

吴得峰, 姜继韶, 孙棋棋, 等. 减量施氮对雨养区春玉米产量和环境效应的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(6): 1202–1209.

WU De-feng, JIANG Ji-shao, SUN Qi-qi, et al. Effect of reduced nitrogen fertilization on spring maize production and environmental impacts in rain-fed areas [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(6): 1202–1209.

减量施氮对雨养区春玉米产量和环境效应的影响

吴得峰¹, 姜继韶², 孙棋棋², 王蕊¹, 李如剑³, 王志齐³, 刘洪星⁴, 崔全红¹,
郭胜利^{1,2,3*}, 党廷辉^{1,2,3}, 巨晓棠⁴

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 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.西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4.中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要:通过3年田间试验,研究了减量施氮(N)对雨养区春玉米产量、温室气体排放、土壤硝态氮(NO_3^- -N)残留的影响。试验于2013年4月至2015年9月在中国科学院长武黄土高原农业生态试验站进行,供试作物为春玉米,半覆膜种植,设常规施氮(N200)和减量施氮(N150)2个处理,定期测定土壤矿质N和氧化亚氮(N_2O)气体含量。结果表明:虽然N150处理较N200处理施N量减少了25%,但玉米产量无显著变化($P>0.05$),三年平均为13.4(N200)、13.3(N150) $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$;N150处理 N_2O 累积排放量较N200处理降低24.3%;N200处理0~200 cm土壤剖面 NO_3^- -N残留量平均为210.2 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,N150处理则低至115.1 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;N200和N150处理的生育期耗水量差异不显著($P>0.05$)。在渭北雨养农业区,春玉米在常规施N的基础上减量25%,不仅能维持作物产量,还能有效降低 N_2O 排放和 NO_3^- -N的残留。

关键词:春玉米;减量施氮;产量;氧化亚氮;硝态氮

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2016)06-1202-08 **doi:**10.11654/jaes.2016.06.025

Effect of reduced nitrogen fertilization on spring maize production and environmental impacts in rain-fed areas

WU De-feng¹, JIANG Ji-shao², SUN Qi-qi², WANG Rui¹, LI Ru-jian³, WANG Zhi-qi³, LIU Hong-xing⁴, CUI Quan-hong¹, GUO Sheng-li^{1,2,3*}, DANG Ting-hui^{1,2,3}, JU Xiao-tang⁴

(1.College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 4.College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: An experiment was designed to examine effects of reduced nitrogen(N) fertilization on spring maize production, greenhouse gas emissions and soil nitrate nitrogen(NO_3^- -N) residue in under rain-fed farming systems. The three-year field experiment was performed at the Changwu State Key Agro-Ecological Experimental Station of the Loess Plateau, Chinese Academy of Sciences. Two treatments: traditional nitrogen(N200) and reduced nitrogen(N150) were employed. Soil mineral nitrogen and N_2O emissions were determined regularly. Results showed that there were no significant differences in maize grain yields between N200(13.4 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) and N150(13.3 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$). However, the cumulative N_2O emissions in N150 was decreased by 24.3%, compared with that of N200. Within 0~200 cm soil profile, NO_3^- -N

收稿日期:2015-11-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201103039)资助

作者简介:吴得峰(1989—),男,甘肃张掖人,硕士研究生,主要研究方向为土壤碳循环及生态环境。E-mail:dfwu315@163.com

*通信作者:郭胜利 E-mail:slguo@ms.iswc.ac.cn

residue in the N200 treatment was averagely $210.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, while it was reduced to $115.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in N150 treatment. During the growth period of spring maize, the water consumption ranged from 354 to 493 mm, with no significant difference between the two treatments ($P > 0.05$). Reducing 25% of N fertilizer against the traditional N fertilization not only guarantees the maize yields, but also effectively decreases the N_2O emissions and soil $\text{NO}_3^- - \text{N}$ residues in the cropping system in the Weihei rain-fed agricultural area.

Keywords: spring maize; reduced nitrogen fertilization; grain yield; nitrous oxide; $\text{NO}_3^- - \text{N}$

施用 N 肥是当代粮食生产发展的需要,也是作物生产中获得高产的重要措施^[1]。中国耕地面积只占世界耕地总面积的 7% 左右,但是 N 肥施用量却超过了世界 N 肥施用总量的 25%,且仍在继续增加^[2]。据联合国粮食及农业组织(FAO)统计,2002 年中国的 N 肥施用量已居世界首位,占全球 N 肥总施用量的 30%^[3]。近 10 年间,我国粮食产量增加了 27%,单产增加了 31.7%,而同期 N 肥用量却增加了 93.6%^[4]。N 肥的当季利用率较低,全国平均仅为 30%~41%^[5],因此长期过量施用 N 肥会引起面源污染等问题。例如,小麦连作农田每年单施 N 肥($120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)条件下,土壤 0~200 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积量达到施 N 总量的 55% 以上^[6]。高肥力土壤上,0~100 cm 的土壤残留率为 20.9%~45.3%,损失率为 10.3%~55.2%^[7]。另外,N 肥的大量施用还会增加农业源温室气体(N_2O 、 CH_4 、 CO_2)的排放,进而加剧“温室效应”^[8]。

减量施 N、提质增效成为我国农业粮食生产持续发展的重要途径。中国地形复杂,肥力不均,作物种类多样,不同的作物对肥料的需求量亦有差别^[9]。如何因地制宜提出减量施 N 技术以促进持续发展十分关键。刘宇等^[10]在华南地区研究发现,与甘蔗常规施 N ($525 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)相比,减量施 N(减量 75%)显著降低了 N 素盈余量(降幅为 53%),从而降低了 N 素污染农田环境的风险。朱晓霞等^[11]在鲁西南地区研究发现,减量施 N(减量 30%)在保证小麦稳产的同时,极大降低 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 向土壤深层淋溶的风险。易琼等^[12]在华南稻区研究显示,与常规处理($150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)相比,减量施 N(减量 35%)能明显降低 CH_4 和 N_2O 的季节性排放量。尽管近年来已开展大量有关减量施 N 的研究,但主要集中在华中、华南地区,北方地区的研究也局限于减量施氮对作物产量和土壤养分含量的影响,鲜有同时研究减量施氮对作物产量和生长季温室气体累积排放量以及土壤养分影响的报道^[13]。

黄土高原农田面积 14.6 万 km^2 ,其中 70% 属于雨养农业区,土壤 N 素含量仅为 0.042%~0.077%,N 肥投入是保证粮食生产的重要措施^[14]。该区玉米播种面

积 190 万 hm^2 ,占粮食作物面积的 17.9%,总产 91.4 亿 kg,占粮食总产的 30.8% 左右,是黄土高原主要的粮食作物之一^[15]。玉米实际单位面积产量 $4812 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,居于黄土高原地区禾谷类作物单产之首^[15]。但该区农田土壤长期处于过量施 N ($200 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)条件,使得土壤剖面(0~300 cm)中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 残留量已达 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,占化肥投入总量的 12%~50%^[16]。过量施 N 不仅造成作物品质下降、资源浪费,还会引起环境问题进而制约农业的高效和可持续发展^[17]。本研究探讨减量施 N 对黄土区春玉米产量、 N_2O 年累积排放量和土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 残留量的影响,将为该地区制定减量施 N 的技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西省长武县的中国科学院长武黄土高原农业生态试验站($107^\circ 40' \text{E}$, $35^\circ 12' \text{N}$,海拔 1220 m),属典型的雨养农业区。当地为半干旱湿润性季风气候,年平均气温 9.2°C ,大于 10°C 积温为 3029°C ,1985—2013 年均降水量为 560 mm,其中最高年份为 954 mm,最低年份为 296 mm,7—9 月的降水量占年总量的 57%。土壤为粘壤质黑垆土,0~20 cm 土层 SOC(土壤有机碳)含量 $6.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 N 含量 $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效 P 含量 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, CaCO_3 含量 10.5%,pH8.4,粘粒含量($<0.002 \text{ mm}$)24%。

1.2 试验设计与管理

试验于 2013 年 4 月至 2015 年 9 月进行,供试作物为春玉米,品种为先玉 335,一年一季。采用半覆膜种植方式,供试地膜为 $0.008 \text{ mm} \times 750 \text{ mm}$ 微地膜,株行距 $30 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$,密度 $57000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。本研究设 2 个处理:①常规施氮(N200),施 N 量 $200 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$,据当地农业推广部门的调查,春玉米氮肥施用量一般在 $200 \sim 300 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$;②减量施氮(N150),施 N 量 $150 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$,在常规施 N 基础上减量 25%。每个处理重复 3 次,随机区组排列。小区长 17.5 m,宽 5.5 m,小区间距 0.5 m,区组距 1 m,四周保护行宽 1 m。供试肥料

为尿素(N 46%)和过磷酸钙(P_2O_5 12%)。各处理施磷肥 $26 \text{ kg P} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。所有肥料在播种前一次性作为基肥均匀撒施,然后翻入 0~20 cm 土壤。春玉米在 2013 年 4 月 24 日播种,当年 9 月 9 日收获;2014 年 4 月 30 日播种,当年 9 月 15 日收获;2015 年 4 月 29 日播种,当年 9 月 26 日收获。生长期人工及时去除杂草,玉米收获后土壤休闲。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤矿质 N 含量及水分测定

每个小区用直径 3 cm 的土钻分别在膜上和膜间采集 0~20 cm 土壤样品各 3 个,充分混匀后作为该区土壤样品,施肥后 2、4、6、8 d 采集,之后每隔 10 d 采集一次,较大降雨(>40 mm)后的第 1、3 d 取土,之后每隔 10 d 采集一次。在玉米种植前和收获后按 20 cm 一层取 0~2 m 土样。土样过 3 mm 筛后称取 5.0 g,用 50 mL KCl($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)溶液浸提,振荡 1 h 后过滤,用连续流动分析仪测定 NO_3^- -N 含量,同时采用烘干称重法测定土壤含水量^[18]。

1.3.2 产量测定

玉米收获期,每个小区选取 $4 \times 4 = 16 \text{ m}^2$ (约 90 株玉米),把玉米穗棒全部取下称重,然后从中选取能代表该小区的 15 株,称重,带回风干后脱粒称重,计算产量(风干籽粒含水量约为 13%)。

1.3.3 N_2O 采集与测定

N_2O 采用 GC-静态箱法测定。采样箱体由不锈钢材料制成,箱外层加泡沫以隔热,在顶箱内部的对角安装两个风扇,用来混匀箱内的气体。采气时顶箱和底座之间采用密封条密封,用两个铁夹将箱子与底座夹在一起,防止漏气。箱子上安装 1 m 长的平衡管,平衡箱内外气压。在作物生长期,每 4 d 采气 1 次,休闲季每周 1 次(冬季 11、12 月和转年 1、2、3 月根据天气情况和排放量每 10~20 d 采集 1 次,4 月播种前每周 1 次),施肥后每天 1 次,连续监测 7~10 d;大雨(>20 mm)后,第 1、3、5 d 采气。采样时间一般为上午 8:00—12:00。气体采集时将采样箱盖 40 min,在关箱后的第 0、10、20、30、40 min 分别用 50 mL 注射器抽取箱内气体,带回室内用气相色谱(Agilent GC6820)测定 N_2O 。

1.4 计算方法与数据分析

玉米产量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 15 株玉米风干重(kg) $\times 57\,000$ (株 $\cdot \text{hm}^{-2}$) / (15×1000)^[14]

土壤 NO_3^- -N 残留量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 土层厚度(cm) $\times$ 土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) $\times$ 土壤 NO_3^- -N 含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) / 10^{19}

N_2O 排放量($\mu\text{g N}_2\text{O-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) = $273 \times M \times 60 / 10 \times H \times [22.4 \times (273 + T)]^{-1} \times \text{dc}/\text{dt}$

式中:22.4 为温度为 273K 时的 N_2O 摩尔体积, $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; T 为盖箱时间内平均大气温度, $^{\circ}\text{C}$; M 为每摩尔 N_2O 中 N_2 的分子量,为 28; H 为采样箱高度, cm; c 为 N_2O 气体浓度, $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$; t 为关箱时间, min; dc/dt 为采样箱内 N_2O 气体浓度的变化率, $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $t=0$ 时 dc/dt 为曲线在 0 时刻的初始斜率^[20]。

春玉米生育期耗水量(mm) = 播种前土壤剖面的储水量(mm) - 收获后土壤剖面储水量(mm) + 生育期降雨量(mm)^[6]

土壤每层储水量的计算公式:

$$W_i = \omega \beta h / 10$$

$$W = \sum W_i$$

式中: W_i 为每层土壤储水量, mm; W 为土壤总储水量, mm; ω 为每层土壤质量含水量, %; β 为每层土壤干容重, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; h 为土层厚度, 取值为 20 cm^[21]。

试验数据用 Microsoft Excel 2013 和 SAS 9.1 软件进行统计, 利用 SAS 软件包中的 PROC GLM 程序进行产量、0~200 cm 剖面 NO_3^- -N 残留量和 N_2O 排放量的方差分析。用 SigmaPlot 10.0 绘制作物生育期耗水量图。

2 结果与分析

2.1 减量施 N 对春玉米产量的影响

由表 1 可见, 在为期 3 年的试验期间, N200、N150 的产量分别为 10.3~17.7、10.5~17.7 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均值分别为 13.4、13.3 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与 N200 相比, 尽管 N150 降低了 N 肥施用量的 25%, 但产量并没有降低。

表 1 不同施 N 处理春玉米产量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 1 Spring maize grain yields in different N treatments($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)

年份	N200	N150
2013	10.3 $\pm$ 0.4a	10.5 $\pm$ 0.3a
2014	12.2 $\pm$ 0.7a	11.6 $\pm$ 2.7a
2015	17.7 $\pm$ 0.26a	17.7 $\pm$ 0.07a

注: 同行数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values followed by different letters in a line are significantly different between treatments at 5% level.

2.2 减量施 N 对 N_2O 排放量和排放强度的影响

如表 2 所示, 3 年试验期间, N200、N150 生长季的 N_2O 累积排放量分别为 1.4、1.3、0.8 $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 1.0、0.9、0.7 $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均值分别为 1.2、0.9 kg

$\text{N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。与 N200 相比, N150 处理显著降低了生长季 N_2O 的累积排放量 ($P<0.05$), 降幅分别为 28.8% (2013 年)、29.7% (2014 年)、14.5% (2015 年), 平均减少量为 $0.3\text{ kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 2 不同施 N 处理春玉米生长季、休闲季的 N_2O 排放量($\text{kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 2 Cumulative N_2O emissions during maize and fallow periods in different N treatments ($\text{kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$)

年份 Year	处理 Treatment	生长季 Maize season	休闲季 Fallow season
2013	N200	1.4±0.12a	0.5±0.05a
	N150	1.0±0.10b	0.4±0.05b
2014	N200	1.3±0.15a	0.6±0.06a
	N150	0.9±0.06b	0.5±0.06b
2015	N200	0.8±0.15a	0.6±0.08a
	N150	0.7±0.03b	0.4±0.05b

注: 同列同年份数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values followed by different letters within a year in a row are significantly different between treatments at 5% level.

玉米生长季 N_2O 的累积排放量对全年累积排放的贡献大于休闲季。生长季 N_2O 的累积排放量介于 $0.7\sim 1.4\text{ kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间, 平均值为 $1.0\text{ kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$, 占全年总累积排放量的 62.3%~72.6%。休闲季 N_2O 的累积排放量介于 $0.4\sim 0.6\text{ kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间, 平均值为 $0.5\text{ kg}\text{ N}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$, 占全年总累积排放量的 27.9%~37.1%。

施 N 处理显著影响全球增温潜势(GWP, $\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{hm}^{-2}$)和温室气体排放强度(GHGI, $\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}$ 籽粒)。由表 3 可知, 3 年试验期间, N200、N150 的 GHGI 变化范围分别介于 52~78、44~53 $\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}$ 籽粒之间, 平均值分别为 64、48 $\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}$ 籽粒。与 N200 相比, N150 显著降低了 GHGI, 降幅分别为 32.1% (2013 年)、25.4% (2014 年) 和 15.4% (2015 年), 平均减少量为 16 $\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}$ 籽粒。

2.3 减量施 N 对土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留的影响

如表 4 所示, 3 年试验期间, 0~100 cm 和 100~200 cm 土层的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量分别为 63.8~148.9、34.7~92.8 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均值分别为 101.7、60.9 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。0~100 cm $\text{NO}_3\text{-N}$ 的残留量占 0~200 cm 剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 总残留量的 62.6%。可以看出, 0~100 cm 的作物根系活动范围内有较高的残留。

N200 0~200 cm 土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量介于 $172.6\sim 241.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间, 均值为 $210.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;

N150 0~200 cm 土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量介于 $100.3\sim 143.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间, 均值为 $115.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。与 N200 相比, N150 显著降低了土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的残留量 ($P<0.05$), 降幅为 40.8%~53.6%, 平均降低 $95.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 3 不同施氮处理的 GWP($\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{hm}^{-2}$)和 GHGI ($\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}$ 籽粒)

Table 3 GWP($\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{hm}^{-2}$) and GHGI($\text{kg}\text{ CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}$ yield) in different N treatments

处理 Treatment	2013 年		2014 年		2015 年	
	GWP	GHGI	GWP	GHGI	GWP	GHGI
N200	807±53a	78±4a	769±74a	63±9a	938±46a	52±6a
N150	555±72b	53±8a	517±53b	47±18b	787±38a	44±21b

注: GWP(全球增温潜势)= $\text{N}_2\text{O}-\text{N}\times 44/28\times 298+\text{CH}_4-\text{C}\times 16/12\times 25$; GHGI(温室气体排放强度)=GWP/籽粒质量。同列数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上不同处理间差异性显著。

Note: Values followed by different letters in a row are significantly different between treatments at 5% level.

表 4 不同施 N 处理土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 4 Amount of soil $\text{NO}_3\text{-N}$ residues in different N treatments ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

年份 Year	土层 Soil profile	N200	N150
2013	0~100 cm	148.9a	80.1b
	100~200 cm	92.8a	62.9b
	0~200 cm	241.7a	143.0b
2014	0~100 cm	145.9a	65.6b
	100~200 cm	70.3a	34.7b
	0~200 cm	216.2a	100.3b
2015	0~100 cm	106.1a	63.8b
	100~200 cm	66.5a	38.3b
	0~200 cm	172.6a	102.1b

注: 同行数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。

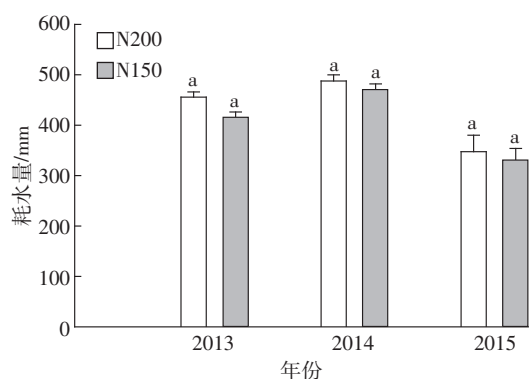
Note: Values followed by different letters in a line are significantly different between treatments at 5% level.

2.4 减量施 N 对作物耗水量的影响

如图 1 所示, N150 和 N200 耗水量没有显著差异 ($P>0.05$)。3 年试验期间, N200 处理的耗水量介于 $347.4\sim 487.6\text{ mm}$ 之间, 均值为 430.3 mm ; N150 处理的耗水量介于 $330.0\sim 470.2\text{ mm}$ 之间, 均值为 405.3 mm 。

3 讨论

与 N200 相比, N150 处理施 N 量在减少 25% 的基础上, 仍使春玉米产量稳定在 $10.3\sim 17.7\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间, 平均值为 $13.3\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。李欠欠等^[2]结合西北地区陕西省长武县和东北地区吉林省梨树县对春玉米的研



同年不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平

Different letters within a year indicated significant differences between treatments at 5% level

图 1 不同施 N 处理作物耗水量

Figure 1 Crop water consumption in different N treatments

究结果认为,在常规施 N (长武点 $N\ 250\ kg\cdot hm^{-2}$, 梨树点 $N\ 300\ kg\cdot hm^{-2}$) 的基础上减量 20%~33% 对作物产量没有显著的影响,与 Ju 等^[23]、Liu 等^[24]在华北地区夏玉米的研究中得出的结论相似。但是这些试验大多是在农户高本底 N 的土壤上取得的,短期内可以利用这些土壤高量累积 N 来降低 N 肥的施用量,当这些高累积 N 被消耗掉后,该施 N 量是否能够实现长期持续稳定的高产,也是一个值得研究的科学问题^[25]。

N 肥运筹是影响土壤 N_2O 排放的重要因素^[26]。N 肥的施用量与 N_2O 的生长季累积排放量正相关^[27]。本研究显示,与 N200 相比,N150 在施氮量减少 25% 的基础上能显著降低生长季 N_2O 的累积排放量,3 年降幅分别为 28.8% (2013 年)、29.7% (2014 年) 和 14.5% (2015 年),平均减少量为 $0.3\ kg\ N_2O\cdot hm^{-2}$ 。减量施 N 在满足作物营养需求的前提下能够有效减少土壤发生硝化作用和反硝化作用的底物,进而降低 N_2O 的排放^[28]。刘慧颖等^[29]在东北地区通过 3 年定位试验发现减量施 N 对 N_2O 年累积量的降低幅度为 10%; 杨黎等^[30]在东北地区关于春玉米的研究发现,与常规施 N ($265\ kg\cdot hm^{-2}$) 相比,减量施氮 (减 20%) 能够降低 N_2O 年累积排放量,降幅为 9%。上述试验结果均小于本试验降低幅度 (24.4%)。但是,马银丽等^[31]在华北地区研究发现,氮肥减量 33% 可显著降低 N_2O 的累积排放量,降幅为 44%。这可能是因为东北土壤属于壤土,保水保肥性较好,施氮量减少 25%,并不能显著降低土壤 N_2O 年累积排放量;而华北地区土壤类型属于褐土,且当地作物在生长期实施灌溉,促进了农田土壤 N_2O 的释放,而且该区较大降雨事件也是 N_2O 排放的主要驱动因素。较大降雨后,由于大量雨水排出

了土壤中的空气,容易形成厌氧环境,加速反硝化的速率,从而增加了 N_2O 的排放^[32]。此外,土壤干湿交替的过程中,其本身碳氮的矿化速率将增加^[33-35],而且细胞容易发生裂解作用^[36-37],使得土壤矿质 N 增加,为 N_2O 的产生提供了足够的基质。3 年试验期间,2013 年降雨事件引起的 N_2O 的累积排放量约占全年的 6.4%,2014 年为 12.5%,2015 年为 4.8%。

本研究结果表明,0~100 cm $NO_3^- - N$ 的残留量占 0~200 cm 剖面 $NO_3^- - N$ 总残留量的 62.6%,可以看出作物收获以后,绝大多数 $NO_3^- - N$ 残留在土壤浅层^[38]。但是黄土高原雨养区由于降雨量较小,土壤表层残留的 $NO_3^- - N$ 并不构成诸如多雨区或者灌溉区那样严重的环境问题,而是在土壤剖面深度介于 100~200 cm 范围内累积起来,遇到较大降雨后才会随着雨水下移,进而对环境污染造成潜在威胁^[39]。王宜伦等^[40]在华北地区关于超高产夏玉米的研究表明,施 N 量为 $300\ kg\cdot hm^{-2}$ 时,可以基本维持土壤 $NO_3^- - N$ 的平衡,但施 N 量为 $450\ kg\cdot hm^{-2}$ 时,土壤 $NO_3^- - N$ 的残留量显著增加 (增幅为 24%)。王激清等^[41]在华北地关于施 N 量对春玉米 $NO_3^- - N$ 累积的研究中发现,与常规施 N ($300\ kg\cdot hm^{-2}$) 相比,优化施 N (减量 25%) 处理显著降低了土壤剖面的 $NO_3^- - N$ 残留量 (降幅为 22%)。本研究中,与 N200 (土壤剖面 $NO_3^- - N$ 残留量平均值为 $210.2\ kg\cdot hm^{-2}$) 相比,N150 显著降低了土壤剖面 $NO_3^- - N$ 的残留量 ($P < 0.05$)。

3 年试验结果表明,N200 的耗水量 (平均值为 430.3 mm) 与 N150 (平均值为 405.3 mm) 相比没有显著差异。过量施 N 会使土壤及植物体当中 N 素含量充分,营养生长旺盛,叶面积较大,加速植物蒸腾作用的发生,进而增加耗水量,降低水分利用率^[42]。减量施 N 能够降低作物对土壤水分的消耗^[43],对缓解地下水位下降以及土壤干燥化具有重要的意义^[44]。

4 结论

3 年试验期间,与 N200 相比,N150 在施 N 量减少 25% 的情况下,可在保证产量基本不变的同时显著降低 N_2O 年累积排放量和土壤剖面 $NO_3^- - N$ 的累积量。N200、N150 的生育期耗水量没有显著差异。因此,在黄土高原雨养区,春玉米在常规施肥 ($200\ kg\ N\cdot hm^{-2}$) 基础上减量 25% 是一项可行的保产增效田间技术。

参考文献:

[1] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养

- 与肥料学报, 2014, 20(4):783-795.
- JU Xiao-tang, GU Bao-jing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(4):783-795.
- [2] 吴俊, 樊剑波, 何园球, 等. 不同减量施肥条件下稻田田面水氮素动态变化及径流损失研究[J]. 生态环境学报, 2012(9):1561-1566.
- WU Jun, PAN Jian-bo, HE Yuan-qiu, et al. Dynamics of nitrogen and runoff loss in ponding water of paddy yield under different fertilization practices[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012(9):1561-1566.
- [3] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 中国农田施用化学氮肥的固碳潜力及其有效性评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10):2239-2250.
- LU Fei, WANG Xiao-ke, HAN Bin, et al. Assessment on the availability of nitrogen fertilization in improving carbon sequestration potential of China's crop landsoil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10):2239-2250.
- [4] 郭胜利, 张文菊, 党廷辉, 等. 干旱半干旱地区农田土壤 NO_3^- -N 深层积累及其影响因素[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4):584-591.
- GUO Sheng-li, ZHANG Wen-ju, DANG Ting-hui, et al. Accumulation of NO_3^- -N in deep layers of dry farmland and its affecting factors in arid and semi-arid areas[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(4):584-591.
- [5] 杨仁朋, 王德科, 刘长庆, 等. 冬小麦-夏玉米轮作体系优化施氮对土壤硝态氮的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(12):369-372.
- YANG Ren-peng, WANG De-ke, LIU Chang-qing, et al. The effects of optimize nitrogen fertilizer on the nitrate-N of soil under winter wheat and summer maize rotational cultivation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(12):369-372.
- [6] 郭胜利, 党廷辉, 郝明德. 施肥对半干旱地区小麦产量、 NO_3^- -N 累积和水分平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4):754-760.
- GUO Sheng-li, DANG Ting-hui, HAO Ming-de. Effects of fertilization on wheat yield, NO_3^- -N accumulation and soil water content in semi-arid area of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(4):754-760.
- [7] 刘新宇, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向及土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2):296-303.
- LIU Xin-yu, JU Xiao-tang, ZHANG Li-juan, et al. Effects of different N rates on fate of N fertilizer and balance of soil N of winter wheat[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2):296-303.
- [8] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 农田土壤主要温室气体 (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) 的源/汇强度及其温室效应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4):966-975.
- ZHANG Yu-ming, HU Chun-sheng, ZHANG Jia-bao, et al. Research advances on source/sink intensities and greenhouse effects of CO_2 CH_4 and N_2O in agricultural soils[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(4):966-975.
- [9] 王伟妮, 鲁剑巍, 李银水, 等. 当前生产条件下不同作物施肥效果和肥料贡献率研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19):3997-4007.
- WANG Wei-ni, LU Jian-wei, LI Yin-shui, et al. Study on fertilization effect and fertilizer contribution rate of different crops at present production conditions[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(19):3997-4007.
- [10] 刘宇, 章莹, 杨文亭, 等. 减量施氮与大豆间作对蔗田氮平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3):817-825.
- LIU Yu, ZHANG Ying, YANG Wen-ting, et al. Effects of reduced nitrogen application and soybean intercropping on nitrogen balance of sugarcane field[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(3):817-825.
- [11] 朱晓霞, 谭德水, 江丽华, 等. 减量施用控释氮肥对小麦产量效率及土壤硝态氮的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(1):179-183.
- ZHU Xiao-xia, TAN De-shui, JIANG Li-hua, et al. Effect of reducing amount of controlled release N fertilizer on yield of winter wheat, N efficiency and soil NO_3^- -N[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(1):179-183.
- [12] 易琼, 唐拴虎, 逢玉万, 等. 华南稻区不同施肥模式下土壤 CH_4 和 N_2O 排放特征[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(12):2478-2484.
- YI Qiong, TANG Shuan-hu, PANG Yu-wan, et al. Emissions of CH_4 and N_2O from paddy soil in South China under different fertilization patterns[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(12):2478-2484.
- [13] 李锦, 田霄鸿, 王少霞, 等. 秸秆还田条件下减量施氮对作物产量及土壤碳氮含量的影响[J]. 西北农林学报, 2014, 42(1):137-142.
- LI Jin, TIAN Xiao-hong, WANG Shao-xia, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction on crop yields, soil nitrate nitrogen and carbon contents with straw returning[J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2014, 42(1):137-142.
- [14] 姜继韶, 郭胜利, 王蕊, 等. 施氮对黄土旱塬区春玉米土壤呼吸和温度敏感性的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(5):1802-1809.
- JIANG Ji-shao, GUO Sheng-li, WANG Rui, et al. Effects of nitrogen fertilization on soil respiration and perature sensitivity in spring maize field in semi-arid regions on Loess Plateau[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(5):1802-1809.
- [15] 李军, 王立祥, 邵明安, 等. 黄土高原地区玉米生产潜力模拟研究[J]. 作物学报, 2002, 28(4):555-560.
- LI Jun, WANG Li-xiang, SHAO Ming-an, et al. Simulation of maize potential productivity in the Loess Plateau region of China[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(4):555-560.
- [16] Raynor G S. Wind and temperature structure in a coniferous forest and a contiguous field[J]. *Forest Science*, 1971, 17(3):351-363.
- [17] 张文伟, 王朝辉, 李利利, 等. 黄土高原南部夏季不施肥种植玉米对旱地土壤残留养分的利用[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(7):1451-1457.
- ZHANG Wen-wei, WANG Zhao-hui, LI Li-li, et al. Utilization of residual nutrients in soil by summer maize cropping with no fertilization in southern area of the Loess Plateau[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(7):1451-1457.
- [18] 张锡洲, 余海英, 王永东, 等. 不同形态氮肥对设施土壤速效养分的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4):182-1187.
- ZHANG Xi-zhou, YU Hai-ying, WANG Yong-dong, et al. Effects of different nitrogen fertilizers on available nutrients concentrations of greenhouse soils[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23(4):182-1187.

- [19] 石德杨, 张海艳, 董树亭. 土壤高残留氮条件下施氮对夏玉米氮素平衡、利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 37-44.
SHI De-yang, ZHANG Hai-yan, DONG Shu-ting. Effects of nitrogen application on nitrogen balance and use efficiency and yield of summer maize in soil with high residual nitrogen[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1): 37-44.
- [20] Kroon P, Hensen A, van den Bulk W C M, et al. The importance of reducing the systematic error due to non-linearity in N_2O flux measurements by static chambers[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 82(2): 175-186.
- [21] 孟秦倩, 王健. 延安丘陵沟壑区果园土壤储水量动态研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(11): 161-164.
MENG Qin-qian, WANG Jian. Study on soil water storage dynamic in slope-orchard of Yan, an gully region[J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2007, 35(11): 161-164.
- [22] 李欠欠, 李雨繁, 高 强, 等. 常规和优化施氮对春玉米产量、氮挥发及氮平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 571-579.
LI Qian-qian, LI Yu-fan, GAO Qiang, et al. Effect of conventional and optimized nitrogen fertilization on spring maize yield, ammonia volatilization and nitrogen balance in soil-maize system[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(3): 571-579.
- [23] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(9): 3041-3046.
- [24] Liu X J, Ju X T, Zhang F S, et al. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain[J]. *Field Crops Research*, 2003, 83(2): 111-124.
- [25] 巨晓棠. 理论施氮量的改进及验证: 兼论确定作物氮肥推荐量的方法[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 249-261.
JU Xiao-tang. Improvement and validation of theoretical N rate(TNR): discussing the methods for N fertilizer recommendation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(2): 249-261.
- [26] 梁国庆, 周 卫, 夏文建, 等. 优化施氮下稻-麦轮作体系土壤 N_2O 排放研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 304-311.
LIANG Guo-qing, ZHOU Wei, XIA Wen-jian, et al. Effect of optimized nitrogen application on N_2O emission from paddy field under wheat-rice rotation system[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 304-311.
- [27] 胡 腾, 同延安, 高鹏程, 等. 黄土高原南部旱地冬小麦生长期 N_2O 排放特征与基于优化施氮的减排方法研究[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(9): 1038-1046.
HU Teng, TONG Yan-an, GAO Peng-cheng, et al. N_2O emission characteristics and mitigation methods in South Loess Plateau under rain-fed winter wheat conditions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(9): 1038-1046.
- [28] 邱炜红. 菜地土壤温室气体氧化亚氮排放及其控制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
QIU Wei-hong. Study in greenhouse gas N_2O emission and control in vegetable soil[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [29] 刘慧颖, 韩瑛祚, 华利民. 施氮方式对玉米氮吸收及土壤养分、 N_2O 排放的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(6): 17-21.
LIU Hui-ying, HAN Ying-zuo, HUA Li-min. Effect of N application on plant N uptake and change of soil nutrition and N_2O emission in maize[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2013(6): 17-21.
- [30] 杨 黎, 王立刚, 李 虎, 等. 基于 DNDC 模型的东北地区春玉米农田固碳减排措施研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 75-86.
YANG Li, WANG Li-gang, LI Hu, et al. Modeling impacts of alternative farming management practices on carbon sequestration and mitigating N_2O emissions from spring maize fields[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(1): 75-86.
- [31] 马银丽, 吉艳芝, 李 鑫, 等. 施氮水平对小麦-玉米轮作体系氮挥发与氧化亚氮排放的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(2): 225-230.
MA Yin-li, JI Yan-zhi, LI Xin, et al. Effects of N fertilization rates on the NH_3 volatilization and N_2O emissions from the wheat-maize rotation system in North China Plain[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(2): 225-230.
- [32] Ju X T, Lu X, Gao Z L, et al. Processes and factors controlling N_2O production in an intensively managed low carbon calcareous soil under sub-humid monsoon conditions[J]. *Environmental Pollution*, 2011, 159(4): 1007-1016.
- [33] Delgado J A, Mosier A R. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(5): 1105-1111.
- [34] Guo S L, Wu J S, Dang T H, et al. Impacts of fertilizer practices on environmental risk of nitrate in semiarid farmlands in the Loess Plateau of China[J]. *Plant and Soil*, 2010, 330(1/2): 1-13.
- [35] Hoben J P, Gehl R J, Millar N, et al. Nonlinear nitrous oxide(N_2O) response to nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US Midwest[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(2): 1140-1152.
- [36] Bouwman A F, Boumans L J M, Batjes N H. Emissions of N_2O and NO from fertilized fields; Summary of available measurement data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 6-1-6-13.
- [37] Xing M, Liu W G, Wang Z F, et al. Relationship of nitrate isotopic character to population density in the Loess Plateau of Northwest China[J]. *Applied Geochemistry*, 2013, 35: 110-119.
- [38] 吴得峰, 姜继韶, 高 兵, 等. 添加 DCD 对雨养区春玉米产量、氧化亚氮排放及硝态氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 30-39.
WU De-feng, JIANG Ji-shao, GAO Bing, et al. Effects of DCD addition on grain yield, N_2O emission and residual nitrate-N of spring maize in rain-fed agriculture[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(1): 30-39.
- [39] 蔡红光, 米国华, 张秀芝, 等. 不同施肥方式对东北黑土春玉米连作体系土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 89-97.
CAI Hong-guang, MI Guo-hua, ZHANG Xiu-zhi, et al. Effect of different fertilizing methods on nitrogen balance in the black soil for continuous maize production in Northeast China[J]. *Journal of Plant Nutrition*

and Fertilizer Science, 2012, 18(1): 89-97.

- [40] 王宜伦, 刘天学, 赵 鹏, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2483-2491.

WANG Yi-lun, LIU Tian-xue, ZHAO Peng, et al. Effect of nitrogen fertilizer application on yield, nitrogen absorption and soil nitric N in super-high-yield summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(12): 2483-2491.

- [41] 王激清, 刘社平, 韩宝文. 施氮量对冀西北春玉米氮肥利用率和土壤硝态氮时空分布的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 138-143.

WANG Ji-qing, LIU She-ping, HAN Bao-wen. Effects of nitrogen application on nitrogen use efficiency of spring maize and distribution of soil nitrate nitrogen in Northwest Hebei Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(2): 138-143.

- [42] 谷 洁, 高 华. 施肥和秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 160-164.

GU Jie, GAO Hua. Effects of fertilizer application and mulch straw on water use efficiency of crops in dryland[J]. *Transactions of the CSAE*, 1998, 14(2): 160-164.

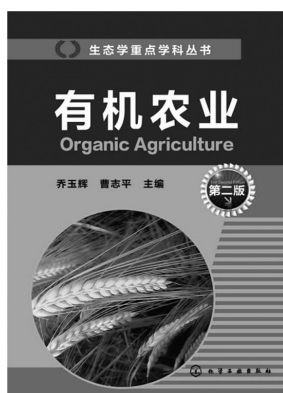
- [43] 谢英荷, 李廷亮, 洪坚平, 等. 施氮和垄膜沟播种植对晋南旱地冬小麦水分利用的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2038-2044.

XIE Ying-he, LI Ting-liang, HONG Jian-ping, et al. Effects of nitrogen application and ridge film furrow planting on water use of winter wheat in dry land of South Shanxi[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(8): 2038-2044.

- [44] 郭天文, 谢永春, 张平良, 等. 不同种植和施肥方式对旱地春玉米土壤水分含量及其水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 231-238.

GUO Tian-wen, XIE Yong-chun, ZHANG Ping-liang, et al. Effects of different patterns of planting and fertilization on soil moisture and water use efficiency of spring maize on dry land[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(5): 231-238.

新书推荐



有机农业(第二版)

乔玉辉、曹志平 主编

本书共分十二章,按有机产品“从田间到餐桌”的顺序编写,分别介绍了有机农业的发展历史、现状与展望;有机农业生产的前期准备,包括有机农业对产地环境、有机农业生产投入物质的要求;有机农业的生产过程中土壤培肥和植物保护等方面的技术要求;几种代表性的粮食、蔬菜、水果和畜禽的有机生产技术;有机食品的收获后管理、食品安全,以及对加工、运输过程的特殊要求;国际有机农业的标准体系、有机食品的认证以及有机产品的贸易与市场;最后对有机农业课程的实习提出了一些方案与建议,并介绍了国内外知名有机农场的案例。

※书号:9787122251190

※定 价:49.8 元

※开本:16

※出版日期:2016 年 1 月



中国村镇污水处理系统解决方案

文一波 编著

本书详细介绍了我国村镇污水的特点及适合的污水处理系统,内容包括村镇水污染问题、村镇污水处理发展政策与措施、村镇污水处理工艺技术、村镇污水处理成套化设备、村镇污泥处理与处置、村镇污水处理厂(站)设计、村镇污水收集和管网厂(站)建设、村镇污水处理厂(站)运营管理和村镇污水处理解决途径及工程案例。

※书号:9787122264381

※定 价:98.0 元

※开本:16

※出版日期:2016 年 6 月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyebs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。