

土壤速效养分含量对水稻基础产量的影响及估算

陈小虎 曹国华 文明辉 朱卫华 刘青桂 段奕

(湖南省耒阳市农业局, 湖南 耒阳 421800; 第一作者: nyj2003@sina.com)

摘要:以湖南省近年来实施的 1 748 个的大样本早、中、晚稻“3414”肥效试验数据为研究对象, 分析土壤速效养分与基础产量的相关性和影响程度。结果表明, 土壤速效养分与早、中、晚稻的空白基础产量和无氮、无磷、无钾基础产量呈极显著的正相关, 其中, 碱解氮含量与基础产量相关性最大, 其次是速效钾和有效磷含量; 通径分析表明, 全肥区产量对基础产量的直接作用最大。因此, 可利用其显著的相关性建立回归模型估算基础产量, 获得水稻推荐施肥的空白基础产量, 无氮、无磷、无钾基础产量, 继而计算出氮、磷、钾肥利用率、土壤有效养分校正系数和相对产量等技术参数, 校正和制定推荐施肥方案, 应用于指导水稻科学施肥。

关键词:基础产量; 土壤速效养分; 相关分析; 通径分析; 水稻

中图分类号:S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)06-0037-04

土壤碱解氮、有效磷、速效钾等速效养分是指土壤中水溶性和交换态的养分, 植物可直接吸收利用或者可以很快从土壤胶体上交换出来供植物利用的氮、磷、钾养分, 可以反映土壤近期内养分供应水平。研究表明, 土壤速效养分含量与水稻产量呈正相关^[1-3], 且与水稻基础产量、氮磷钾缺素区产量关系密切; 基础(空白)产量是指没有施肥的作物产量^[4], 构成基础产量的养分主要来自土壤, 反映的是土壤能够提供的该种养分量, 是计算作物产量对土壤养分的依存率和估算作物施肥量的重要参数^[2]; 氮磷钾缺素区产量是指不施氮或者不施磷、钾时, 即无氮、无磷、无钾的基础产量, 其反映的土壤氮磷钾养分提供量更接近实际状况, 准确性高, 是计算肥料利用率、土壤有效养分校正系数和相对产量的重要参数之一^[5], 但这些参数必须通过田间试验获得数据, 费时费工周期较长。为了简便的获取作物基础产量这一重要的施肥参数, 利用大量的水稻“3414”肥效试验结果, 分析建立土壤速效养分与基础产量的相关数学模型^[6], 用于估算基础产量, 对估算水稻生产中的施肥效果、肥料利用率、校正施肥配方、估算和推荐作物施肥量具有一定的应用价值。

1 材料与方法

1.1 试验方法

湖南省在实施测土配方施肥项目中, 组织实施了大量的早、中、晚稻“3414”肥效试验。试验均采用联合国粮农组织(FAO)提出的“3414”完全试验设计方案, 即氮、磷、钾 3 个因素, 4 个不同的施肥水平, 共计 14 个处理, 其中 4 个施肥水平, 分别是: 0 水平为不施肥, 2 水平为当地最佳施肥量, 1 水平=2 水平×0.5, 3 水平=

2 水平×1.5。小区面积 30 m², 随机排列, 不设重复(见表 1); 供试品种为湖南省大面积种植的水稻品种; 各地除了 2 水平施肥量不同以外, 其他操作均按照统一试验方案实施, 收割时 14 个小区单打单晒分别称取稻谷产量。

1.2 土样检测方法

在试验前分别取试验田 20 cm 耕作层混合样进行检测, 土壤速效养分测试方法分别是: 碱解氮采用 1 mol/L NaOH 碱解扩散法; 土壤有效磷采用 NaHCO₃ 浸提, 钼锑抗比色法测定; 土壤速效钾采用 1 mol/L 中性醋酸铵 NH₄OAc 浸提, 火焰光度计法测定。

1.3 数据来源及整理

采用湖南省 2006-2015 年 1 748 个早、中、晚稻“3414”肥效试验数据, 其中早稻 555 个、中稻 700 个、晚稻 493 个, 分别取试验中的处理 1 空白基础产量、处理 2、处理 4、处理 8 中的氮、磷、钾缺素区基础产量、处理 6 全肥区产量(见表 1), 以及每个试验所对应的试验前土壤碱解氮、有效磷、速效钾养分检测数据, 采用 Excel、DPS 等分析软件进行分析整理, 数据汇总情况见表 2。

2 结果与分析

2.1 土壤速效养分对空白基础产量的影响

取处理 1 产量 Y(空白基础产量)与试验前土壤碱解氮 X₁、有效磷 X₂、速效钾 X₃ 检测结果及处理 6 产量 X₄(全肥区产量)进行相关分析。结果表明, 对空白基础

收稿日期: 2018-05-14

基金项目: 湖南省测土配方施肥项目

表 1 “3414”田间肥效试验处理设计

处理号	处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	备注
处理 1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0	空白区
处理 2	N ₀ P ₂ K ₂	0	2	2	无氮区
处理 3	N ₁ P ₂ K ₂	1	2	2	
处理 4	N ₂ P ₀ K ₂	2	0	2	无磷区
处理 5	N ₂ P ₁ K ₂	2	1	2	
处理 6	N ₂ P ₂ K ₂	2	2	2	全肥区
处理 7	N ₂ P ₃ K ₂	2	3	2	
处理 8	N ₂ P ₂ K ₀	2	2	0	无钾区
处理 9	N ₂ P ₂ K ₁	2	2	1	
处理 10	N ₂ P ₂ K ₃	2	2	3	
处理 11	N ₃ P ₂ K ₂	3	2	2	
处理 12	N ₁ P ₁ K ₂	1	1	2	
处理 13	N ₁ P ₂ K ₁	1	2	1	
处理 14	N ₂ P ₁ K ₁	2	1	1	

表 2 早中晚稻“3414”试验土壤速效养分含量及水稻产量统计结果

统计项目	早稻		中稻		晚稻	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
碱解氮(mg/kg)	175.3	44.5	176.9	52.7	169.5	40.1
有效磷(mg/kg)	19.1	10.8	22.0	13.4	19.8	11.5
速效钾(mg/kg)	103.3	36.8	103.6	37.9	97.7	38.6
全肥区产量(kg/hm ²)	6 920	870	8 305	974	7 172	833
空白基础产量(kg/hm ²)	4 333	848	5 621	891	4 722	744
无氮基础产量(kg/hm ²)	5 068	933	6 479	940	5 383	800
无磷基础产量(kg/hm ²)	5 908	885	7 175	964	6 282	808
无钾基础产量(kg/hm ²)	6 010	865	7 178	941	6 142	771

表 3 空白基础产量与土壤速效养分、全肥区产量相关系数及估算数学模型

项目	季别	碱解氮 (X ₁)	有效磷 (X ₂)	速效钾 (X ₃)	全肥区产量 (X ₄)	统计试验数及 F 检验
空白基础产量(Y)与 X ₁ 、 X ₂ 、X ₃ 、X ₄ 相关系数	早稻	0.2233**	0.1995**	0.2172**	0.6898**	555
	中稻	0.2727**	0.2087**	0.2173**	0.5914**	700
	晚稻	0.2468**	0.2122**	0.2268**	0.5946**	493
	平均	0.2476	0.2068	0.2204	0.6253	1748
空白基础产量估算数学 模型	早稻	Y=-651.2+1.8830X ₁ +4.8203X ₂ +2.1212X ₃ +0.6276X ₄				R ² =0.7062**, F=136.8**
	中稻	Y=665.8+2.9605X ₁ +8.26265X ₂ +2.3526X ₃ +0.4823X ₄				R ² =0.6382**, F=119.4**
	晚稻	Y=412.0+3.2724X ₁ +5.4758X ₂ +1.8385X ₃ +0.4835X ₄				R ² =0.6362**, F=83.0**

**表示相关性达到极显著差异水平。下同。

产量均表现为极显著的正相关,说明空白基础产量随着土壤速效养分含量和全肥区产量的增加而提高。其中,与全肥区产量相关性最大,相关系数为 0.6253;与有效磷含量相关性最小,相关系数为 0.2068。途径分析也表明,全肥区产量对空白产量的直接作用最大,为 0.5708,其次是碱解氮含量(直接途径系数为 0.1501),然后是速效钾含量和有效磷含量(表 4);据此分别建立了早、中、晚稻由 X₁、X₂、X₃、X₄ 估算空白基础产量 Y 的四元一次回归数学模型,经 F 检验均达到极显著水平,复相关系数均达到极显著水平(表 3),统计结果表明,该数学模型可用于对空白基础产量的估算。

2.2 土壤碱解氮含量对无氮基础产量的影响

用无氮基础产量与土壤碱解氮含量和全肥区产量进行相关分析,早、中、晚稻均表现为极显著的正相关,其中全肥区产量对无氮基础产量影响大于碱解氮;由此建立的无氮基础产量估算二元一次回归数学模型 F 检验及复相关系数均达到极显著水平,可用于无氮基础产量的估算(表 5)。

2.3 土壤有效磷含量对无磷基础产量的影响

对无磷基础产量与土壤有效磷含量和全肥区产量进行相关分析表明,早、中、晚稻均表现为极显著的正相关;由此建立的无钾基础产量估算二元一次回归数学模型,经 F 检验及复相关系数均达到极显著水平(表 6)。

表 4 土壤速效养分和全肥区产量对空白基础产量的影响

对空白基础产量影响因子	直接通径系数			
	早稻	中稻	晚稻	平均
碱解氮含量	0.0988	0.1753	0.1762	0.1501
有效磷含量	0.0617	0.1243	0.0844	0.0901
速效钾含量	0.0921	0.1000	0.0953	0.0958
全肥区产量	0.6441	0.5274	0.5410	0.5708

表 5 无氮基础产量与碱解氮含量、全肥区产量的相关系数及估算数学模型

项目	早稻		中稻		晚稻	
	碱解氮(X ₁)	全肥区产量(X ₂)	碱解氮(X ₁)	全肥区产量(X ₂)	碱解氮(X ₁)	全肥区产量(X ₂)
无氮基础产量(Y)与 X ₁ 、X ₂ 相关系数	0.3190**	0.8264**	0.3152**	0.7422**	0.2435**	0.7636**
无氮基础产量估算数学模型	早稻	Y=-1482.1+3.710X ₁ +0.85245X ₂ ,R ² =0.8445**,F=686**				
	中稻	Y=197.7+3.3986X ₁ +0.6839X ₂ ,R ² =0.7656**,F=493**				
	晚稻	Y=-310.4+3.2558X ₁ +0.71685X ₂ ,R ² =0.7806**,F=382**				

表 6 无磷基础产量与有效磷含量、全肥区产量的相关系数及估算数学模型

项目	早稻		中稻		晚稻	
	有效磷(X ₁)	全肥区产量(X ₂)	有效磷(X ₁)	全肥区产量(X ₂)	有效磷(X ₁)	全肥区产量(X ₂)
无磷基础产量(Y)与 X ₁ 、X ₂ 相关系数	0.2011**	0.8639**	0.2007**	0.8356**	0.1885**	0.8748**
无磷基础产量估算数学模型	早稻	Y=-178.0+2.90415X ₁ +0.8714X ₂ ,R ² =0.8646**,F=817**				
	中稻	Y=257.1+6.6988X ₁ +0.8151X ₂ ,R ² =0.8407**,F=840**				
	晚稻	Y=193.1+0.7561X ₁ +0.8469X ₂ ,R ² =0.8748**,F=799**				

表 7 无钾基础产量与速效钾含量、全肥区产量的相关系数及估算数学模型

项目	早稻		中稻		晚稻	
	速效钾(X ₁)	全肥区产量(X ₂)	速效钾(X ₁)	全肥区产量(X ₂)	速效钾(X ₁)	全肥区产量(X ₂)
无钾基础产量(Y)与 X ₁ 、X ₂ 相关系数	0.2232**	0.9040**	0.2496**	0.8492**	0.2344**	0.8979**
无钾基础产量估算数学模型	早稻	Y=-292.9+1.5745X ₁ +0.8874X ₂ ,R ² =0.9064**,F=1271**				
	中稻	Y=227.0+2.6921X ₁ +0.8033X ₂ ,R ² =0.8559**,F=954**				
	晚稻	Y=122.2+1.4604X ₁ +0.8194X ₂ ,R ² =0.9008**,F=1054**				

2.4 土壤速效钾含量对无钾基础产量的影响

对无钾基础产量与土壤速效钾含量和全肥区产量进行相关分析表明,早、中、晚稻均表现为极显著的正相关;由此建立的无钾基础产量估算二元一次回归数学模型,经 F 检验及复相关系数均达到极显著水平(表 7)。

3 结论与讨论

本分析结果表明,土壤速效养分含量与空白基础产量相关密切,均表现出极显著的正相关,其中碱解氮含量与基础产量的相关系数较大,早、中、晚稻平均相关系数为 0.2476,其次是速效钾为 0.2204,最小的是有效磷为 0.2068;基础产量的高低不仅受土壤速效养分含量多少的影响,还受水稻品种产量潜力的影响。通径分析结果表明,全肥区产量对空白基础产量的直接作用最大,早、中、晚稻平均相关系数为 0.6253。因此,在估算空白基础产量时必须引入全肥区产量,提高估算精度。

无氮、无磷、无钾基础产量分别与土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量有极显著的正相关,且与全肥区产量正相关更大;由此建立估算无氮、无磷、无钾基础产量的数学模型具有较高的精度,可分别用于估算早中晚稻的无氮、无磷、无钾基础产量。

运用土壤速效养分含量检测 results 和全肥区产量估算空白基础产量,在水稻推荐施肥中,可利用空白基础产量校正推荐施肥方案,检验“3414”中的“2”施肥水平(当地最佳施肥量)的合理性,进一步修正施肥方案,用于指导水稻生产中科学施肥。

在推荐施肥技术参数获取中,可依据土壤速效养分含量和全肥区产量简便的估算无氮、无磷、无钾基础产量,用于计算氮磷钾肥利用率、土壤有效养分校正系数和相对产量,从而减少设置完全的“3414”肥效试验的数量,只需在试验前检测土壤速效养分实施其中“2”水平的施肥试验区,就可获得相关推荐施肥的技术参数。

(下转第 46 页)

- [27] 王绍华, 曹卫星, 王强盛, 等. 水稻叶色分布特点与氮素营养诊断 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1 461-1 466.
- [28] 张金恒, 王珂, 王人潮. 叶绿素计 SPAD-502 在水稻氮素营养诊断中的应用 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(2): 177-180.
- [29] 柳开楼. 长期施肥下水稻剑叶的 SPAD 值变化及其与产量的关系 [C]//中国作物学会. 全国青年作物栽培与生理学术研讨会论文集, 2014.

Effects of Leaf-cutting and Sticking Treatments on Leaf SPAD Value about Two Sides of Main Vein of Flag Leaf and Grain Yield of Rice

LI Jie^{1,2}, FENG Yuehua^{1*}, MOU Guiting¹, XU Guiling¹, HUANG Shifeng¹, SHI Xin¹, LUO Qiangxin¹, LUO Kangjie¹, GUAN Zhengce¹, YE Yong¹, HUANG Yougang¹

(¹ College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang 550025, China; ² Qiandongnan Vocational and Technical College for National, kaili, Guizhou 556000, China; 1st author: guizhoutianxin@163.com; *Corresponding author: fengyuehua2006@126.com)

Abstract: In order to compare the effects of two sides (smooth side and rough side) of flag leaf on grain yield of rice, the authors set up five treatments (cutting smooth side away from 2 cm leaf cushion, cutting rough side away from leaf cushion 2 cm, sticking 10 cm on the middle of smooth side, sticking 10 cm on the middle of rough side, and CK) by the method of cutting and sticking flag leaf, using Q you 6 and Zhunliangyou 527 as materials with three nitrogen levels, and analyzed their total grain weight, ratio of grain weight and leaf length, 1000-grain weight, seed setting rate, and change of SPAD value. The results showed that, the total grain weight of cutting or sticking smooth side was lower than cutting or sticking rough side, but there was no significant difference on total grain weight, 1000-grain weight, grain number per panicle, seed setting rate of this treatment under the same rice variety and nitrogen level. The ratio of grain weight and leaf length of Q you 6 and Zhunliangyou 527 was 1.00~1.20 g/cm and 0.90~1.00 g/cm, respectively. The ratio of grain weight and leaf length treatment of cutting and sticking a side of flag leaf was lower than blank control in Q you 6, and that was higher in Zhunliangyou 527. The absolute value of chain growth rate of SPAD value of rough side was greater than that of smooth side, and some situation that of cutting or sticking smooth side was higher than cutting or sticking rough side. Generally, the contribution of smooth side of flag leaf on grain yield was higher than that of rough side in rice.

Key words: flag leaf; grain yield; smooth side; rough side; SPAD value

(上接第 39 页)

参考文献

- [1] 高辉, 张洪程, 戴其根, 等. 不同土种土壤氮素等养分与水稻基础产量的关系[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 28(1): 49-53.
- [2] 田生昌, 马建军. 土壤基础肥力对水稻产量的影响及施肥指标体系建立[J]. 中国农学通报, 2015, 31(27): 1-4.
- [3] 刘洁, 胡冬华. 水稻基础产量与土壤速效养分含量的相关性[J]. 作物研究, 2015, 29(3): 277-280.
- [4] 谢卫国, 黄铁平, 钟武云, 等. 测土配方施肥理论与实践[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 2006.
- [5] 曾祥明, 韩宝吉, 徐芳森, 等. 不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2 886-2 894.
- [6] 谢锦良, 方萍. 水稻基础产量与最高产量的分布模型及相互关系 [J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20(3): 35-38.
- [7] 金耀青, 张中原. 关于农作物对土壤肥力的依存率及其应用的研究 [J]. 沈阳农学院学报, 1985, 16(4): 64-68.
- [8] 杨思存, 霍琳, 王成宝, 等. 绿洲盐化潮土有效锌含量与盐分离子的相关性及其统计分析[J]. 土壤, 2017, 4(3): 550-557.
- [9] 梁涛, 陈轩敬, 赵亚南, 等. 四川盆地水稻产量对基础地力与施肥的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4 759-4 768.
- [10] 张传辉, 杨四军, 顾克军, 等. 稻麦轮作条件下秸秆单双季还田对麦田土壤肥力和速效养分含量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(17): 7 483-7 485.

Effect and Estimation of the Soil Rapid Nutrient Content on Basal Yield of Rice

CHEN Xiaohu, CAO Guohua, WEN Minghui, ZHU Wuihua, LIU Qinggui, DUAN Yi

(Leiyang City Agriculture Bureau, Leiyang, Hunan 421800, China; 1st author: nyj2003@sina.com)

Abstract: The correlation and influence of soil available nutrient on base yield were analyzed, using 1748 data of rice "3414" fertilizer test of Hunan province in recent years. The results showed that the soil available nutrients were highly significant positive correlated with the yield of rice in the non fertilization basal yield and no N, P, K basal yield among them, the content of alkali hydrolyzable nitrogen had the greatest correlation with basal yield, followed by available K and available P. The path analysis showed that total fertilization yield had the greatest direct effect on yield. Therefore, the regression mathematical model can be used to estimate the basal yield by its significant correlation, the non fertilization basal yield and no N, P, K basal yield could be obtained. Then, the use efficiency of N, P, K fertilizer, soil effective nutrient correction coefficient and relative yield were calculated. It could calibrate and develop recommendation fertilization scheme, and guide scientific fertilization of rice production.

Key words: basal yield; soil available nutrients; correlation analysis; path analysis; rice