氮肥吸收利用率及农学利用率高, 但土壤氮依存率也较高, 长期下去会造成土壤肥力下降。过量施氮会降低小麦对土壤氮的依赖, 过量的氮肥没有被作物吸收利用, 既浪费了氮肥, 又对环境造成了危害。

表 3 不同施氮量对氮肥利用率的影响

处理	氮肥用量 (kg/hm ²)	土壤氮 依存率 /%	氮肥吸收 利用率 /%	氮肥农学 利用率 (kg/kg)
N0	0			
N1	120	53.73a	65.85a	23.01a
N2	180	49.46b	52.10b	18.77b
N3	240	47.27b	42.65c	12.57c

3 结论与讨论

氮素是小麦生长和产量形成的首要元素, 氮素的供应直接影响了小麦光合产物的形成。在土壤氮素供应不足的前提下, 一定范围内增施氮肥可以促进小麦干物质量的增加及向籽粒转移, 超过一定范围会造成小麦营养生长旺盛, 贪青晚熟, 不利于产量的形成^[17], 在干旱条件下, 当氮素营养为 200 kg/hm² 时, 小麦群体分蘖在冬前和返青期达到最高, 当氮肥用量再增加时, 分蘖能力就会降低。适量施用氮肥可提高小麦的成穗率, 过量施用氮肥并不能促使小麦分蘖, 反而会抑制分蘖^[18]。施氮量在 0~270 kg/hm² 范围内时, 随着施氮量的增加, 陇春 33 号籽粒产量呈先增加后降低的趋势, 氮肥施用量为 237.6 kg/hm² 时产量达最高^[19]。与适量施氮相比, 少量和过量施氮均影响小麦产量的提高^[20-22]。研究表明, 一定范围内, 随施氮量增加, 可增加小麦叶面积指数, 延缓小麦生育后期叶片 SPAD 值降低速度, 提高小麦地上部干物质量, 提高单位面积有效穗数、穗粒数及千粒重。施氮量为 180 kg/hm²

时, 小麦穗粒数和千粒重最大, 籽粒产量达到最高, 为 5 883.3 kg/hm²。施氮量为 240 kg/hm² 时, 小麦营养生长过高, 抑制了其生殖生长。穗粒数和千粒重均比施氮量 180 kg/hm² 处理低, 小麦籽粒产量不增反降, 比最高产量下降 6.15%。

氮肥利用率是氮肥使用效果的一个综合评价指标, 与经济效益、氮素流失密切相关。影响氮肥利用效率的因素较多, 如氮肥形态、施氮量、氮肥运筹、水分条件、土壤环境、品种特性等。在生产中, 根据我国粮食安全需求, 只能追求保持较高产量下合理的氮肥利用率, 而不应一味追求高的氮肥利用率而降低产量^[23-25]。研究表明, 随施氮量的增加氮肥利用率呈下降趋势。施氮量为 180 kg/hm² 时, 氮肥吸收利用率及农学利用率虽然显著低于施氮量 120 kg/hm² 时的水平, 但仍然高达 52.10% 和 18.77 kg/kg, 并且显著高于目前我国小麦的氮肥吸收利用率及农学利用率的平均值 34.80%、9.20 kg/kg。这一方面是因为生产条件、施肥技术、管理水平的差异, 试验条件下肥料吸收利用率比农户条件下约高 10 百分点^[26], 另一个重要原因是与传统栽培措施相比, 固定道垄作沟灌栽培具有显著的节水节肥增产的优点^[4-6,10,12]。综上分析, 河西绿洲灌区固定道垄作栽培下春小麦的适宜施氮量为 180 kg/hm²。

参考文献:

- [1] HUANG G B, CHAI Q, FENG F X, et al. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid Northwest China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11: 1286-1296.
- [2] 黄高宝, 于爱忠, 郭清毅, 等. 甘肃河西冬小麦保护性耕作对土壤风蚀影响的风洞试验研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 968-973.
- [3] GOVAERTS B, SAYRE K D, LICHTER K, et

- al. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize /wheat system [J]. *Plant and Soil*, 2007, 291: 39-54.
- [4] MA Z M, ZHANG L Q, WANG F H. Raised bed planting system for irrigated spring wheat in the Hexi Corridor[M]. ACIAR: Proceedings No.121 Evaluation and Performance of Permanent Raised Bed Cropping Systems in Asia, Australia, 2005: 105-111.
- [5] 马忠明, 吕晓东, 刘莉莉. 耕作方式对绿洲灌区农田土壤有机碳及其分布的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(1): 122-128.
- [6] 潘艳花, 马忠明, 吕晓东, 等. 河西绿洲灌区不同耕作方式对春小麦土壤水分和产量的影响[J]. *西北农业学报*, 2012, 21(11): 53-59.
- [7] 刘世平, 庄恒扬, 陆建飞, 等. 免耕法对土壤结构影响的研究[J]. *土壤学报*, 1998, 35(1): 33-39.
- [8] 陈浩, 李洪文, 高焕文, 等. 多年固定道保护性耕作对土壤结构的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(11): 122.
- [9] 吕晓东, 马忠明. 绿洲灌区固定道耕作对土壤盐分动态的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(9): 1122-1130.
- [10] 雒淑珍, 马忠明, 王智琦, 等. 绿洲灌区固定道垄作对春小麦土壤水分变化动态的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2009(2): 52-55.
- [11] 吕晓东, 马忠明. 不同耕作方式对春小麦田土壤水分过程的影响[J]. *核农学报*, 2015, 29(11): 2184-2191
- [12] 陈娟, 马忠明, 刘莉莉, 等. 不同耕作方式对土壤有机碳、微生物量及酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(3): 667-675.
- [13] 石玉, 于振文. 施氮量及底追比例对小麦产量、土壤硝态氮含量和氮平衡的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3661-3670.
- [14] 崔振岭, 石立委, 徐久飞, 等. 氮肥施用对冬小麦产量、品质和氮素表现损失的影响研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2071-2075.
- [15] 张保军, 冯佰利, 蒋纪云, 等. 杂种小麦产量的密度效应及光合产物分配规律研究[J]. *麦类作物学报*, 1998, 18(3): 39-41.
- [16] 赵雪飞, 王丽金, 李瑞奇, 等. 不同灌水次数和施氮量对冬小麦群体动态和产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(6): 1004-1009.
- [17] PLAUT Z, BUTOW B J, BLUMENTHAL C S, et al. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficits and elevated temperature[J]. *Field Crops Research*, 2004(86): 185-198.
- [18] 杨君林, 车宗贤, 冯守疆, 等. 氮素营养对旱地小麦群体生长特性的调控[J]. *甘肃农业科技*, 2018(11): 65-67.
- [19] 汤莹, 杨文雄. 施氮量和氮肥运筹对陇春33号产量及氮肥利用率的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2019(3): 41-43.
- [20] 王小燕, 于振文. 不同小麦品种主要品质性状及相关酶活性研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(10): 1900-1908.
- [21] 赵鹏, 何建国, 熊淑萍, 等. 氮素形态对专用小麦旗叶酶活性及籽粒蛋白质和产量的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2010, 15(3): 29-34.
- [22] 杨武广, 田中伟, 殷美, 等. 不同年代冬小麦品种籽粒产量与品质的演变及其对氮肥的响应[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(10): 1390-1397.
- [23] 蔡祖聪, 颜晓元, 朱兆良. 立足于解决高投入条件下的氮污染问题[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(1): 1-6.
- [24] 巨晓棠, 张福锁. 关于氮肥利用率的思考[J]. *生态环境*, 2003, 12(2): 192-197.
- [25] 许爱霞, 李玲玲. 连续施氮对半干旱地区春小麦水分利用效率的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2019(4): 56-59.
- [26] IFA /UNEP. The fertilizer industry//World food supplies and the environment[M]. Paris: IFA, 1998.

(本文责编: 杨杰)