

# 水稻因土质施肥方法探讨

叶昌 黄秀 褚光 徐春梅 陈松 章秀福 王丹英\*

(中国水稻研究所/水稻生物学国家重点实验室, 杭州 311400; \*通讯作者: wangdanying@caas.cn)

**摘 要:**土壤质地是土壤的基本物理性质之一, 反应土壤中不同大小直径成土颗粒的组成状况。不同质地土壤间养分含量、蓄水导水、保肥供肥、保温导热、耕性、微生物种类及其活动等性能的差异, 影响肥料的固定、转化、吸收和流失, 并影响作物的产量形成, 进而形成区域性的肥料利用效率的差异。水稻肥料利用状况的改善一直是研究热点, 但土壤质地对肥料利用和水稻生长的影响研究相对较少。本文简要介绍了不同质地土壤的养分状况和理化性质差异, 分析了土壤质地对作物生长发育的影响; 并在简要评价测土配方施肥技术的基础上, 初步探讨了不同土质土壤的肥料高效施用方法。

**关键词:**土壤质地; 土壤肥力; 作物生长差异; 施肥方法

**中图分类号:**S511.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2020)01-0011-05

土壤是作物生长的基础, 既为作物的形态建成提供支撑, 又为作物生长发育供给养分。依据直径可将土壤颗粒划分为石砾、砂粒、粉粒、粘粒等不同的粒级。土壤质地是各个粒级成土颗粒的质量分数, 反映了土壤的机械组成, 是土壤物理性质之一。土壤质地分类标准有国际制、美国制、卡庆斯基制(前苏联制)和中国制等。目前, 我国研究学者在土壤质地相关研究中多以美国制为标准。美国制的质地分类标准用等边三角形(图1)将土壤分为砂土、壤土、粘壤土和粘土4组, 其下又分12级类<sup>[1-2]</sup>。图1中3个顶点分别代表100%的砂粒(0.05~2 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)及粘粒(<0.002 mm)。

## 1 土壤质地与土壤肥力的关系

土壤肥力是土壤为植物生长供应和协调养分、水分、空气和热量的能力, 也是土壤物理、化学和生物学性质的综合反应。土壤质地对土壤养分含量、蓄水导水、保肥供肥、保温导热、耕性、微生物种类及其活动等性能起着重要的影响<sup>[3]</sup>。

土壤质地对土壤物理属性的影响主要表现在土壤通气性、入渗特性、吸水和持水能力, 以及导热和保温性上。1)土壤通气性: 与土壤中大孔隙的数量、比例和含水量有关<sup>[4]</sup>。在不同质地的土壤类型中, 砂土的大孔隙数量最多。陈家军等<sup>[5]</sup>对不同粒径的砂土进行模拟土柱导气实验表明, 粒径越大导气系数越大。但朱敏等<sup>[6]</sup>却认为, 壤土由于具有较多的团粒结构, 导气能力高于砂质壤土。2)土壤入渗性: 从砂土、壤土到粘土, 随着土壤成土颗粒粒径的减小, 土壤孔隙减少, 水分的渗入速

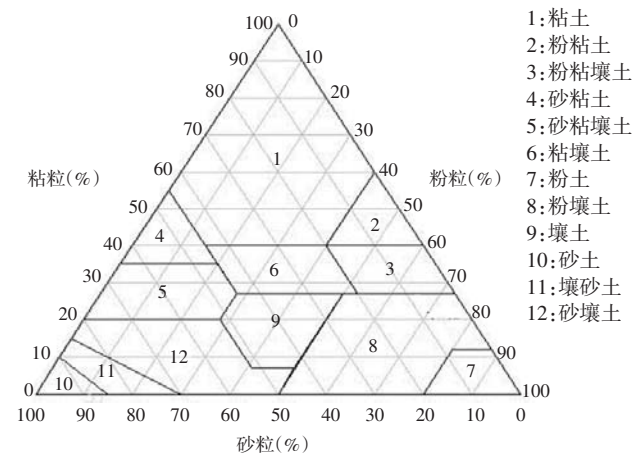


图1 美国制土壤质地分类三角坐标图

度逐渐变缓, 饱和入渗时长增加, 田间持水量递增<sup>[7]</sup>。3)土壤导热和保温性: 土壤质地越粗, 土壤孔隙度越高, 导热率越大, 且随水分含量变化的幅度也越大<sup>[8]</sup>, 而质地较轻的土壤热量传递速度较慢<sup>[9]</sup>。正是因为砂土导热率较大, 土壤昼夜温差较大, 而粘土土温则变化缓慢, 昼夜温差较小。在农业生产上, 农民习惯将砂土与粘土分别称为“热性土”和“冷性土”。

不同质地土壤的养分含量存在很大差异。首先, 不同粒径土壤颗粒的主要矿物类型不同。粒径较粗的砂粒与粉粒以稳定性较强原生矿物为主, 多为石英与原生硅酸盐矿物, 富含的常量元素与微量元素需经风化

收稿日期: 2019-10-09

**基金项目:**国家重点研发计划课题(2016YFD0300108); 国家自然科学基金项目(31671630)

作用释放后才能供植物吸收利用;而粘粒中则以颗粒较细的次生矿物为主<sup>[9]</sup>,主要是简单盐、次生氧化物与次生铝硅酸盐,其矿质元素更利于植物吸收利用。其次,土壤次生矿物具有一定的胶体特性,对土壤养分具有一定的吸附能力。由于壤质土壤中具有胶体吸附性的粘粒含量相对较高,其对于营养元素的吸附速率与饱和点都远高于砂质土壤<sup>[10]</sup>。此外,不同质地土壤由于吸附性、通透性和保温保水等物理性质的差异,又导致有机和无机肥料在土壤中固定、转化和流失的差异。土壤粘粒之间通透性较差,有利于土壤水、肥、热的储积,且粘粒有利于土壤微团聚体的形成,能有效地固定有机质<sup>[11]</sup>,通常土壤有机质含量随质地粘重程度增加而增加<sup>[12]</sup>。研究表明,土壤氮素有95%以上存在于有机物质中<sup>[13]</sup>,同时,由于砂性土壤的硝化作用及硝态氮的运移深度远大于粘质土壤<sup>[14]</sup>,更易形成氮的淋失,砂性土壤的碱解氮和全氮含量极显著低于其他质地土壤<sup>[15]</sup>。

不同质地的土壤会直接或间接影响土壤中微生物的数量和酶活性<sup>[16]</sup>。研究表明,土壤微生物数量和活性与土壤粘粒含量具有相关性<sup>[17]</sup>,粘粒含量较高的土壤水分含量相对稳定,土壤有机质含量相对较高且保存完整,故粘粒含量较高的土壤中微生物的数量及活性也相对较高<sup>[18]</sup>。土壤中的酶主要来源于植物根系分泌物与微生物<sup>[19]</sup>。研究表明,粘粒含量较高的土壤的磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性相对较高<sup>[17]</sup>。李潮海等<sup>[19]</sup>研究发现,在不同质地的土壤中玉米根际的酶活性,在播种前期脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶及转化酶的活性都呈现出重壤>中壤>砂壤的趋势;而在玉米的关键生育期各种酶活性发生变化,表现为中壤>重壤>砂壤。

## 2 土壤质地对作物生长和产量形成的影响

土壤是植物根系生长的直接环境,其养分状况和理化性质都会对作物的生长发育产生影响<sup>[20]</sup>。首先土壤空气不仅提供作物根系生长发育时呼吸所需的氧气,也间接影响着植物根际土壤中的氧化还原作用和微生物的种群及活性等变化<sup>[21]</sup>。土壤微生物能不仅直接参与土壤有机质分解、氮素转化等养分循环和土壤结构的维持,而且能够对植物的生长发育进行调节,并抑制病害微生物的生长<sup>[22-23]</sup>。其次,土壤机械阻力能够影响作物的根系生长。砂粒含量较多的土壤,土壤孔隙度大,作物根系生长的机械阻力较小,根系发育更快,在前期生长迅速,根系在土壤中分布更为广泛,但由于沙质土壤的保肥能力相对较差,在生育后期根系缺乏

充足的营养供给,根系衰减速度也快,进而导致植株早衰;而在粘度较大的粘质土中,根系生长缓慢,根系在穿过土壤颗粒较小的轻粘土时所遇到的阻力较大,下扎难度更大,导致根系分布土层较浅,根系直径和弯曲度更大<sup>[24]</sup>。马革新<sup>[25]</sup>对不同质地滴灌棉花根系生长状况进行了研究,结果表明,在生育前期棉花根长密度在沙土中最大,但在生育后期的下降势显著大于壤土和粘土。相关研究表明,土壤氧的扩散、非毛管孔隙与植物产量呈线性正相关<sup>[26]</sup>。王忠孝<sup>[27]</sup>的研究结果也表明,在较高的施肥水平下,土壤氧气状况是土壤生长发育和产量形成的主要限制因子。

目前在小麦、玉米和烟草上开展的土壤质地与作物生长发育的相关研究表明,壤质土最有利于小麦产量的形成<sup>[28]</sup>,在中壤与重壤上具有更高的产量<sup>[29-30]</sup>。壤质土壤具有良好的水气状况,土温相对稳定,基础肥力水平较高,有利于作物苗期的生长和分蘖的发生,且土壤肥力持久,分蘖生长的所需营养供给相对充足,更利于小麦高产群体结构的形成。在灌浆后期,沙质土壤小麦叶面积指数与叶片光合速率下降迅速,叶片功能期和籽粒灌浆期相对较短,籽粒产量的形成主要依靠前期所积累的干物质的转运,而壤质土与粘质土在灌浆后期叶片衰老缓慢,后期持续的养分供给能够促进籽粒蛋白含量的合成与产量的积累<sup>[31]</sup>。研究表明,在一定范围内,小麦籽粒蛋白含量随土壤质地由砂变粘逐渐升高,但当质地过粘时蛋白含量又有所降低<sup>[32]</sup>。这主要是由于粘质土壤中的粘粒和微团聚体对肥料元素吸附能力和丰富的微生物对营养元素的转化能力较强,在作物灌浆期粘质土壤仍然能够持续的为作物提供所需的养分,有利于籽粒蛋白质的合成。但当土壤粘粒含量过高时,土壤透水性和透气性受到影响,土壤中微生物群落的正常生命活动受到抑制,不利于作物根系对养分的吸收,反而会导致籽粒蛋白质含量的降低。棉花在壤质土中具有较高的成铃数和铃重,籽棉和皮棉产量相对较高,砂壤土更有利于棉花根系的建成,较高的氮素利用能力更利于产量的形成<sup>[33]</sup>。在砂质土中棉花易出现早衰,导致中上部成铃数和铃重降低;而粘质土低温回升缓慢,水肥供应不及时,从而易导致下部果枝成铃数的降低<sup>[34]</sup>。烟叶是以叶片为收获产物,其产量与土壤中的粘粒呈极显著负相关,在砂质土下的产量和氮肥利用效率都显著高于其他类型土壤<sup>[35]</sup>。熊杰等<sup>[36]</sup>探究土壤质地对玉米产量的影响,发现产量表现为砂质粘壤土>砂质壤土>砂土。林超等<sup>[37]</sup>认为,这主要是由单穗

粒重和千粒重的变化引起。杨青华等<sup>[38]</sup>的研究也表明,粘重的土壤更利于玉米产量的形成。在水稻上,廖莉莉等<sup>[39]</sup>研究表明,沙土水稻的结实率随施肥水平的升高而升高,而粘土则呈现降低趋势;唐海明等<sup>[40]</sup>认为,在南方稻作区黄泥田的水稻产量最高;邱才飞等<sup>[41]</sup>认为,在江西省相较于红壤土,冲积土种植水稻具有更高的产量与氮肥利用效率。

### 3 土壤质地对作物养分吸收与利用的影响

土壤作为作物生长所需养分供应源之一,其氮素供应所占比例甚至能够高于肥料供应所占比例,可达到42.5%~74.7%<sup>[42]</sup>。水稻每季从土壤中吸收的N在热带地区为35~95 kg/hm<sup>2</sup>,温带为32~91 kg/hm<sup>2</sup><sup>[43]</sup>,在我国南方灌溉稻田,稻田土壤供氮量可达50~116 kg/(hm<sup>2</sup>·季),约0.6~0.9 kg/(hm<sup>2</sup>·d)<sup>[44]</sup>。研究表明,肥力较低的砂质土的基础产量远低于其他土壤,且沙质土到达最高产量所需的施氮量高于其他质地的土壤<sup>[45]</sup>。熊淑萍<sup>[28]</sup>针对不同土壤小麦氮肥利用效率研究指出,氮肥当季利用效率表现为壤土>粘土>沙土,而氮肥生理效率和氮收获指数则表现为沙土>壤土>粘土。罗新宁等<sup>[33]</sup>也得出相似结论,在砂壤土中棉花对氮素具有较高的吸收利用效率。砂质土壤中由于粘粒的缺乏,土壤微团聚体和大团聚体相对较少,不利于土壤对氮肥的吸收与固定,氮素更易淋溶损失,且不同土层氮素分布不均,进而导致砂质土壤的氮肥当季利用效率偏低<sup>[46]</sup>。在粘质土中毛管孔隙较少,灌溉水难以下渗,致使犁底层易形成上层滞水,不利于作物根系的生长,且由于粘质土壤的孔隙易被水所占据,好气性微生物的活动受到抑制更易影响作物根系的下扎<sup>[33]</sup>,而在砂质土壤与之相反,作物的根系能够下扎到更深的土层中,发达的根系结构导致砂质土壤的氮素生理利用效率高于粘质土壤。不同土壤质地也会对植株氮素积累和分配产生影响,小麦在壤土中氮素积累量和氮素再分配量最高,但在砂土中氮素的转运效率最高,花前氮素再分配对籽粒氮素的贡献率高达82.5%~95.8%<sup>[47]</sup>。

### 4 水稻因土质高效施肥方法的探讨

土壤既是作物赖以生存的基质,又是作物生长发育所需养分的主要来源。我国幅员辽阔,地形与气候条件复杂,土壤成土母质与形成过程的多元化,以及不同地域农民差异化的种植习惯,导致了我国土壤状态的多元化。不同土壤的养分含量、理化性质以及对作物生

长的影响各不相同,对于如何协调好作物、土壤和肥料三者的关系,提高水稻产量和肥料利用效率,我国科研工作者展开了大量研究,也提出了许多切实可行的方法,其中应用面积最广、影响最大的是测土配方施肥技术。

测土配方施肥以土壤养分含量测试和肥料田间试验为基础,根据土壤供肥性能、作物需肥规律和肥料效应,在合理施用有机肥的基础上,提出氮磷钾和中微量养分的适宜比例、用量以及相应的施用技术。其主要包含测土、配方和合理施肥三个部分。农业农村部2005年开始启动“测土配方施肥试点补贴资金项目”,2013年发布了由农业农村部测土配方施肥专家组以“大配方、小调整”为技术思路研究制定的《小麦、玉米、水稻3大粮食作物大配方与施肥建议(2013)》,提出了3大粮食作物的14大配方。该建议将我国水稻主产区分为5个大区,即东北单季稻区、长江流域单双季稻区、江南华南单双季稻区、西南高原山地单季稻区和其他稻区。根据大区内的气候条件、栽培条件和土壤条件进一步细分为9个亚区。在配方设计上,依据区域内土壤养分供应特征、作物需肥规律和肥效反应,结合“氮素总量控制、分期调控,磷肥衡量监控,钾肥肥效反应”的推荐施肥基本原则,提出了推荐配方和施肥建议(表1)。据统计,区域大配方对我国水稻种植面积的覆盖率达到98.6%,有效地降低了水稻生产的肥料用量,促进了节本增效。

然而,测土配方技术也存在明显的不足之处,除了众所周知的测土部分需要专业的技术人员及配套的设备、配方肥料的成本相对较高外,测土配方技术在测定土壤养分含量的基础上,强调和重视的是肥料配比和施用量,而忽视了不同质地土壤间施用方法的差异。即使在田间试验中,也只是通过采用单因素、二因素或多因素的多水平回归设计,求得产量与施肥量之间的肥料效应方程式,计算出经济施肥量的范围,并未考虑根据不同土壤对肥料的固定、转化的差异,而这对肥料的利用和流失的影响很大。

在实际生产活动中,砂质土壤作物易早生快发,但在生育后期易出现早衰的迹象。因此砂质土壤在生产过程中应该注重作物生育后期的养分补给,在化肥施用时应强调“少量多次”的施肥原则,且要施用淋溶性小的肥料。而粘质土土壤粘重,土壤保肥性能较强,土壤养分不易流失,施肥后肥效缓慢,故追肥的施用时期可以适当提前,氮肥施用量不宜过多,防止后期肥效



表 1 农业农村部推荐的水稻施肥配方<sup>[48]</sup>

产区	推荐配方 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)	目标产量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	配方肥用量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	分蘖肥尿素用量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	穗粒肥尿素用量 (kg/667 m <sup>2</sup> )
东北寒地单季稻区	13-19-13	450~700	18~29	5~8	3~4
东北吉辽内蒙古单季稻区	15-16-14	500~700	24~33	8~11	4~5
长江上游单季稻区	中低浓度:11-11-8	450~650	40~58	6~8	4~5
	高浓度:16-16-13	450~650	27~40	6~8	4~5
长江中游单双季稻区(早稻)	中低浓度:12-10-7	350~550	39~61	5~8	3~5
	高浓度:18-15-10	350~550	26~41	5~8	3~5
长江中游单双季稻区(中稻)	中低浓度:11-11-9	450~650	41~59	6~9	4~6
	高浓度:16-16-13	450~650	28~41	6~9	4~6
长江中游单双季稻区(晚稻)	中低浓度:12-9-9	400~600	40~60	6~9	4~6
	高浓度:19-13-13	400~600	28~42	5~8	3~5
长江下游单季稻区	中低浓度:12-10-7	500~700	46~65	13~18	6~8
	高浓度:19-15-11	500~700	31~43	12~17	6~8
江南华南单双季稻区(早稻)	19-13-13	350~550	24~38	5~8	3~5
江南华南单双季稻区(中稻)	17-14-14	450~650	28~40	6~9	4~6
江南华南单双季稻区(晚稻)	19-13-13	350~550	24~38	5~8	3~5
华南平原丘陵双季稻区(早稻)	2018-12-16	350~550	26~41	5~8	3~5
华南平原丘陵双季稻区(晚稻)	2018-12-16	350~550	26~41	5~8	3~5
西南高原山地单季稻区	17-13-15	400~600	26~39	6~8	4~6

过强而导致贪青晚熟。壤土是介于砂土与粘土之间的土壤质地类别,兼具了二者的优点,土壤具有良好的透水透气性,保水保肥能力也相对较强,是较为理想的耕作土壤质地类型。

一般认为,含 20%~30%粘粒的土壤适宜水稻的生长<sup>[49]</sup>,但其中又可分为沙壤、中壤和粘壤等类型,偏沙和偏粘的水稻土对肥料用量的需求不同,施肥方法也存在差异。因此,在测土配方确定肥料用量和肥料配比的基础上,若能根据水稻田的土壤质地,在施肥方法上给予指导和建议,必能进一步提高肥料利用效率,减少肥料的流失,促进水稻的增产增效。

综上所述,土壤质地不仅能够代表土壤的基础肥力,而且对作物的养分吸收、固定与转化利用也存在较大影响,提高水稻生产的肥料利用效率,促进水稻的增产增效,应综合考虑不同区域田块的肥料用量、肥料配比和施用方法。探讨不同质地土壤的肥料固定、转化和流失差异,研究水稻生产中依据稻田土壤质地的肥料高效施用方法,不仅对水稻的节本高效栽培具有重要意义,对于减少面源污染,培肥和改良土壤均具有重要意义。

参考文献

[1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:116-119.  
[2] 吴克宁,赵瑞. 土壤质地分类及其在我国应用探讨[J]. 土壤学报, 2018,56(1):227-241.  
[3] 方学良. 不同质地土壤特性与水稻生育的关系 [J]. 土壤肥料, 1985(5):5-8.  
[4] 王卫华,王全九,李淑芹. 长武地区土壤导气率及其与导水率的

关系[J]. 农业工程学报,2009,25(11):120-127.  
[5] 陈家军,聂永丰. 用于填埋场释放气体运移数学模拟的土柱导气实验研究[J]. 环境科学学报,2000,20(1):59-63.  
[6] 朱敏,张振华,潘英华,等. 土壤质地及容重和含水率对其导气率影响的实验研究[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(2):116-121.  
[7] 钟诚,张军保,韩晓明,等. 不同土壤质地田间持水量实验成果分析[J]. 东北水利水电, 2014,32(5):65-67.  
[8] 李毅,邵明安,王文焰,等. 质地对土壤热性质的影响研究[J]. 农业工程学报,2003,19(4):62-65.  
[9] 刘学录. 秦川盆地土壤粘土矿物特征与土壤质地的关系[J]. 甘肃农业大学学报,2002,37(4):477-480.  
[10] 李林,武术兰,王震. 钾在不同质地土壤中的吸附-解吸特性研究 [J]. 农业科技通讯,2017(9):154-157.  
[11] MÜLLER T, HÖPER H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications [J]. *Soil Biol Biochem*, 2004, 36(6): 877-888.  
[12] 陈瑞鸽,梅成刚,邢晓丽,等. 中牟县土壤质地、有机质、全氮三者关系[J]. 河南农业,2016(27):52.  
[13] TIESSEN H, STEWART J W B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1983, 47(3). DOI: 10.2136/sssaj1983.03615995004700030023x  
[14] 同延安,石维,吕殿青,等. 陕西三种类型土壤剖面硝酸盐累积、分布与土壤质地的关系 [J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4): 435.  
[15] 唐莲,欧阳平,冯文颖,等. 川南地区土壤氮素的空间分布特征及影响因素分析[J]. 四川农业科技,2018(2):45-49.  
[16] FREITAS P L D, ZOBEL R W, SYNDER V A. Corn root growth in soil columns with artificially constructed aggregates [J]. *Crop Sci*, 1999, 39(3): 725-730.  
[17] 戴华鑫,陈丽燕,陈彦春,等. 豫中南烟区不同质地土壤理化性

- 质、酶活性及微生物群落分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(9): 7-14.
- [18] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 513-519.
- [19] 李潮海, 王小星, 王群, 等. 不同质地土壤玉米根际生物活性研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 412-418.
- [20] UNGER P W, KASPAR T C. Soil compaction and root growth: a review[J]. *Agron J*, 1994, 86(5): 759-766.
- [21] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 186-198.
- [22] CARDINALE B J, SRIVASTAVA D S, DUFFY J E, et al. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems[J]. *Nature*, 2006, 443(7114): 989-992.
- [23] 施彩仙. 免耕与翻耕直播对土壤特性及水稻生长的影响[J]. 土壤肥料, 1999(5): 8-10.
- [24] 李潮海, 李胜利, 王群, 等. 不同质地土壤对玉米根系生长动态的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1334-1340.
- [25] 马革新. 施氮对不同质地滴灌棉花根系生长和氮素利用的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2017.
- [26] DOYLE J J, MACLEAN A A. The effect of soil aggregate size on availability of oxygen and on growth of tomatoes [J]. *Can J Soil Sci*, 1958, 38(2): 145-148.
- [27] 王忠孝. 山东玉米[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [28] 熊淑萍, 张娟娟, 杨阳, 等. 不同冬小麦品种在3种质地土壤中氮代谢特征及利用效率分析[J]. 植物生态学报, 2013, 37(7): 601-610.
- [29] 曹宏鑫, 王世敬, 戴晓华. 土壤基础肥力和肥水运筹对春小麦产量和品质及植株氮素状况的影响 [J]. 麦类作物学报, 2003, 23(2): 52-56.
- [30] 介晓磊, 韩燕来, 谭金芳, 等. 不同肥力和土壤质地条件下麦田氮肥利用率的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 884-888.
- [31] 李潮海, 卢道文, 侯松, 等. 三种质地土壤冬小麦生长后期的生理特性[J]. 华北农学报, 1996, 11(4): 74-79.
- [32] 王绍中. 小麦品质生态与区划研究[J]. 河南农业科学, 1995(10): 4-6.
- [33] 罗新宁, 陈冰, 张巨松, 等. 氮肥对不同质地土壤棉花生物量与氮素积累的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 160-166.
- [34] 宋继辉, 胡守林, 万素梅. 不同类型土壤棉花产量构成因素及棉铃空间分布研究[J]. 中国棉花, 2009, 36(3): 17-19.
- [35] 朱佩, 张继光, 薛琳, 等. 不同质地土壤上烤烟氮素积累、分配及利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 362-370.
- [36] 熊杰, 隋鹏, 石彦琴, 等. 土壤质地对玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(1): 128-131.
- [37] 林超. 基于玉米产量的土壤质地研究 [J]. 中国农业信息, 2012(21): 93.
- [38] 杨青华, 黄勇, 马二培, 等. 不同质地土壤对高油玉米子粒灌浆特性及产量的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 71-74.
- [39] 廖莉莉, 陈学先. 不同土壤类型施肥水平对优质常规稻穗粒结构及产量的影响[J]. 广西农学报, 2017, 32(4): 4-7.
- [40] 唐海明, 汤文光, 肖小平. 双季稻区6种不同稻田土壤类型对晚稻产量及稻米品质的影响 [J]. 农业现代化研究, 2012, 33(5): 628-631.
- [41] 邱才飞, 彭春瑞, 邵彩虹, 等. 不同双季稻品种在江西2种土壤类型稻田的产量及氮、磷肥效应研究 [J]. 杂交水稻, 2017, 32(2): 60-66.
- [42] 侯云鹏, 韩立国, 孔丽丽, 等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 836-845.
- [43] HAEFELE S M, WOPEREIS M C S, NDIAYE M K, et al. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa [J]. *Field Crop Res*, 2003, 80(1): 19-32.
- [44] JING Q, BOUMAN B A M, HENGSDIJK H, et al. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China[J]. *Euro J Agron*, 2007, 26: 166-177.
- [45] 杨阳. 不同土壤质地冬小麦品种氮代谢特征及利用效率研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [46] 刘健. 三种质地土壤氮素淋溶规律研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [47] 张泽, 马革新, 海兴岩, 等. 氮肥和土壤质地对滴灌棉花根系分布及产量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3): 622-627.
- [48] 农业农村部办公厅关于印发《小麦、玉米、水稻三大粮食作物区域大配方与施肥建议(2013)》的通知[EB/OL]. [http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tfw/201307/t20130729\\_3541508.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tfw/201307/t20130729_3541508.htm).
- [49] 中国农业科学院. 中国稻作学[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 424.

## Discussion on Fertility Characteristics of Different Texture Soils and Rice Fertilization Method

YE Chang, HUANG Xiu, CHU Guang, XU Chunmei, CHEN Song, ZHANG Xiufu, WANG Danying\*

(China National Rice Research Institute / State Key Laboratory of Rice Biology, Hangzhou 311400, China; \*Corresponding author: wangdanying@caas.cn)

**Abstract:** Soil texture is one of the basic physical properties of soil, which reflects the composition of soil particles with different sizes and diameters. Soils with different texture have different nutrient contents, soil microbial species and activities, and also have different property of water storage and thermal insulation. Soil texture affects the fixation, transformation and loss of fertilizer absorption, and further influence the growth and yield formation of plants. Although the improvement of rice fertilizer utilization has always been a research hotspot, few have been studied of soil texture on fertilizer utilization and rice growth. After briefly introduced the differences in nutrient content, physical and chemical properties of soils with different textures, and the effects of soil texture on crop growth, the paper further evaluated the soil testing and formula fertilization technology in rice production, and discussed the efficient fertilization method according to soil texture.

**Key words:** soil texture; soil fertility; crop growth difference; fertilization method