

秸秆全量还田条件下作物营养障碍因子研究

金婷 柯帅 王盼星 盛海君 钱晓晴* (扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要 [目的]确定秸秆全量还田引起的作物营养障碍因子作用大小,为秸秆全量还田精准配肥提供参考。[方法]以南粳9108水稻品种为材料,采用土壤混合秸秆(1 kg土+5 g秸秆)加营养液浇灌的方法,在苗期进行N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo 12种元素缺乏处理,研究不同营养元素对供试水稻苗期地上部分(株高、茎基粗、叶绿素SPAD)和地下部分(根系)生长的影响。[结果]不同缺乏营养液处理的水稻苗期株高、茎基粗、叶绿素SPAD和根系主要形态指标基本上低于完全营养液处理(对照),其中缺N处理各指标降低幅度最大且差异达极显著水平。[结论]秸秆全量还田引起的作物营养障碍因子作用由大到小依次为N、S、Zn、P、K、Ca、Mn、Fe、Cu、B、Mo、Mg,影响最大的元素是N,其次是S、Zn、P。为了更好地发挥秸秆全量还田改土培肥与增产提质的作用,应重视N、S、Zn、P等元素的配合施用。

关键词 水稻; 秸秆还田; 营养障碍

中图分类号 S141.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)16-0115-04

Crop Nutrition Disorders Factors under Returning All Wheat Straw to Field

JIN Ting KE Shuai WANG Pan-xing QIAN Xiao-qing* et al (College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127)

Abstract [Objective] To determine crop nutrition disorders factors under returning all wheat straw to field, and provide a reference for the accurate fertilization of the whole amount of straw returning. [Method] With the rice variety of South japonica 9108 as materials, using soil mixed straw (1 kg soil + 5 g straw) and nutrient solution, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron, manganese, copper, zinc, boron and molybdenum 12 kinds of element deficiency in seedling were treated. Effects of different nutrient elements on the growth of aboveground part (plant height, stem diameter, chlorophyll SPAD) and underground part (root) on rice seedling stage were studied. [Result] Under different nutrient solution treatment, the height, stem diameter, chlorophyll SPAD and root morphological indexes of rice seedlings basically were lower than the complete nutrient solution treatment (control), the nitrogen deficiency indexes decreased and reached a very significant difference. [Conclusion] Under the condition of total straw returning to field, the crop nutrient barrier factors from large to small were N, S, Zn, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu, B, Mo, Mg, the biggest impact elements were nitrogen, followed by sulfur, zinc and phosphorus. In order to make full use of the total amount of straw returning to the soil to improve soil fertility and increase production and quality, should be paid attention to the application of nitrogen, sulfur, zinc, phosphorus.

Key words Rice; Straw returning; Nutritional disorders

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2017.16.035

作物秸秆中含有丰富的C、N、P和K及多种微量元素,是农业生产中重要的营养源。研究表明,秸秆还田具有改善土壤理化性状和生物学性状、提高土壤肥力、增加作物产量等作用^[1-2]。我国是农业大国,秸秆资源较丰富,目前秸秆年产量约7亿t。据统计,全部秸秆中所含NPK量相当于全国目前化肥用量的1/3左右^[3]。农田秸秆覆盖技术在发达国家已相当完善,并取得了较好的效果^[4-5]。目前国内关于秸秆还田的研究起步较晚,秸秆还田率远低于发达国家^[6]。因此,充分利用秸秆资源,科学推广秸秆全量无障碍还田技术,是促进我国农业生态系统健康发展的有效手段,也是提高土壤有机碳含量、培肥地力、增加养分循环利用率有效而简便的方法。

虽然秸秆还田技术已有大量研究,并取得了一定进展,但目前我国秸秆资源并未得到有效利用。其主要原因在于缺乏可操作性的规范化或标准化的施肥措施。要制订规范化的施肥措施,必须明确秸秆全量还田条件下可能引起的作物营养障碍因子及其作用大小。其中,微生物大量繁殖引起的土壤缺N已引起广泛重视,秸秆还田配合施用N肥已成

为秸秆还田的常规做法^[7]。而秸秆还田可能引起Ca、Mg、S、Fe、Mn、Cu、Zn、P、Mo等元素有效含量下降,对作物生长与产量形成的影响研究较少。为了更好地发挥秸秆还田的效率,减少因使用不当而产生的减产等负面效应,笔者分析秸秆全量还田条件下可能引起的作物营养障碍因子及其作用大小,并相应调节施肥措施,从而实现高效秸秆还田,对农业可持续发展具有重要意义。

1 材料与与方法

1.1 试验材料 于2016年6月在扬州大学环境科学与工程学院实验中心进行盆栽培养试验,供试水稻品种为南粳9108,经温室培育后选择长势一致的秧苗移栽至试验盆中。土壤采自镇江农委示范基地,质地为黏土,pH 5.90,有机质26.7 g/kg,碱解氮116.4 mg/kg,速效磷29.1 mg/kg,速效钾276.9 mg/kg。秸秆采用该土壤来源地上季小麦秸秆,切碎(1 cm左右)待用。有机物料腐熟剂采用农业部948项目技术支持产品[微生物肥(2014)准字(1364)号执行标准GB 20287—2006]。

1.2 试验方法 试验采用15 cm×10 cm×13 cm的盆钵,每盆装入经过5 mm筛网的土壤1 kg,小麦秸秆5 g[相当于田间秸秆还田量11 250 kg/hm²(20 cm耕层150 000 kg土)]和0.2 g有机物料腐熟剂,充分拌匀,备用。待水稻秧苗(每盆3株)移栽后浇灌营养液。共设置13个处理,以完全营养液为对照,用缺乏营养液(-N、-P、-K、-Ca、-Mg、-S、-Fe、-B、-Mo)作为处理,重复3次。具体营养液配制见表1。

基金项目 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(SJLX16-0597);扬州市科技计划项目(YZ2016038);江苏省政策引导类计划项目(BN2016197)。

作者简介 金婷(1993—),女,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向:农业资源利用。*通讯作者,教授,博士,博士生导师,从事资源环境科学领域的研究与教学工作。

收稿日期 2017-04-07

表1 完全营养液各元素的配制量
Table 1 The amount of each element of complete nutrient solution

元素 Elements	盐类 Salt	分子量 Molecular weight	营养液浓度 Nutrient solution concentration//mg/L	用量 Dosage g/L	稀释倍数 Diluted multiples
N	NH ₄ Cl	53.49	40.00	152.830 0	1 000
P	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	119.98	20.00	77.460 0	1 000
K	KCl	74.55	40.00	76.460 0	1 000
Ca	CaCl ₂	110.99	40.00	110.990 0	1 000
Mg	MgCl ₂ · 6H ₂ O	203.30	40.00	334.650 0	1 000
S	Na ₂ SO ₄	142.04	40.00	177.330 0	1 000
Fe	FeCl ₃ · 6H ₂ O	270.29	2.00	9.689 6	1 000
Mn	MnCl ₂	197.90	0.50	1.802 4	1 000
Cu	CuCl ₂	170.49	0.01	0.026 9	1 000
Zn	ZnCl ₂	136.29	0.01	0.020 9	1 000
B	H ₃ BO ₃	61.83	0.20	1.141 8	1 000
Mo	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	241.95	0.05	0.126 1	1 000

注:采用国际水稻所(IRRI) 常规营养液配制方法^[3] (根据实际情况略有改动) ,各缺素营养液配制方法为完全营养液中除去1 种营养元素
Note: Using the method of preparation of International Rice (IRRI) conventional nutrient solution^[3] (according to the actual situation) ,each nutrient solution was prepared to remove a kind of nutrient element

1.3 试验管理 试验在避雨试验场进行,采用自然温度和光照。2016 年6 月20 日移栽秧苗,当天用自来水浇灌,每天10:00 左右浇灌各营养液1 次(每盆100 mL,可根据天气调节),每7 d 倒1 次周转箱残留的营养液。每天有顺序地变更水稻的位置,保持光照基本一致并保持一定的通风时间。常规管理,试验为期20 d,7 月10 日取样测定。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 地上部分生物学指标。水稻秧苗移栽后10、20 d,分别采用直尺和游标卡尺测量株高(从土表到秧苗顶部的高度)和基茎粗(离土层1 cm 处水稻茎秆基部宽度),7 月10 日采用 SPAD - 502 便携叶绿素仪测定水稻叶片的叶绿素含量。

1.4.2 根系形态相关指标。于2016 年7 月10 日取样,将新鲜根系用自来水浸泡30 min,并用流水小心将根系冲洗干净,以单株为单位,利用根系扫描仪(Win RHIZO LA1600) 将完整根系图像扫入计算机,用根系分析系统对根系总根长、总根表面积、根平均直径、根体积、根尖数进行测定。

1.5 数据分析 采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理,并采用 SPSS 18.0 统计分析软件进行差异显著性分析(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同营养液处理对水稻地上部分形态、生理指标的影响

2.1.1 株高。以处理10 d 时完全营养液处理水稻苗的相对株高为100,各处理的相对株高分别为 - N(86.74)、- P(88.27)、- K(90.06)、- Ca(88.56)、- Mg(104.60)、- S(94.47)、- Fe(94.59)、- Mn(96.06)、- Cu(90.17)、- Zn(94.47)、- B(99.06)、- Mo(96.52),即 - N < - P < - Ca < - K < - Cu < - S = - Zn < - Fe < - Mn < - Mo < - B < 全 < - Mg。在秸秆全量还田10 d 时,对株高制约最大的3 个元素分别为 N、P 和 Ca。以处理20 d 时完全营养液水稻苗的相对株高为100,各处理的相对株高分别为 - N(78.91)、- P

(88.07)、- K(89.54)、- Ca(82.63)、- Mg(94.98)、- S(88.03)、- Fe(86.79)、- Mn(96.53)、- Cu(92.56)、- Zn(85.84)、- B(97.02)、- Mo(94.79),即 - N < - Ca < - Zn < - Fe < - S < - P < - K < - Cu < - Mo < - Mg < - Mn < - B < 全。秸秆全量还田20 d 时对株高制约最大的3 个元素分别为 N、Ca 和 Zn(图1、2)。缺 N 处理使水稻苗期生长受抑制程度最大,比完全营养液处理(对照) 10 d 的增长量降低了40.89%,差异达极显著水平。10 d 的增长量表现为 - N < - Zn < - Fe < - Ca < - Mg < - S < - P < - K < - Mo < - B < - Mn < - Cu < 全。

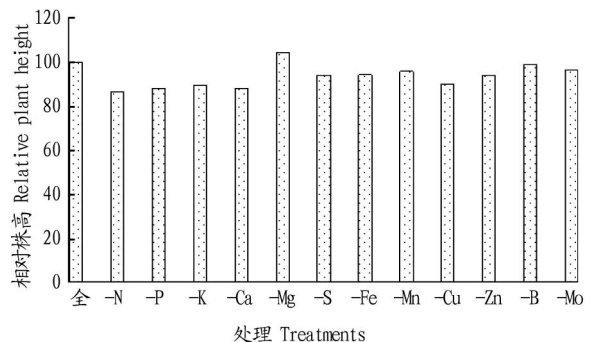


图1 不同营养液处理10 d 时水稻相对株高
Fig.1 Relative plant height of rice treated with different nutrient solution for 10 d

2.1.2 基茎宽。以完全营养液处理10 d 时水稻苗的相对基茎宽为100,各处理的相对基茎宽分别为 - N(88.65)、- P(83.69)、- K(85.82)、- Ca(86.52)、- Mg(89.83)、- S(96.69)、- Fe(91.96)、- Mn(96.45)、- Cu(89.83)、- Zn(95.98)、- B(99.29)、- Mo(88.89),由小到大依次为 - P < - K < - Ca < - N < - Mo < - Cu = - Mg < - Fe < - Zn < - Mn < - S < - B < 全。秸秆全量还田10 d 时对基茎宽影响较大的3 个元素分别为 P、K 和 Ca。以完全营养液处理20 d 时水稻苗的相对基茎宽为100,各处理的相对基茎宽分

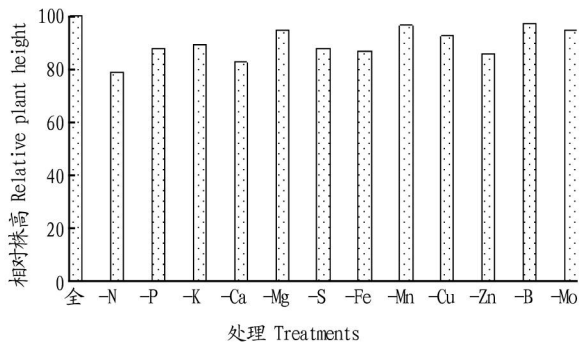


图2 不同营养液处理 20 d 时水稻相对株高

Fig.2 Relative plant height of rice treated with different nutrient solution for 20 d

别为 -N (79.78)、-P (81.41)、-K (83.75)、-Ca (83.03)、-Mg (90.43)、-S (87.55)、-Fe (88.63)、-Mn (99.46)、-Cu (89.71)、-Zn (95.49)、-B (88.45)、-Mo (83.21) 由小到大依次为 -N < -P < -Ca < -Mo < -K < -S < -B < -Fe < -Cu < -Mg < -Zn < -Mn < 全。秸秆全量还田 20 d 时对基茎宽影响较大的 3 个元素分别为 N、P 和 Ca (图 3、4)。缺 N 处理使水稻苗期生长受抑制程度最大,比完全营养液处理(对照) 10 d 的增长量降低了 48.85%,差异达极显著水平。10 d 的增长量由小到大依次为 -N < -B < -S < -Mo < -Ca < -P < -K < -Fe < -Cu < -Mg < -Zn < 全 < -Mn。

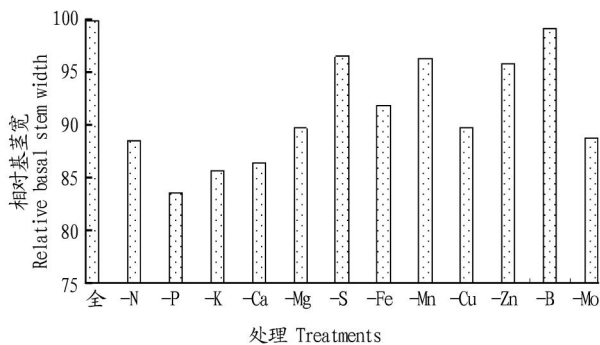


图3 不同营养液处理 10 d 时水稻相对基茎宽

Fig.3 Relative basal stem width of rice treated with different nutrient solution for 10 d

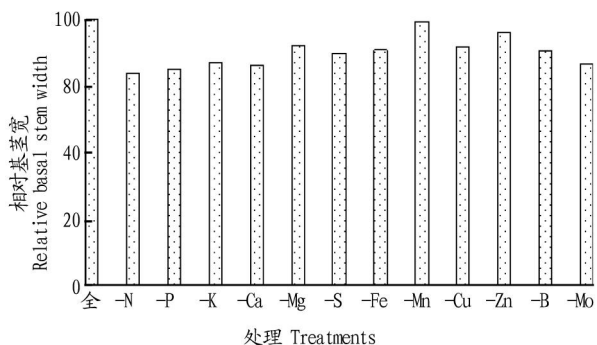


图4 不同营养液处理 20 d 时水稻相对基茎宽

Fig.4 Relative basal stem width of rice treated with different nutrient solution for 20 d

2.1.3 叶绿素含量。叶绿素是植物光合作用最重要的基础物质,其含量多少在一定程度上决定了植物光合作用强度的

高低,从而影响植物的生长和农作物的产量^[9]。不同营养液处理对水稻苗期叶绿素含量的影响见图 5。由图 5 可知,在秸秆全量还田条件下,对水稻苗期叶绿素 SPAD 值影响较大的因子由大到小依次为 N、K、Zn、Cu、S、Mn、Mo、B、Ca、P、Fe、Mg。在缺 N 营养液处理下,叶绿素 SPAD 较完全营养液处理降幅最大,为 29.41%,差异达极显著水平。其次是缺 K 营养液处理和缺 Zn 营养液处理,下降幅度分别为 13.23%、10.46%。

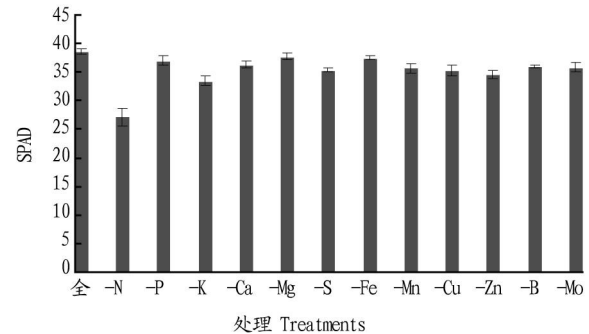


图5 不同营养液处理对水稻苗期叶绿素 SPAD 的影响

Fig.5 Effects of different nutrient solution treatments on chlorophyll SPAD in rice seedling

2.2 不同营养液处理对水稻苗期根系形态指标的影响 水稻根系既是吸收水分和养分的重要器官,又是很多物质同化、转化和合成的场所,还是与地上部分进行物质交流的代谢器官。根系的生长情况与活力与地上部分关系密切,其生长好坏会直接影响整个水稻的生长发育、营养水平和产量水平^[10]。不同营养液处理对水稻苗期根系形态指标的影响见表 2。由表 2 可知,与完全营养液相比,除缺 Mg 和缺 Mo 处理,其他处理均使总根长、总根表面积、根平均直径、根体积和根尖数不同程度的降低。其中降低幅度最大的是缺 N 处理,总根长、总根表面积、根平均直径、根体积和根尖数分别降低了 56.01%、43.51%、43.41%、43.50% 和 43.45%。其次是缺 S 和缺 Zn 处理。

2.3 综合评价 不同营养液处理对水稻地上部分和地下部分各指标的影响并不完全一致,采用累积积分法(表 3 按每种指标由小到大排序,然后将每种处理各指标的序号相加得到序号之和,再按序号之和排序),选取处理 20 d 时水稻地上部分和地下部分相对应指标,得到秸秆全量还田引起的作物营养障碍因子的作用由大到小依次为 N、S、Zn、P、K、Ca、Mn、Fe、Cu、B、Mo、Mg,最大的障碍因子是 N,其次是 S 和 Zn。

3 结论

该研究结果表明,不同缺素营养液处理的水稻苗期株高、基茎粗、叶绿素含量和根系主要形态指标基本上低于完全营养液处理(对照),其中缺 N 处理各指标降低幅度最大且差异达极显著水平。秸秆全量还田引起作物营养障碍因子的作用由大到小依次为 N、S、Zn、P、K、Ca、Mn、Fe、Cu、B、Mo、Mg,影响最大的元素是 N,其次是 S、Zn、P。为更好地发挥秸秆全量还田改土培肥与增产提质的作用,应重视 N、S、Zn、P 等元素的配合施用。

表2 不同营养液处理对水稻苗期根系形态指标的影响

Table 2 Effects of different nutrient solution treatments on root morphology of rice seedling

处理 Treat- ments	总根长 Total root length//cm	总根表面积 Total root surface area cm ²	根平均直径 Root average diameter//mm	根体积 Root volume cm ³	根尖数 Root tip number 株
全(CK)	214.62 ± 5.74	15.72 ± 0.45	15.41 ± 0.43	49.38 ± 1.43	48.42 ± 1.35
-N	94.41 ± 4.96	8.88 ± 0.39	8.72 ± 0.35	27.90 ± 1.22	27.38 ± 1.11
-P	121.54 ± 5.65	11.80 ± 0.72	11.60 ± 0.68	37.07 ± 2.27	36.44 ± 2.14
-K	156.51 ± 13.89	12.61 ± 0.76	12.41 ± 0.73	39.62 ± 2.38	38.98 ± 2.30
-Ca	147.85 ± 20.03	15.05 ± 2.06	14.91 ± 2.05	47.29 ± 6.47	46.85 ± 6.45
-Mg	250.37 ± 28.86	22.96 ± 0.64	22.47 ± 0.58	72.13 ± 2.00	70.58 ± 1.83
-S	98.32 ± 6.18	11.44 ± 0.23	11.23 ± 0.28	35.93 ± 0.74	35.28 ± 0.89
-Fe	135.83 ± 14.20	14.23 ± 0.10	13.99 ± 0.07	44.69 ± 0.30	43.95 ± 0.23
-Mn	126.55 ± 0.68	12.53 ± 0.45	12.33 ± 0.46	39.38 ± 1.41	38.75 ± 1.45
-Cu	162.65 ± 2.34	14.50 ± 0.40	14.13 ± 0.44	45.56 ± 1.24	44.40 ± 1.38
-Zn	110.01 ± 7.95	11.40 ± 1.02	11.05 ± 1.07	36.24 ± 3.14	35.10 ± 3.29
-B	158.64 ± 12.79	13.80 ± 1.05	13.51 ± 1.07	43.36 ± 3.31	42.43 ± 3.37
-Mo	179.65 ± 2.01	16.61 ± 1.39	16.17 ± 1.46	51.51 ± 4.47	50.67 ± 4.63

表3 不同营养液处理水稻苗期各指标的累计积分

Table 3 Cumulative scores of rice seedling indexes under different nutrient solution treatments

处理 Treatments	积分 Score						总积分 Total score
	株高 Plant height	基茎粗 Base stem diameter	叶绿素 Chlorophyll	总根长 Total root length	根平均直径 Root average diameter	根尖数 Root tip number	
全(CK)	13	13	13	12	11	11	73
-N	1	1	1	1	1	1	6
-P	6	2	10	4	4	4	30
-K	7	5	2	8	6	6	34
-Ca	2	3	9	7	10	10	41
-Mg	10	10	12	13	13	13	71
-S	5	6	5	2	3	3	24
-Fe	4	8	11	6	8	8	45
-Mn	11	12	6	5	5	5	44
-Cu	8	9	4	10	9	9	49
-Zn	3	11	3	3	2	2	24
-B	12	7	8	9	7	7	50
-Mo	9	4	7	11	12	12	55

参考文献

- [1] 张亚丽, 吕家琰, 金继运, 等. 施肥和秸秆还田对土壤肥力质量及春小麦品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 307-314.
- [2] MALHI S S, NYBORG M, SOLBERG E D, et al. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types [J]. Field crops research, 2012, 124(3): 378-391.
- [3] 刘冬云. 秸秆还田应用中存在问题及对策建议[J]. 安徽农学通报, 2014(11): 99.
- [4] COOK H F, VALDES G S, LEE H C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. [J]. Soil and tillage research, 2006, 91(1/2): 227-235.
- [5] LAL R. Beyond copenhagen: Mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration [J]. Food security, 2010, 2(2): 169-177.
- [6] 赵其国, 钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1609-1614.
- [7] 李淑华. 秸秆还田配合氮肥施用对小麦产量及分蘖的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 23(23): 9583-9584.
- [8] 申建波, 毛达如. 植物营养研究方法 [M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [9] 王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 629-636.
- [10] 刘永霞, 岳延滨, 刘岩, 等. 水稻根系与叶片形态特征关系的定量分析[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 461-468.