

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20211

# 养分专家系统推荐施肥对章丘大葱产量及养分吸收利用的影响

马 征<sup>1</sup>, 魏建林<sup>1\*</sup>, 刘东升<sup>2</sup>, 王连英<sup>2</sup>, 刘福忠<sup>3</sup>, 谭德水<sup>1</sup>, 崔荣宗<sup>1\*</sup>

(1. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所 / 农业农村部黄淮海平原农业环境重点实验室 / 农业农村部废弃物基质化利用重点实验室 / 山东省植物营养与肥料重点实验室, 山东 济南 250100; 2. 武城县农业农村局, 山东 武城 253300; 3. 山东蓝昕环保测试分析有限公司, 山东 济南 250100)

**摘 要:** 为评价养分专家系统 (NE 系统) 在大葱上的推荐施肥效果, 在章丘大葱主产区, 选取多年大葱种植地进行田间试验, 并分析了 NE 系统与农民习惯施肥 (FP) 处理、当地农技部门的测土配方推荐施肥 (OPTs) 处理下大葱产量、经济效益、养分吸收积累、肥料利用率和土壤硝态氮积累的变化。结果表明, NE 系统推荐施肥较 FP 处理氮、磷、钾肥施用量分别降低了 13.22%、27.33% 和 16.51%, 较 OPTs 处理氮、磷肥用量增加而钾肥用量降低; 大葱 NE 系统较 FP 和 OPTs 分别增产 6.04% 和 12.30%, 增收 8.01% 和 14.74%; NE 处理氮素积累量较 FP 和 OPTs 处理分别显著增加 14.20% 和 37.78%, 磷积累量分别增加 21.22% 和 25.78%, 但差异不显著, 钾积累量分别显著增加 16.78% 和 22.13%; NE 处理氮肥农学效率平均为 71.78 kg/kg, 氮肥利用率平均为 25.10%, 氮肥偏生产力较 FP 提高 22.22%; NE 处理较 FP、OPTs 处理可分别显著降低 0 ~ 90 cm 土层硝态氮积累量 39.44% 和 38.72%。大葱 NE 系统推荐施肥促进了大葱对养分的吸收和利用, 具有明显的增产增收效应, 肥料利用效率高于全国平均水平, 降低了土壤硝态氮积累风险, 可作为该地区大葱推荐施肥方法推广应用。

**关键词:** 养分专家系统; 大葱; 产量; 养分积累量; 肥料利用效率; 土壤硝态氮积累

大葱 (*Allium fistulosum* L.) 为百合科葱属二年生草本植物, 原产中国西部和俄罗斯的西伯利亚, 后经朝鲜、日本传至欧洲。大葱在我国已有 2000 余年的栽培历史, 根据特色蔬菜产业经济研究室的调查数据, 2003 ~ 2016 年我国大葱种植面积一直稳定在 540 千  $\text{hm}^2$  以上, 2016 年山东大葱种植面积为 93.87 千  $\text{hm}^2$ , 占总种植面积的 17.12%<sup>[1]</sup>。章丘大葱因其棵大长、脆嫩可口、适宜久藏等特点, 被誉为“葱中之王”, 深受消费者喜爱, 大葱产业逐渐成为拉动当地农民增收的重要支柱产业, 随着人民生活水平的不断提高和对大葱保健功能认识的不断深入, 大葱的种植面积和产量还将会进一步的扩大和提高<sup>[1-2]</sup>。肥料是作物的“粮食”, 是作物增产最有效的措施。但目前大葱

生产中仍存在施肥过量, 养分比例不平衡等现象, 造成化肥利用率不高、生产成本增加、效益下降、环境风险加大等问题<sup>[3-6]</sup>。因此, 实现大葱科学施肥对提高大葱产量和肥料利用效率具有重要意义。

传统的推荐施肥主要以土壤测试为基础, 如地力分级法、目标产量法、肥料效应函数法和土壤测试施肥指标法<sup>[7-10]</sup>等, 这类方法不但投入大, 而且费时费力, 在生产实践中也很难适应一家一户分散种植的农业生产方式, 所以推广应用具有较大难度<sup>[11]</sup>。养分专家系统是在实地养分管理方法基础上, 结合 4R (正确的肥料品种、采用正确的肥料用量、在正确的施用时间, 施用在正确的位置) 原则, 针对特定农田和作物生长环境而制作的施肥决策系统。养分专家系统以产量反应和农学效率为基础, 综合考虑了产量反应、农学效率、相对产量和土壤基础养分供应之间的联系<sup>[12-14]</sup>。目前养分专家系统已经在小麦<sup>[15-17]</sup>、玉米<sup>[18-20]</sup>、水稻<sup>[21]</sup>等多种作物上应用, 均有较好的增产效果, 但养分专家系统在大葱上的应用鲜有报道。本研究运用养分专家系统对多年大葱栽培地块进行推荐施肥, 氮肥推荐主要是依据氮素产量反应和氮素农学效率的关系来确定 (施氮量 = 产量反应 / 农学

收稿日期: 2020-04-16; 录用日期: 2020-06-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0200103, 2017YFD080602); 山东省重点研发计划 (2017CXGC0311); 山东省农业科学院科技创新工程 (CXGC2016A05)。

作者简介: 马征 (1982-), 女, 山东济南人, 助研, 硕士, 主要从事植物营养与施肥及土壤改良方面研究。E-mail: mazheng15@163.com。

通讯作者: 崔荣宗, E-mail: rzcu@ipni.ac.cn; 魏建林, E-mail: weijianlin@163.com。

效率)<sup>[7]</sup>。磷、钾肥养分推荐,除考虑产量反应外,还考虑了维持土壤养分平衡,即需要归还一定目标产量下作物移走的部分养分才能保证土壤肥力(施磷或施钾量=作物产量反应施磷或施钾量+维持土壤平衡部分)<sup>[7]</sup>。其中,维持土壤平衡部分主要依据 QUEFTS 模型得出的最佳养分吸收量计算<sup>[22-25]</sup>。对磷钾肥料的推荐还考虑了上季作物养分残效。经过对试验研究地块的生产环境和往年大葱产量调查,设定目标产量为 90 t,运行养分专家系统得出推荐施肥量为 N 269 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 109 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 267 kg/hm<sup>2</sup>。通过分析大葱产量、养分吸收积累及肥料利用效率的影响,以期对大葱养分专家系统进行验证与评价,以此完善该专家推荐系统,为大葱科学施肥提供理论和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况与供试土壤

试验于 2018 年 4 月至 11 月在山东省济南市章丘区枣园街道办事处庆元村进行(36°46' N, 117°26' E)。供试土壤类型为褐土,表层质地中壤,地势平坦,地力均匀,水浇条件良好。基本理化性状为 pH 7.90,有机质 16.27 g/kg,全氮 0.72 g/kg,碱解氮 71.00 mg/kg,有效磷 84.99 mg/kg,速效钾 188.0 mg/kg。6 月底开始定植,11 月初收获。

### 1.2 试验设计

供试大葱(*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makino)品种为‘大梧桐’。试验采用大田小区随机区组,重复 3 次,小区面积为 3.4 m×5.9 m=20 m<sup>2</sup>,设置 4 个处理,即 NE(养分专家系统推荐施肥)、NE-N(在 NE 处理基础上不施氮肥)、FP(农民习惯施肥,根据当地农户习惯种植施肥情况调查得出)、OPTs(当地测土配方施肥成果推荐方案)。供试氮肥为尿素(N 46%),磷肥为重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44%),钾肥为硫酸钾(K<sub>2</sub>O 50%),各处理施肥量见表 1。根据大葱生长发育规律和肥料特性,NE 处理施肥分 4 次进行,其氮磷钾施用比例分别为基肥 25%-75%-25%、缓苗肥 25%-15%-25%、发棵肥 25%-5%-25%、假茎充实肥 25%-5%-25%;NE-N 处理除不施氮肥外,肥料运筹与 NE 一致;FP 处理施肥分 4 次进行,施肥量来源于农户调查,其氮磷钾施用比例为基肥 20%-20%-20%、缓苗肥 25%-30%-20%、发棵肥 25%-30%-20%、假茎充实肥 30%-20%-40%;OPTs 处理施肥分 3 次进

行,施肥量来源于当地农技站,其氮磷钾施用比例为基肥 20%-100%-20%、缓苗肥 40%-0%-40%、假茎充实肥 40%-0%-40%。2018 年 6 月 21 日起垄施底肥,6 月 22 日移栽葱苗,8 月 14 日、8 月 28 日、9 月 16 日结合培土进行追肥,10 月 31 日大葱收获。

表 1 不同处理施肥量 (kg/hm<sup>2</sup>)

| 处理   | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|------|-----|-------------------------------|------------------|
| NE   | 269 | 109                           | 267              |
| NE-N | 0   | 109                           | 267              |
| FP   | 310 | 150                           | 315              |
| OPTs | 242 | 60                            | 319              |

### 1.3 样品采集与测定方法

大葱定植前与收获后按五点法采集 0~30、30~60、60~90 cm 土壤样品,用重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质,用碱解扩散法测定土壤碱解氮,用连续流动分析仪法测定土壤硝态氮,用碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法测定土壤有效磷,用醋酸铵浸提-火焰光度法测定土壤速效钾。大葱收获时各试验小区单独采收并进行测产。

### 1.4 数据分析

收益(元/hm<sup>2</sup>)=单价(元/kg)×产量(kg/hm<sup>2</sup>);

纯收益(元/hm<sup>2</sup>)=单价(元/kg)×产量(kg/hm<sup>2</sup>)-肥料投入(元/hm<sup>2</sup>)-其他成本(元/hm<sup>2</sup>);

产投比=施肥收益(元/hm<sup>2</sup>)/化肥投入(元/hm<sup>2</sup>);

养分积累量(kg/hm<sup>2</sup>)=收获物干重(kg/hm<sup>2</sup>)×收获物养分含量(%)/100;

土壤硝态氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>)=土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)×硝态氮浓度(mg/kg)/10;

肥料利用率(%)=[施肥区养分积累量(kg/hm<sup>2</sup>)-减素区养分积累量(kg/hm<sup>2</sup>)]/施肥量(kg/hm<sup>2</sup>)×100;

养分盈余(kg/hm<sup>2</sup>)=养分投入量(kg/hm<sup>2</sup>)-作物携出量(kg/hm<sup>2</sup>),正值表示盈余,负值表示亏缺;

氮肥偏生产力指单位投入的肥料氮所能生产的作物产量,计算公式为:

$$PFPN=Y/F$$

式中,  $PFPN$  为氮肥偏生产力,  $Y$  为施氮后所获得的产量,  $F$  代表氮肥的投入量。

氮肥农学效率 ( $\text{kg/kg}$ ) = (施肥区大葱产量 - 减素处理区大葱产量) / 施肥量

采用 Excel 2007 进行数据计算, DPS 18.10 统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 养分专家系统推荐施肥对大葱产量和经济效益的影响

从表 2 可知, 各施氮处理较 NE-N 增产 9.96% ~ 23.49%, 其中 NE 处理产量最高, 较 FP 和 OPTs 处理分别增产 6.04% 和 12.30%; 从经济效

表 2 不同施肥处理对大葱产量和经济效益的影响

| 处理   | 产量<br>( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) | NE 处理较其他<br>处理增产率 (%) | 化肥投入<br>( $\text{元}/\text{hm}^2$ ) | 其他成本<br>( $\text{元}/\text{hm}^2$ ) | 收益<br>( $\text{元}/\text{hm}^2$ ) | 纯收益<br>( $\text{元}/\text{hm}^2$ ) | 产投比    |
|------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------|
| NE   | 99338 ± 15078a                    | —                     | 3279                               | 15000                              | 119224a                          | 100945a                           | 30.79b |
| NE-N | 80044 ± 10816b                    | 23.49                 | 2068                               | 15000                              | 96053c                           | 78985c                            | 38.19a |
| FP   | 93676 ± 5568a                     | 6.04                  | 3953                               | 15000                              | 112412ab                         | 93459ab                           | 23.65c |
| OPTs | 88456 ± 17276ab                   | 12.30                 | 3174                               | 15000                              | 106147b                          | 87974bc                           | 27.72b |

注: 2018 年大葱 1.20 元/kg, 氮 4.50 元/kg, 五氧化二磷 5.50 元/kg, 氧化钾 5.50 元/kg, 其他成本包括: 灌水、打药、葱苗、人工。不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

益方面看, NE 纯收益显著高于 OPTs 处理 14.74%, 较 FP 和 OPTs 处理分别增加 7486 和 12971 元/ $\text{hm}^2$ ; NE 产投比与 OPTs 差异不显著, 但较 FP 处理显著提高 30.19%。综合来看, 养分专家系统推荐施肥具有增产和较好的增收效果。

### 2.2 养分专家系统推荐施肥对大葱养分积累和平衡的影响

从图 1 可知, 施氮肥能显著增加大葱对氮素的吸收。各施氮处理氮素积累量较 NE-N 显著增加 26.20 ~ 67.53  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 其中 NE 氮素积累量最大, 较 FP 和 OPTs 处理分别显著增加 14.20% 和 37.78%; NE 处理磷积累量较 FP 和 OPTs 处理分别增加 21.22% 和 25.78%; NE 处理钾积累量较 FP 和 OPTs 处理分别显著增加 16.78% 和 22.13%。这表明养分专家系统推荐施肥可有效促进大葱中氮磷钾养分的积累。

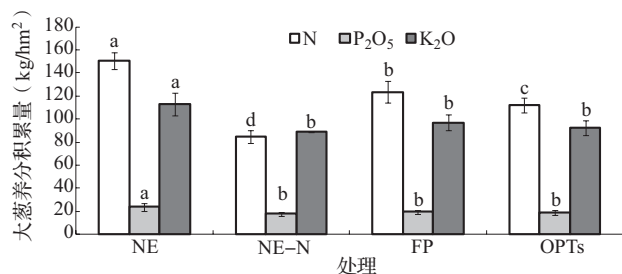


图 1 不同施肥处理对大葱养分积累量的影响

由肥料投入与植株养分移走量得到大葱养分表

观平衡状况, 见表 3。除 NE-N 处理大葱氮素呈亏缺外, 其他处理氮磷钾养分均表现为盈余。其中, NE 处理氮素平均盈余量较 FP 和 OPTs 处理分别降低 33.56% 和 10.81%; FP 处理磷素盈余最大, 与其他处理相比高出 39.26 ~ 89.29  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; NE 处理钾素平均盈余量最低, 较 NE-N、FP 和 OPTs 处理分别降低 13.59%、29.47% 和 32.05%。

### 2.3 养分专家系统推荐施肥对氮肥贡献率的影响

化肥偏生产力是反映当地土壤基础养分水平和化肥施用量综合效应的重要指标。本研究中, NE、FP 和 OPTs 处理氮肥偏生产力分别为 369.29、302.18 和 365.52  $\text{kg}/\text{kg}$ , NE 和 OPTs 处理化肥偏生产力显著高于 FP 处理, 说明推荐施肥提高了化肥效率。NE 处理氮肥农学效率平均为 71.78  $\text{kg}/\text{kg}$ , 氮肥利用率平均为 25.10%。

### 2.4 养分专家系统推荐施肥对土壤剖面硝态氮总积累量的影响

各处理 0 ~ 90 cm 土层土壤硝态氮积累量在 57.95 ~ 129.27  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间。由图 2 可看出, 不同施肥处理造成各土层硝态氮积累量差异显著。在 0 ~ 30 cm 土层中, 各处理土壤硝态氮积累量在 32.13 ~ 36.19  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间, 无显著差异; 随着土层深度的增加, 在 30 ~ 60 cm 土层中 NE 和 NE-N 处理土壤硝态氮积累量呈显著降低趋势, 而 FP 和 OPTs 处理硝态氮积累量显著上升; 在 60 ~ 90 cm 土层中各处理土壤硝态氮积累量均呈下降趋势, 但

表 3 大葱养分积累量及表观平衡计算

(kg/hm<sup>2</sup>)

| 处理   | 施肥量 |                               |                  | 大葱移走量   |                               |                  | 养分盈余   |                               |                  |
|------|-----|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|
|      | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| NE   | 269 | 109                           | 267              | 150.74a | 23.54a                        | 113.22a          | 118.26 | 85.46                         | 153.78           |
| NE-N | 0   | 109                           | 267              | 83.21d  | 17.68b                        | 89.03b           | -83.21 | 91.32                         | 177.97           |
| FP   | 310 | 150                           | 315              | 132.00b | 19.42b                        | 96.95b           | 178.00 | 130.58                        | 218.05           |
| OPTs | 242 | 60                            | 319              | 109.41c | 18.71b                        | 92.70b           | 132.59 | 41.29                         | 226.30           |

NE 处理比 FP 和 OPTs 土壤硝态氮积累量分别显著降低 57.11% 和 60.61%，表明施肥造成土壤硝态氮的不断累积，NE 处理可降低硝态氮向下淋洗程度。

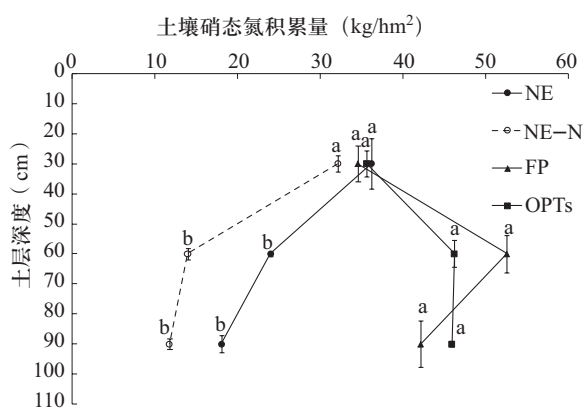


图 2 不同处理下土壤硝态氮积累量随土层深度的变化

### 3 讨论

#### 3.1 养分专家系统推荐施肥与大葱产量及经济效益的关系

化肥是作物优质高产的物质基础，但片面追求高产，容易带来化肥投入量过高或不合理施用等问题，这不仅导致化肥利用率降低，还带来资源浪费及环境污染的风险<sup>[26-28]</sup>。因此，科学推荐施肥方法是实现作物高产高效生产的关键。自 2009 年以来，养分专家系统在不同气候条件区展开了广泛的应用，多年多点的试验证明，养分专家系统可有效增产，优化肥料运筹，提高肥料利用率，增加农民收入。在本研究中，大葱养分专家系统推荐施肥量较农民习惯氮、磷和钾肥施用量分别降低 13.22%、27.33% 和 16.51%，产量增加 6.04%，纯收益增加 7486 元/hm<sup>2</sup>，较测土配方推荐氮、磷肥用量增加而钾肥用量降低，产量增加 12.30%，纯收益增加 12971 元/hm<sup>2</sup>。大葱 NE 系统推荐施肥综合考虑了大葱产量形成的养分需求、土壤地力和生长环境等多方面因素，优化了氮、磷、钾配比，协调了大葱

养分的吸收积累，在施肥方案推荐上更加科学合理，实现了大葱的增产增收。

#### 3.2 养分专家系统推荐施肥与氮肥利用率的关系

氮肥利用率是衡量氮肥合理施用的重要参考指标<sup>[29]</sup>。我国主要粮食作物氮肥利用率为 27.3% ~ 38.2%<sup>[30]</sup>，有研究指出就整个大田平均水平而言，水稻和麦类作物氮肥利用率在 30% ~ 35% 之间<sup>[31]</sup>。但由于蔬菜经济效益高，为了获得更高的产量，大水大肥的种植管理模式十分普遍，从而导致多数蔬菜氮肥利用率较低。张福锁指出蔬菜生产中过量投入水肥现象非常普遍，氮肥施用量一般超过 450 kg/hm<sup>2</sup>，设施蔬菜氮肥利用率不到 15%。王荣萍等<sup>[32]</sup>总结了 2010 ~ 2013 年的蔬菜田间试验发现，华南地区蔬菜（叶菜、瓜类和豆类蔬菜）的氮肥利用率为 18.4% ~ 19.7%。李娟等<sup>[33]</sup>研究福建省 5 种主要叶菜类蔬菜试验发现，在推荐施肥下，氮肥利用率为 17.2% ~ 56.9%，不同蔬菜品种产量水平和营养特性差异，是造成氮肥利用率变幅较大的主要原因。本研究中，NE 处理大葱氮肥利用率为 25.10%，略高于统计数据，与 FP 施氮量相比，降低 NE 处理施氮量并未影响作物产量，反而显著提高了氮肥的偏生产力。

#### 3.3 养分专家系统推荐施肥与土壤硝态氮积累的关系

由于菜地施氮量远高于粮田，使得蔬菜种植土壤硝态氮积累现象更为严重。章明清等<sup>[34]</sup>综合分析福建 460 个菜田土样发现，耕层土壤硝态氮含量平均为 47.40 mg/kg，有 17.90% 的土壤超过临界指标。黄绍文等<sup>[35]</sup>对全国 1201 个主要菜区典型菜田土壤样品硝态氮分析显示，温室菜地和大棚菜地土壤硝态氮高于 150 mg/kg 的土样分别占总数的 33.0% 和 30.7%，过量氮肥与其它蔬菜不吸收的离子导致了土壤次生盐渍化的发生。大量硝态氮积累不但容易随降雨或灌溉淋溶进入地表水和地下水引起水体硝酸盐污染，还可导致蔬菜硝酸盐积累。陈

云增等<sup>[36]</sup>对沙颍河流域典型癌病高发区土壤硝态氮调查显示,较高的施氮量、氮污染较重的沙颍河水灌溉,以及河流侧渗造成多年菜地和轮作菜地土壤硝态氮残留分别达到 68.26 和 46.39 mg/kg,为粮田硝态氮平均残留水平的近 3 倍,作物生长期地下水硝态氮平均含量达 38.32 mg/kg,超标近 3 倍,叶菜类蔬菜硝酸盐平均含量高达 3269.04 mg/kg。本研究中,大葱 NE 处理 0 ~ 90 cm 土层硝态氮积累量较 FP、OPTs 处理分别显著降低 39.44% 和 38.72%,FP 和 OPTs 处理 60 ~ 90 cm 土层硝态氮积累显著高于 NE 处理。

#### 4 结论

在章丘大葱主产区,大葱养分专家系统可优化肥料运筹,具有较好的增产增收效果,有助于提高养分积累量和化肥偏生产力。与农民习惯施肥相比,养分专家系统推荐施肥增产 6.04%,增收 8.01%;氮磷钾养分积累量分别增加 14.20%、21.22% 和 16.78%;氮肥偏生产力增加 22.22%。大葱养分专家系统根据土壤性状、产量目标及养管理措施等信息给出合理的氮磷钾配比,有效降低 0 ~ 90 cm 土层硝态氮积累量,对于实现大葱科学施肥具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 (2002 ~ 2016) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002-2016.
- [2] 陈伟, 高莉敏, 王海英, 等. 不同播种期和定植期对越冬栽培大葱产量及经济性状的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48 (1): 64-66.
- [3] 张逸. 钙影响大葱产量及品质形成的生理机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [4] 徐钰, 江丽华, 林海涛, 等. 氮素供应对章丘大葱生长和氮素营养的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22 (4): 102-108.
- [5] 董飞, 高莉敏, 王传增, 等. 钙、镁、硫、硅用量对大葱产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014 (1): 53-56.
- [6] 马征, 崔荣宗, 贾德, 等. 氮磷钾平衡施用对大葱产量、养分吸收及利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019 (3): 109-114.
- [7] 徐新朋, 魏丹, 李玉影, 等. 基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (6): 1458-1467.
- [8] 全利朋. 肥料效应函数的改良解法在黑土区玉米推荐施氮上的应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [9] Chen X P, Zhang F S, Römheld V, et al. Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved Nmin method[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2006, 74: 91-98.
- [10] 杜君, 孙克刚, 白由路, 等. 北方褐土区冬小麦养分平衡施肥参数研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (5): 1113-1122.
- [11] 串丽敏, 何萍, 赵同科. 作物推荐施肥方法研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18 (1): 95-102.
- [12] Xu X P, He P, Pampolino M F, et al. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency[J]. Field Crops Research, 2014, 157: 27-34.
- [13] Xu X P, He P, Yang F Q, et al. Methodology of fertilizer recommendation based on yield response and agronomic efficiency for rice in China[J]. Field Crops Research, 2017, 206: 33-42.
- [14] Chuan L M, He P, Pampolino M F, et al. Establishing a scientific basis for fertilizer recommendations for wheat in China: yield response and agronomic efficiency[J]. Field Crops Research, 2013, 140: 1-8.
- [15] 贾良良, 杨军芳, 孙彦铭, 等. 小麦养分专家系统推荐施肥对河北省冬小麦产量、养分效率和环境效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017 (5): 51-55.
- [16] Sun Y M, Yang Y M, Yang J F, et al. Evaluation of Nutrient Expert system in improving nutrient use efficiency and environmental benefits for winter wheat in the Hebei Plain[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 185 (1): 1-7.
- [17] 苏瑞光, 王宜伦, 刘举, 等. 养分专家系统推荐施肥对潮土冬小麦产量及养分吸收利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34 (1): 120-125.
- [18] Dahal S, Shrestha A, Dahal S, et al. Nutrient Expert impact on yield and economic in maize and wheat[J]. International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 2018, 6 (1): 45-52.
- [19] Xu X P, He P, Pampolino M F, et al. Narrowing yield gaps and increasing nutrient use efficiencies using the Nutrient Expert system for maize in Northeast China[J]. Field Crops Research, 2016, 194: 75-82.
- [20] 王宜伦, 苏瑞光, 刘举, 等. 养分专家系统推荐施肥对潮土夏玉米产量及肥料效率的影响[J]. 作物学报, 2014, 40 (3): 563-569.
- [21] 宋蝶, 陈新兵, 董洋阳, 等. 养分专家系统推荐施肥对苏北地区水稻产量和肥料利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28 (1): 68-75.
- [22] Janssen B H, Guiking F C T, van der Eijk D, et al. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS) [J]. Geoderma, 1990, 46: 299-318.
- [23] Chuan L M, He P, Jin J Y, et al. Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China[J]. Field Crops Research, 2013, 146: 96-104.
- [24] Xu X P, He P, Pampolino M F, et al. Nutrient requirements for maize in China based on QUEFTS analysis[J]. Field Crops

- Research, 2013, 150: 115–125.
- [25] Xu X P, Xie J G, Hou Y P, et al. Estimating nutrient uptake requirements for rice in China [J]. *Field Crops Research*, 2015, 180: 37–45.
- [26] Gharib H, Hafez E, Sabagh A E. Optimized potential of utilization efficiency and productivity in wheat by integrated chemical nitrogen fertilization and simulative compounds [J]. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 2016, 166 (2): 5–20.
- [27] 于飞, 施卫明. 近 10 年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析 [J]. *土壤学报*, 2015, 52 (6): 1311–1324.
- [28] Wang Z T, Geng Y B, Liang T, et al. Optimization of reduced chemical fertilizer use in tea gardens based on the assessment of related environmental and economic benefits [J]. *the Science of the Total Environment*, 2020, 713: 1–13.
- [29] Jin D D, Gao J P, Jiang P, et al. Nitrogen use efficiency and rice yield of different locations in northeast China [J]. *National Academy Science Letters-India*, 2017, 40 (4): 227–232.
- [30] 闫湘, 金继运, 梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率 [J]. *土壤*, 2017, 49 (6): 1067–1070.
- [31] 彭正萍, 刘亚男, 李迎春, 等. 持续氮素调控对小麦/玉米轮作系统氮素利用和表观损失的影响 [J]. *水土保持学报*, 2015, 29 (6): 74–79.
- [32] 王荣萍, 余炜敏, 李淑仪, 等. 华南地区主要蔬菜氮肥肥料利用率研究 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32 (25): 34–39.
- [33] 李娟, 章明清, 孔庆波, 等. 叶菜类蔬菜氮磷钾肥料效应及其化肥利用率研究 [J]. *现代农业科技*, 2014 (4): 142–144.
- [34] 章明清, 姚宝全, 李娟, 等. 福建菜田氮、磷积累状况及其淋失潜力研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (1): 148–155.
- [35] 黄绍文, 唐继伟, 李春花, 等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23 (6): 1480–1493.
- [36] 陈云增, 陈志凡, 马建华, 等. 沙颍河流域典型癌病高发区土壤硝态氮对地下水和蔬菜硝酸盐积累的影响 [J]. *环境科学学报*, 2016, 36 (3): 990–998.

### Effect of nutrient expert recommendation fertilization on Zhangqiu green onion yield and nutrient utilization

MA Zheng<sup>1</sup>, WEI Jian-lin<sup>1\*</sup>, LIU Dong-sheng<sup>2</sup>, WANG Lian-ying<sup>2</sup>, LIU Fu-zhong<sup>3</sup>, TAN De-shui<sup>1</sup>, CUI Rong-zong<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Environment of Huang-Huai-Hai Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Jinan Shandong 250100; 2. Wucheng Agricultural and Rural Bureau, Wucheng Shandong 253300; 3. Shandong Lanxin Environment Testing and Analysis Company Limited, Jinan Shandong 250100)

**Abstract:** In order to reasonably evaluate the effect of fertilizer recommendation method of Nutrient Expert (NE) System on Zhangqiu green onion, field experiments were conducted in Zhangqiu to study the effects on yield, economic benefit, nutrient accumulation, fertilizer use efficiency and soil nitrate accumulation of fertilization recommended by NE, soil testing from the local agricultural technical department (OPTs) and farmers' practices (FP). The results showed that NE recommendation reduced nitrogen, phosphorus and potassium application rate by 13.22%, 27.33% and 16.51%, respectively than FP treatment. Compared with the OPTs treatment, NE recommendation increased nitrogen and phosphorus fertilizer input but reduced potassium input. Nutrient expert recommended fertilization for green onion increased the yield by 6.04% and 12.30%, and economic benefit by 8.01% and 14.74%, respectively, compared with the FP and OPTs treatments. Nitrogen and potassium accumulation of NE treatment significantly increased by 14.20%, 37.78% and 16.78%, 22.13%, respectively, compared with the FP and OPTs treatments. Meanwhile, phosphorus accumulation of NE treatment increased by 21.22% and 25.78%, which had no significant differences. The average agronomic efficiency of NE treatment was 71.78 kg/kg, and fertilizer use efficiency was 25.10%. The partial factor productivity of nitrogen fertilizer in NE treatment was 22.22% higher than FP treatment. Compared with FP and OPTs, NE nitrate nitrogen accumulation significantly reduced by 39.44% and 38.72% in 0 ~ 90 cm soil profile. Nutrient expert recommend fertilization for green onion could promote the absorption and accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium of green onion, improve yield, income as well as nitrogen fertilizer use efficiency, and decrease risk of soil nitrate accumulation. This nutrient expert recommend fertilization for green onion is worthy of popularization and application.

**Key words:** nutrient expert system; green onion; yield; nitrogen accumulation; fertilizer use efficiency; soil nitrate nitrogen accumulation