

韩雪梅,张蓉蓉,俞映惊,等. 苏州市吴中区土壤地力评估及适宜氮肥投入量估算[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):256-261.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.061

# 苏州市吴中区土壤地力评估及适宜氮肥投入量估算

韩雪梅<sup>1</sup>, 张蓉蓉<sup>1</sup>, 俞映惊<sup>2</sup>, 薛利红<sup>2</sup>, 杨 根<sup>2</sup>

(1. 江苏省苏州市吴中区农业环境与土壤肥料站, 江苏苏州 215104;

2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部长江下游平原农业环境重点实验室, 江苏南京 210014)

**摘要:**确定稻田的适宜氮肥投入量是保障耕地持续生产力和减少农业面源污染的关键,而土壤地力直接影响着作物产量与氮投入关系。以江苏省苏州市吴中区稻田系统为对象,调查了当前水稻的氮肥投入现状及产量水平,并对土壤地力进行了定量评估。在此基础上,因地制宜地设定针对不同土壤地力的生产目标,给出了不同土壤地力下的适宜氮肥推荐用量及氮肥施用类型,并估算出吴中区现有土壤条件下,高地力田块推荐产量为 7.50 ~ 9.00 t/hm<sup>2</sup>,对应适宜氮肥投入量为 140 ~ 240 kg/hm<sup>2</sup>;中地力田块推荐产量为 6.00 ~ 8.25 t/hm<sup>2</sup>,对应适宜氮肥投入量为 130 ~ 230 kg/hm<sup>2</sup>;低地力田块推荐产量为 5.25 ~ 7.50 t/hm<sup>2</sup>,对应适宜氮肥投入量为 130 ~ 200 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**稻田;土壤地力;水稻产量;氮肥投入量;估算

**中图分类号:**      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0256-05

氮肥施用带来了新中国成立后农业生产效率的飞增,1949—1998 年我国粮食年总产量与化肥氮年使用量呈显著相关性。然而,将近 30 年的肥料投入数据以 10 年为 1 个计算单位进行比对,发现生产效率边际递减现象显著,即粮食总增产比例明显下落而化肥用量却依旧增长迅速<sup>[1]</sup>。统计数据显示,2010 年我国化肥氮平均施用量高达 346.1 kg/hm<sup>2</sup>,远超过发达国家设置的安全上限 225 kg/hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>;而氮肥的当季表观利用率不足 40%<sup>[3]</sup>,与发达国家高达 60% 的化肥利用率相差甚远。过量的化肥投入在增加农业生产成本、造成资源浪费的同时,也带来了面源污染等环境问题<sup>[4]</sup>。研究数据表明,十一五期间,长江、黄河和珠江水体中无机氮输入量达到 97.5 万 t,其中 90% 来自农业,而氮肥贡献占了 50%<sup>[5]</sup>。由此可见,农田氮肥的过量投入是造成水体富营养化的主要原因之一。

江苏省苏州市吴中区陆地面积近 750 km<sup>2</sup>,是闻名遐迩的“鱼米之乡”,农业生产历史可上溯千年。现该区域多数稻田为国家永久性保护耕地,因此,稻田土壤生产力的持续性对该区域粮食生产有着极为重要的意义。吴中区位于长江三角洲平原水网区,境内河道湖泊众多,水网密布,纵横交错,位于东太湖之出口。吴中区的农业生产与河网以及太湖水环境息息相关。对此,吴中区将农业面源污染治理写进了“十三五”农业发展规划当中,推进“两减六治三提升”专项行动方案,从“种-养-生”多个途径实施农业面源污染治理。据 2018 年统计数据显示,吴中区现有水稻种植涉及 9 大镇、43 个行政村,面积达 1 493 hm<sup>2</sup>,占吴中区农业生产土地面积的一半

以上。因此,确定稻田的适宜氮肥投入量成为落地“两减”工作的关键。

由于吴中区水稻种植面积大,土壤地力均一性较差,仅用一个氮肥建议投入量容易出现减产或者面源污染削减不到位的风险,如氮肥建议量偏高,则高地力田块可能依然氮流失严重,如氮肥建议量偏低,则低地力地块水稻产量潜力不能发挥,影响产量。按照《测土配方施肥技术规范》中“3414”实验对每个地块进行实测、估算<sup>[6-7]</sup>,由于工作量大,实际操作起来比较困难。而农业生产者最想得知的信息是,依据田块的现阶段条件施用多少氮肥是适宜的。针对这一问题,本研究以因地制宜、一域一策为导向,通过对吴中区典型稻田系统土壤养分含量以及作物地上部分养分吸收量的测定,划分土壤地力等级,并由此确定不同地力等级条件下作物对当季氮肥的利用情况,针对不同目标(产量及环境目标),在考虑到不同肥料品种有效性的前提下,估算适宜氮肥投入量,从而切实解决“以什么为标准去估算氮肥需求”“现状条件下,各生产目标分别能减多少氮肥”等问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

本研究以江苏省苏州市吴中区为研究区域,该区域地处长江三角洲腹地太湖流域,拥有 60% 的太湖水域面积(约 1 459 hm<sup>2</sup>),降水充沛(年降水量超过 1 100 mm 以上),四季分明。该区域稻田土壤多为湖积土,耕作层厚 15 ~ 20 cm。研究主要以 2018 年水稻收获后土壤样品的相关指标为数据依据,为下一季的氮肥投入提供理论支持。

### 1.2 样品的采集与分析

**1.2.1 样品采集区域的选择** 本研究选取吴中区具有较大水稻种植面积的 5 个镇 2 个街道(车坊镇、角直镇、金庭镇、胥口镇、临湖镇、横泾街道、越溪街道),对其下属的 32 个行政村进行代表性稻田系统土壤样品及作物样品的采集。采样涉及区域 2018 年水稻种植面积超过 28 350 亩,涵盖吴中区水

收稿日期:2019-01-11

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0801101);公益性行业(农业)科研专项(编号:201503106)。

作者简介:韩雪梅(1974—),女,黑龙江七台河人,农艺师,主要从事土壤污染治理与作物肥料应用推广工作。E-mail:hxmtlm@sina.com。

通信作者:俞映惊,博士,助理研究员,主要从事农业养分循环相关研究。E-mail:171816196@qq.com。

稻种植面积 95.6%,能够全面反映吴中区的稻田现况。共采集土壤样品 73 个,其中车坊镇 19 个(1 个无氮处理)、角直镇 19 个、金庭镇 3 个、胥口镇 3 个、临湖镇 5 个(1 个无氮处理)、越溪街道 13 个、横泾街道 11 个(1 个无氮处理);采集植株样品 26 个,其中车坊镇 8 个(1 个无氮处理)、角直镇 10 个、临湖镇 5 个(1 个无氮处理)、横泾街道 2 个(1 个无氮处理),南粳 46 样品 22 个,苏香粳 100 样品 1 个,武运粳样品 2 个,嘉 33 样品 1 个。

1.2.2 代表性稻田氮肥投入数据的统计 分别向生产者询问每个涉样田块 2018 年稻季氮肥的施用情况,包括投入肥料的种类以及投入量。对于养分含量不确定的肥料进行现场取样、带回,烘干并记录含水量后,用凯氏定氮法<sup>[8]</sup>测定其氮含量,以便用于氮投入总量的计算。

1.2.3 土壤样品的采集与分析 样品采集于 2018 年水稻收获季节 10 月下旬至 11 月上旬。土壤样品采集按照梅花形采样方法,在典型地块选择 5 个点位采集耕作层(表层 15 ~ 20 cm)土壤,形成大于 1 kg 混合土壤样品 1 个。所有土壤样品分为 2 份:一份自然风干至恒质量后,过 100 目筛(0.149 mm 孔径),用于土壤 pH 值、总氮含量、有机质含量的测定<sup>[8]</sup>;一份 4 ℃ 冷藏,以备后续验证。

1.2.4 植株样品的采集与分析 为保证样品的对应性,植株样品与土壤样品同时采集。在对应田块选取 1 m<sup>2</sup> 样方,收割后脱粒用于计算产量。将籽粒和秸秆分开,80 ℃ 烘干至恒质量,分别称质量计算其各部分生物量与含水量,再研磨过 100 目筛,用凯氏定氮法测定各部分氮素含量。

### 1.3 数据计算与处理

#### 1.3.1 植株氮肥利用效率的计算

$$NUE = N_{\text{plant}} \div N_{\text{input}} \times 100\%。$$

式中: $NUE$  为植株氮肥利用效率, $N_{\text{plant}}$  为植株样品氮吸收量(kg/hm<sup>2</sup>), $N_{\text{input}}$  为氮肥投入量(kg/hm<sup>2</sup>)。

#### 1.3.2 产量吸收关系的计算

$$RNP = N_{\text{plant}} \div Y; RNI = N_{\text{input}} \div Y。$$

式中: $RNP$  为单位水稻产量所需作物养分吸收量(kg/t); $Y$  为每公顷水稻产量(t/hm<sup>2</sup>); $RNI$  为单位水稻产量所需氮肥投入量(kg/t)。

1.3.3 适宜氮肥投入量的计算 以推荐产量为计算基准,以纯氮投入为计算考量。采用养分平衡法,即将作物目标产量与地力产量间差量部分的需肥量视为需求量,通过施肥来填补土壤养分供应不足的问题。计算公式为:

$$N_{\text{app}} = (Y_a - Y_s) \times R'_{\text{NP}} \div NUE'。$$

式中: $N_{\text{app}}$  为适宜氮肥投入量(kg/hm<sup>2</sup>); $Y_a$  为推荐产量(t/hm<sup>2</sup>); $Y_s$  为无氮地块产量(t/hm<sup>2</sup>); $R'_{\text{NP}}$  为某种土壤地力条件下的单位水稻产量所需作物养分吸收量范围; $NUE'$  为某种土壤地力条件下的植株氮肥利用效率范围。

1.3.6 数据处理 研究中土壤及植株相关数据采用 Microsoft Excel 软件进行统计、制图。分级后原为标定的影像图片采用 ArcGIS Pro 进行绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤地力的评估

土壤地力评估以土壤大量养分含量为数据基础,选取土

壤有机质、总氮以及 pH 值作为评估因素。按照第二次土壤普查养分标准等级,分别对土壤样品的有机质、总氮以及 pH 值进行等级划分并赋分。在此基础上,根据累计得分进行土壤养分属性的综合等级划分,确定土壤地力等级,并以此分析各行政镇乃至全区养分不同等级分布情况。

2.1.1 土壤有机质、总氮含量及 pH 值 土壤有机质是土壤的重要组成部分,能直接提供作物所需的大量元素和微量元素等多种养分,并对土壤水、热、气等因素起着重要的调节作用,提高土壤缓冲以及保肥、保水能力,是评估地力的重要指标。如图 1 所示,吴中区土壤样品的有机质平均含量为 22.30 g/kg,分布在 6.90 ~ 49.17 g/kg 之间,变异系数为 42%。

各行政镇间土壤有机质含量差异较大。其中,车坊镇、角直镇及横泾街道土壤有机质含量平均值超过 20 g/kg,金庭镇则不足 15 g/kg。土壤有机质含量达到 I 和 II 级的样品数量占总采样样本的 42%,IV 级和 V 级的占 44%(表 1)。

氮素作为作物生长最为重要的营养元素,主要来源于土壤和肥料的供给。虽然土壤中氮形态多变,但土壤氮库容量反映了土壤的供养能力,是衡量土壤地力的重要指标。如图 1 所示,本次所取土壤样品总氮平均含量 1.33 g/kg,分布在 0.49 ~ 2.65 g/kg 之间,变异系数为 39%。本研究涉及行政镇中总氮平均值均低于 2 g/kg,其中车坊镇、角直镇及横泾街道土壤有机质含量平均值超过 1.5 g/kg,金庭镇则不足 1 g/kg。土壤总氮含量达到 I 级和 II 级的样本数量占总采样样本的 40%,IV 级和 V 级的占 52%(表 1)。土壤总氮基本和有机质含量趋势保持一致。

土壤 pH 值是土壤环境酸碱度的直接体现,它的高低影响土壤中微生物的种群、养分的转运与贮存以及大量元素形态间的转化过程。如图 1 所示,本次所取土壤样品平均 pH 值 6.07,分布在 4.89 ~ 7.87 之间,变异系数为 12%。行政镇间差异并不大,车坊镇及横泾街道土壤出现了一定程度的酸化。

2.1.2 土壤地力等级的划分 在土壤有机质、总氮及 pH 值分级的基础上,对每个样品对应等级进行赋分,并根据综合得分重新划分等级,实现土壤养分等级的综合评估。结果如图 2 所示,本次所取土壤样品中 76% 分布在 II 级和 III 级上,整体农田土壤养分状况良好。由行政镇区来看,多个镇区土壤地力等级跨度在 3 个以上,表明土壤地力空间差异较大。其中,车坊镇、角直镇、越溪街道及临湖镇均发现少量 I 级较高地力土壤(共占 7%),角直镇、胥口镇和金庭镇则存在少量 IV 级低地力土壤。

### 2.2 现有氮肥投入现状

本次研究发现,生产者对肥期肥料施用量均有详细记录,但生产者习惯性在打药除草时不定期增加肥料量,却并不把这部分肥料记录在案(表 2 部分数据可能存在偏低现象),存在一定盲目性。其次,由于生产者对当前农田土壤地力情况不了解,对肥料种类的选择较为随意,对不同肥料所对应的氮投入情况并不清楚。如,施用有机肥的农户并未考虑有机肥本身氮含量较低的情况,仅自我判定投入量已经近千斤了;而施用全化肥(尿素或配方肥)的生产者则从量上认为自己的肥料投入量是不够的,时常进行不定期补用。在管理大力提倡减投减排的大环境下,部分以高产为目的的生产者与管理

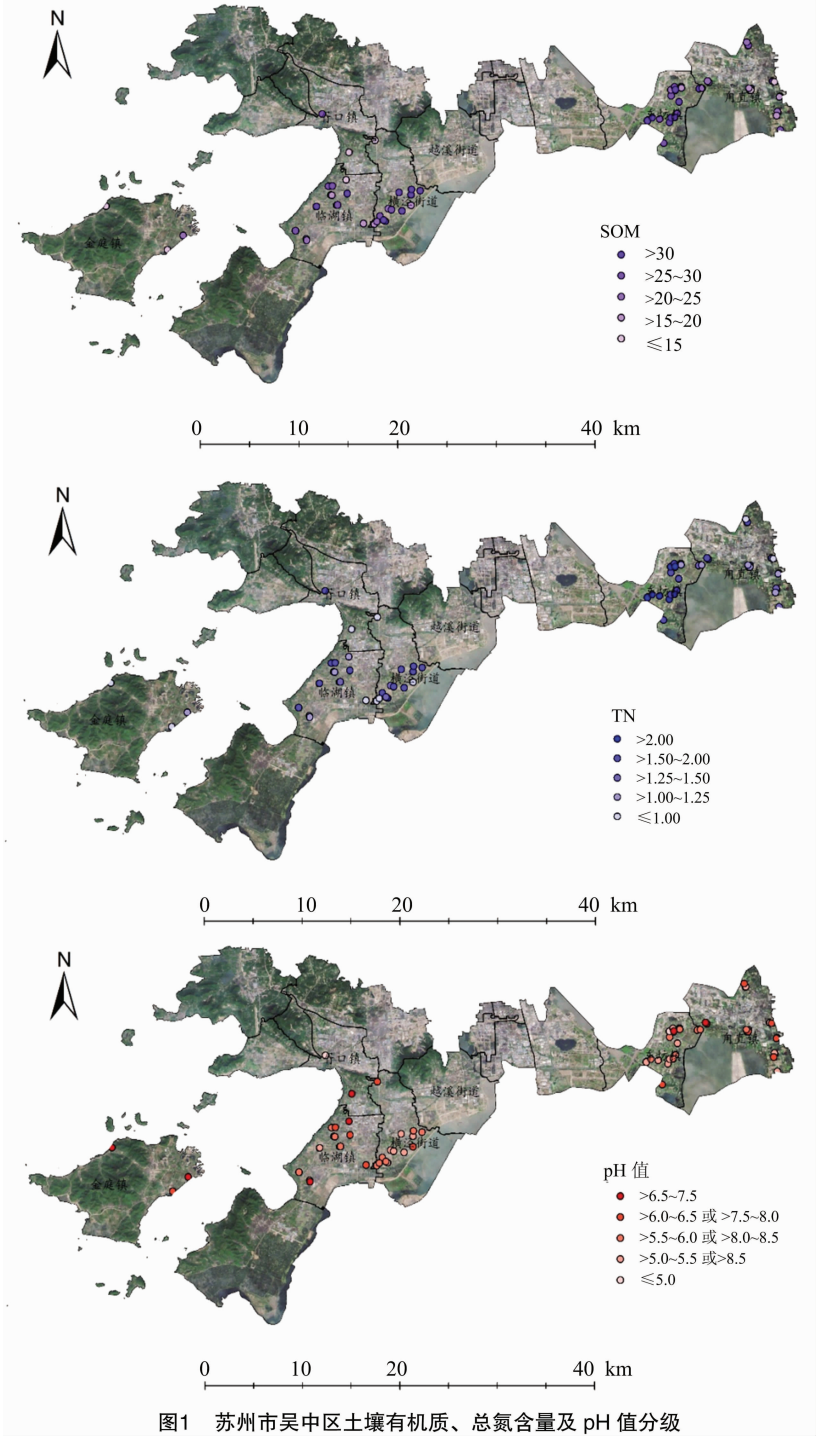


图1 苏州市吴中区土壤有机质、总氮含量及 pH 值分级

表 1 土壤地力等级划分的区间及样品占比

等级	赋分	有机质含量		总氮含量		pH 值	
		分级标准(g/kg)	样品占比(%)	分级标准(g/kg)	样品占比(%)	分级标准	样品占比(%)
I	5	> 30	23	> 2	11	> 6.5 ~ 7.5	22
II	4	> 25 ~ 30	19	> 1.5 ~ 2	29	> 6.0 ~ 6.5 或 > 7.5 ~ 8.0	22
III	3	> 20 ~ 25	14	> 1.25 ~ 1.5	9	> 5.5 ~ 6.0 或 > 8.0 ~ 8.5	33
IV	2	> 15 ~ 20	18	> 1 ~ 1.25	13	> 5 ~ 5.5 或 > 8.5	21
V	1	≤ 15	26	≤ 1	38	≤ 5	2

部门在肥料施用问题上存在矛盾,全区在肥料投入管理方面尚存很大改善空间。

2.3 产量及植株养分利用情况

2.3.1 产量及氮肥利用效率 水稻产量与当季肥料投入情

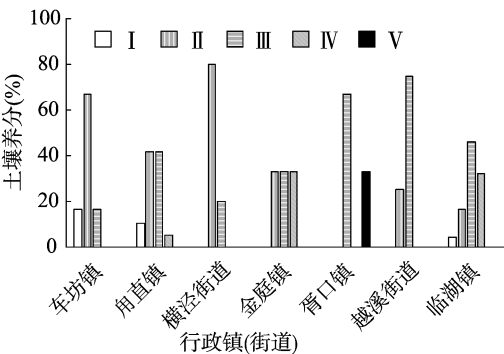


图2 各行政镇土壤养分分级比例

况无显著关系(数据未展现),但与地力情况密切相关,高地力条件更容易产生较高的水稻产量。如表 3 所示,I 级地力条件下的平均产量较 II、III 级提高了 10% 以上。临湖镇、横泾街道以及车坊镇的无氮处理数据分别体现了低地力(临湖镇)、中地力(横泾街道)以及高地力(车坊镇)条件下的基础地力产量,数值分别为 2.85、3.35、3.90 t/hm<sup>2</sup>。可见地力情况对产量起到了决定性作用。另一方面,植株样品地上部分对当季氮肥的利用效率在 42% ~ 54% 区间,且 I 级地力条件下的当季氮肥利用率最低,IV 级地力条件下其次(表 3)。

2.3.2 产量吸收关系 单位产量氮肥投入量随着地力的降低而降低,说明氮肥投入在地力低时较地力高对产量的促进

表 2 采样区氮投入情况一览

镇 (街道)	采样点	肥料投入情况	氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )
车坊镇	1	南粳 46;配方肥 450 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 337.5 kg/hm <sup>2</sup>	227
	2	武运粳;配方肥 450 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 412.5 kg/hm <sup>2</sup>	262
角直镇	1	澄东村:有机无机肥 1 500 kg/hm <sup>2</sup>	180
	2	其他村:配方化肥 525 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 375 kg/hm <sup>2</sup>	256
横泾街道	1	有机无机复混肥 1 500 kg/hm <sup>2</sup>	180
	2	新泾村 7 500 kg/hm <sup>2</sup> 羊粪;配方化肥 225 kg/hm <sup>2</sup>	88
金庭镇		配方化肥 525 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 150 kg/hm <sup>2</sup>	153
胥口镇	1	有机无机肥 1 500 kg/hm <sup>2</sup>	180
	2	配方化肥 525 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 150 kg/hm <sup>2</sup>	153
	3	新峰村配方化肥 525 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 375 kg/hm <sup>2</sup>	256
	4	合丰村配方化肥 600 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 375 kg/hm <sup>2</sup>	268
越溪街道		配方化肥 525 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 150 kg/hm <sup>2</sup>	153
临湖镇	1	农业园配方化肥 520 kg/hm <sup>2</sup> ;控释尿素 225 kg/hm <sup>2</sup> ;尿素 112.5 kg/hm <sup>2</sup>	227
	2	有机无机肥 1 500 kg/hm <sup>2</sup>	180

注:有机无机肥 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 12%、0.3%;尿素 N 含量为 46%;配方化肥 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 16%、12%、17%;控释尿素 N 含量为 46%;羊粪 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 0.7%、0.5%、0.4%。

表 3 不同地力条件下平均产量及当季氮肥利用效率

土壤 地力分级	产量		当季氮肥利用效率	
	均值(t/hm <sup>2</sup> )	变异系数(%)	均值(%)	变异系数(%)
I	6.37	8.78	41.74	5.14
II	5.82	13.30	54.53	10.17
III	5.65	11.72	51.01	11.03
IV	3.53	0	46.61	0

作用更显著(图 3)。另一方面,单位产量作物氮吸收量数值虽然也有随着地力降低而降低的趋势,但总体相对稳定,这与本次所取水稻样品 80% 以上为同一品种有关。

2.4 适宜氮肥投入量的估算

调查显示,吴中区现有水稻肥料种类主要有纯化肥、有机无机复混肥以及纯有机肥 3 种。

2.4.1 生产目标、肥料种类及对应推荐产量范围的确定 根据不同肥料种类对土壤地力以及养分有效性贡献的不同。在现阶段调查结果基础上,3 年内,推荐高地力区域以高产为主要目标兼顾养分减投,以纯化肥和有机无机复混肥为主要肥料种类;中地力区则以稳产为主要目标兼顾养分减投和土壤培肥,3 种肥料种类均可选用;低地力区更为强调培肥土壤和稳产,推荐有机无机复混肥和纯有机肥交替施用的方式。各肥料种类及生产目标下推荐产量范围如表 4 所示。

2.4.2 基于推荐产量对应适宜氮肥投入量的估算 在确定

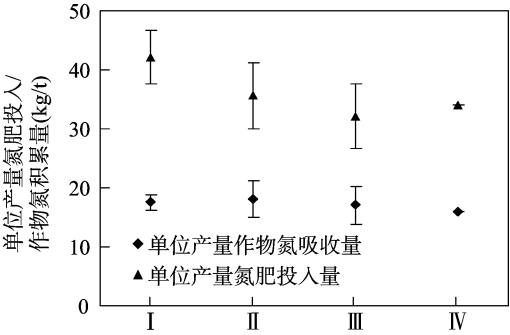


图3 不同地力条件下氮素吸收与产量的关系

地力、肥料种类的条件下,以高/稳产及减排 2 个目的为落脚点,分别计算其适宜氮肥投入量范围。结果如表 5 所示,高地力条件下,考虑到肥料种类中速效成分的损失差异,有机无机复混肥的氮投入量可以较低于纯化肥形式;中地力条件下,纯化肥及有机无机复混肥的推荐施肥范围与高地力条件下相同,而纯有机肥模式下,由于肥料当季有效性较低,推荐适当提高氮肥投入量;低地力条件下,则主要以培肥土壤为主要目的。

3 讨论与结论

吴中区稻田土壤普遍存在土壤有机质和总氮含量较低的

表 4 不同地力条件下的推荐肥料种类、生产目标及其对应产量范围

地力条件	肥料种类	产量目标	环境目标	推荐产量范围 (t/hm <sup>2</sup> )
高地力(Ⅰ&Ⅱ地力等级)	纯化肥	高产	减投	8.25~9.00
	有机无机复混肥	高产	减投+培肥	7.50~9.00
中地力Ⅲ等级	纯化肥	稳产	减投+培肥	6.75~8.25
	有机无机复混肥	稳产	减投+培肥	6.75~8.25
	纯有机肥	有机米	培肥	6.00~7.50
低地力(Ⅳ&Ⅴ地力等级)	有机无机复混肥	稳产	培肥	6.00~7.50
	纯有机肥	有机米	培肥	5.25~6.00

表 5 不同地力及肥料种类条件下的推荐氮肥投入量

地力情况	地力产量 [t/(hm <sup>2</sup> ·季)]	单位产量氮吸收量 (kg/t)	肥料种类	肥料氮利用效率 (%)	推荐施氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )
高地力(Ⅰ&Ⅱ等级)	3.7~4.2	16~18	纯化肥	40~50	160~240
			有机无机复混肥	45~55	140~210
中地力(Ⅲ等级)	3.2~3.7	16~18	纯化肥	40~50	130~230
			有机无机复混肥	45~55	130~200
			纯有机肥	35~45	150~220
低地力(Ⅳ&Ⅴ等级)	2.7~3.2	16~18	有机无机复混肥	45~55	130~200
			纯有机肥	35~45	140~210

注:“地力产量”数据来源于低地力(临湖镇)、中地力(横泾街道)以及高地力(车坊镇)无氮处理的相关数据。

现象,部分土壤已呈现酸化趋势。稻田作为淹水厌氧体系,理论上氮肥投入对土壤酸化的推动作用不如旱地显著<sup>[9-10]</sup>。然而,不少耕作时间较长的老田不仅土壤有机质和总氮含量较低,土壤也同时呈现弱酸化现象,这说明此前的耕作带来了土壤养分的亏空,很可能伴随着养分的不适宜投放<sup>[11]</sup>。研究发现,多数生产者在每次打药除草时,会再次添加尿素用于养分补给。然而,补给养分后的水分管理却较为粗放。这一过程不仅带来了大量氮肥发生流失,更使得土壤中盐基离子易随水流失<sup>[10]</sup>,土壤团聚体结构发生破坏<sup>[12]</sup>。前期也有研究报道长期施化肥易导致土壤地力呈下降趋势<sup>[13]</sup>。近年吴中区通过填塘等行为恢复出一部分稻田,然而这些稻田耕作层土壤多来自于荒地的外运土,土壤有机质和总氮含量自然不高。因此,边生产边进行土壤培肥,显得十分重要。

近年来政府大力推广的秸秆还田及有机无机肥配施<sup>[14-15]</sup>能够较好地满足生产培肥两手抓的目的。研究数据显示,作物地上对当季化肥氮的吸收利用比例在 42%~54% 之间,而秸秆的持氮量占到近一半,若有效实施全量秸秆还田,可进一步归还当季 18%~27% 的氮肥回到土壤。虽然还田秸秆中的养分并非作物直接吸收利用的速效形态,但却为农业耕作的持续发展提供了“藏粮于地”的物料基础<sup>[16]</sup>。

研究发现土壤地力较当季氮肥投入对产量的影响更为显著,与前人研究结果一致。李锐发现基础地力对水稻的有效穗数量影响最大,而基础地力较高的田块往往分蘖数较多<sup>[17]</sup>。虽然合理有效的栽培措施能够减少地力差异带来的产量差异,但高地力耕地始终具有较高的产量潜力。基础地力可以通过影响水稻氮肥利用效率影响着水稻产量。研究Ⅰ级地力等级土壤的氮肥利用效率并不高,而土壤处于Ⅱ和Ⅲ地力等级稻田的氮肥利用效率均超过了 50%。此前研究认为,高地力条件下如氮肥投入量过高,植株易发生奢侈吸收<sup>[17-18]</sup>,本研究采样中确实也存在高地力区的水稻倒伏现

象。中高地力及中地力条件下较高的氮肥利用效率则说明,适宜氮肥投入量能够有效提高肥料利用效率,而土壤地力条件是寻找适宜氮肥投入量的前提条件。

本研究以当年土壤和植株数据作为测算依据,仅选取原有田间试验中的空白处理,利用当年数据对各斑块土壤地力水平进行初步划分,并将肥料种类作为决定推荐产量的亚级条件,兼顾吴中区的“两减”任务,根据生产目标的不同(产量目标和环境目标)设置推荐产量区间范围,使得估算过程对试验处理依赖较小(仅需空白处理相关数据),而估算结果更具可靠性,使用更为简易。当然,对氮肥投入量的估算并不是一劳永逸的事,是一个需要不断监测动态调整的过程,单次估算,仅能作为 3 年内的参考,仍需长期不断的定向监测,及时掌握各斑块土壤地力的演变趋势,从而对适宜氮肥投入量进行调整,确保农业生产的可持续性。

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.

[2] 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.

[3] 刘红江,郭智,郑建初,等. 太湖地区氮肥减量对水稻产量和氮素流失的影响[J]. 生态学报,2017,36(3):713-718.

[4] 俞映琼,薛利红,杨林章. 太湖地区稻麦轮作系统不同氮肥管理模式对麦季氮素利用与流失的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2011,30(12):2475-2482.

[5] 杨林章,施卫明,薛利红,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):1-8.

[6] 刘艳飞. 基于测土配方施肥试验的肥料效应与最佳施肥量研究[D]. 武汉:华中农业大学,2008.

[7] 黎杰清,李畅炎,韦赛仙,等. 测土配方施肥技术在水稻上的应用

张 策,赵玉玲,程东娟,等. 土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水盐运移分布的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):261–264.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.07.062

# 土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水盐运移分布的影响

张 策<sup>1</sup>, 赵玉玲<sup>2</sup>, 程东娟<sup>1</sup>, 王丽玄<sup>1</sup>, 刘 亮<sup>1</sup>

(1. 河北工程大学水电学院, 河北邯郸 056021; 2. 河北工程大学矿测学院, 河北邯郸 056038)

**摘要:**进行室内盐碱土膜孔沟灌与沟灌水分入渗试验,总结土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水盐运移分布的影响及灌水方法对土壤水盐运移分布的影响。结果发现,相同入渗时间下,土壤容重越大,盐碱土膜孔沟灌累积入渗量越小,且累积入渗量与入渗时间符合幂函数关系;相同入渗时间下,水平、垂直湿润锋运移距离均随土壤容重的增大而减小,与时间之间表现出良好的幂函数关系;随着距灌水沟沟底膜孔中心距离的增加,土壤含水量减小,土壤含盐量增加;灌水时间一定时,土壤容重越大,盐分淋洗区越小;相同灌水量条件下,膜孔沟灌入渗时间比沟灌长,湿润锋运移距离大,湿润区内相同位置处,膜孔沟灌含盐量小于沟灌,试验结束时,膜孔沟灌的脱盐效果比沟灌好。

**关键词:**土壤容重;膜孔沟灌;盐碱土;水盐运移

**中图分类号:** S275.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)07–0261–04

土壤盐碱化已经日渐成为限制我国乃至全世界范围内农业可持续发展的问题之一<sup>[1]</sup>。我国盐碱地面积约有 3 700 万 hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>,目前有待开发使用的盐碱地约有 80%,有很大的发展潜能<sup>[3–4]</sup>。膜孔灌溉技术是一种通过地膜输送水,利用灌水孔和作物孔实施灌溉的新型节水灌溉技术<sup>[5]</sup>,而膜孔沟灌是膜孔灌溉技术的一种灌溉方式。在干旱地区,淡水资源短缺,盐碱地改良措施逐渐向节水新型灌溉技术发展。目前,国内学者在盐碱土膜下滴灌方面的研究表明,膜下滴灌对盐碱土有一定的淋洗作用<sup>[6–9]</sup>。但是,目前对膜孔沟灌的研究较少,而土壤容重对土壤水分入渗影响很大<sup>[10]</sup>,因此本

试验主要探究土壤容重对盐碱土膜孔沟灌土壤水盐运移分布的影响,并通过对比沟灌来研究膜孔沟灌对盐碱地改良的影响,以期对膜孔沟灌在盐碱土改良中的推广应用提供一定根据。

## 1 材料与方法

为了探究土壤容重对盐碱土膜孔沟灌和不同灌水方法下土壤水盐运移分布的影响,笔者于 2017 年 3 月 1 日至 5 月 1 日,在河北工程大学农业水土精准实验室内进行同容重下沟灌与膜孔沟灌水分入渗试验,不同容重下盐碱土膜孔沟灌水分入渗试验,膜孔沟灌、沟灌入渗试验装置如图 1 所示。

试验土箱尺寸为 15 cm × 20 cm × 30 cm。土样为粉质壤土,初始含盐量为 3.75%。试验采用横截面为 5 cm × 6 cm 的马氏瓶供水,恒定水头高度为 6 cm。将土样风干、粉碎、过 2 mm 筛,按照预设的土壤初始含水量(8%)进行配土,依据设计按照土壤容重为 1.30、1.35、1.40 g/cm<sup>3</sup> 分别称取 5 cm 试验土箱高度所对应的土壤质量,装入土箱,压实,使土箱内厚度为 5 cm,压实后的土壤表面用铲子刮毛,以保证层间结合良好。如此往复,依次分层装入土箱。

沟灌和膜孔沟灌横断面均为梯形,根据试验的对称性,对 1/2 垄沟进行研究。进行膜孔沟灌试验时,使用 1/4 膜孔进

收稿日期:2017–11–10

基金项目:河北省自然科学基金(编号:E2016402169);国家重点研发计划(编号:2017YFD0300905–04);设施蔬菜水肥菌时空施用阈值及改良土壤技术研究(编号:17226914D);邯郸市科学技术研究与发展计划资助项目(编号:1723209055–2,1721203048–2)。  
作者简介:张 策(1991–),女,河北衡水人,硕士研究生,主要从事节水灌溉原理与技术、土壤环境研究。E-mail:1325411917@qq.com。

通信作者:赵玉玲,硕士,副教授,硕士生导师,主要从事摄影测量与遥感、形变灾害监测、工程测量研究。E-mail:zhaoyuling@hebeu.edu.cn。

效果[J]. 广西农学报,2008,23(4):9–11.

[8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000:309–311.

[9] 周晓阳,周世伟,徐明岗,等. 中国南方水稻土酸化演变特征及影响因素[J]. 中国农业科学,2015,48(23):4811–4817.

[10] Barak P, Jobe B O, Krueger A R, et al. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin[J]. Plant and Soil, 1997, 197(1):61–69.

[11] 刘 永,成少华,李 晴,等. 滨海县耕地质量现状及肥力变化趋势分析[J]. 现代农业科技,2010(21):309–309.

[12] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415–421.

[13] 李忠芳,张水清,李 慧,等. 长期施肥下我国水稻土基础地力变化趋势[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1394–1402.

[14] 侯朋福,薛利祥,俞映惊,等. 稻田径流易发期不同类型肥料的氮素流失风险[J]. 农业环境科学学报,2017,36(7):1353–1361.

[15] 李贵树,赵紫娟,黄元仿,等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):162–167.

[16] 周小萍,陈百明,张添丁. 中国“藏粮于地”粮食生产能力评估[J]. 经济地理,2008,28(3):475–478.

[17] 李 锐. 不同基础地力对水稻产量和肥料利用效率的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2011.

[18] 谢金学,吴金书,谭和芳,等. 氮磷钾配合施肥对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2008(5):258–260.