

施用绿肥条件下减施化肥对土壤养分及 持水供水能力的影响

刘小粉¹, 刘春增^{2*}, 潘兹亮³, 杜天晨¹

(1. 河北工程大学, 河北 邯郸 056000; 2. 河南省农业科学院, 河南 郑州 450002;
3. 信阳市农业科学院, 河南 信阳 464000)

摘要:以长期定位试验为基础, 设置7个紫云英和化肥施用配比试验处理, 以探索施用绿肥情况下减施化肥对土壤养分、持水和供水能力的影响。结果表明: 在翻压紫云英条件下, 即使不施化肥土壤氮也可基本得到满足, 应适量施用化学钾肥, 必须合理施用磷肥, 以保证土壤全量和速效养分得到平衡和持续供给, 化肥施用量减少未显著降低水稻产量; 土壤持水、供水能力在处理间的趋势表现为: 紫云英+40%化肥>紫云英+60%化肥>紫云英+80%化肥、紫云英+100%化肥>单施100%化肥、单施紫云英>CK, 与CK相比, 其它6个处理田间持水量提高了1.6%~15.4%, 有效含水量增幅更大, 平均提高1.5%~30.5%, 说明紫云英化肥配施能显著提高土壤的持水、供水能力, 且化肥施用量越少效果越好, 而单施化肥或单施紫云英效果有限。因此, 紫云英施用量一定时(22 500 kg/hm²), 化肥施用量应减少至40%甚至更低。

关键词: 化肥; 绿肥; 土壤养分; 土壤持水能力; 土壤供水能力

中图分类号: S153.6; S147.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2017)03-0075-05

在农业生产中, 适当使用化肥能迅速增加土壤的速效养分, 提高作物产量^[1], 但过量施肥不仅会减产和降低农产品品质^[2], 还会造成土壤酸化板结、土壤微生物多样性下降、地下水硝酸盐污染、湖泊和近海水体富营养化^[3-5]等农业生产和生态环境方面的问题, 从而降低了农产品品质。畜禽粪便等农家肥也能够提高土壤有机质及改善土壤结构, 但普遍存在重金属和抗生素超标^[6]以及施用过程中劳动力缺乏等问题, 逐渐不被农民采用。而绿肥作为清洁的有机肥源, 可以就地翻压还田, 省时省力, 在中低产田土壤改良、培肥地力和改善生态环境方面都发挥了重要作用。研究表明, 绿肥翻压入土不仅能丰富土壤养分种类, 增加土壤养分和促进作物对磷、钾肥的吸收利用^[7], 还能提高作物产量, 改善土壤结构和质量及获得较高的经济效

益^[8-12]。然而, 绿肥还田对土壤持水供水能力的影响, 目前少见报道。本研究拟以信阳水稻土为对象, 借助定位试验探讨翻压等量紫云英条件下减施化肥对土壤养分含量、持水及供水能力的影响, 为了解绿肥还田对土壤结构和功能的影响提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设置

该长期定位试验于2009年设置于信阳市农业科学研究所试验园区内, 供试土壤为粘壤土, 土壤pH值6.6, 有机碳12.4 mg/kg, 碱解氮78.5 mg/kg, 有效磷6.5 mg/kg, 速效钾62.3 mg/kg。种植制度为一年一熟, 冬季(9月底10月初至4月中旬)种植当地紫云英以作培肥。试验设置7个处理: 对照, 不施紫云英和化肥; 单施100%化肥; 紫云英+100%化肥; 紫云英+80%化肥; 紫云英+60%化肥; 紫云英+40%化肥; 单施紫云英。每个处理设置3个重复, 小区面积为6.67 m²。当地常规施肥(即100%化肥)氮、磷、钾肥源分别为碳酸氢铵、普通过磷酸钙和氯化钾, 氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施用量分别为225、135、135 kg/hm²。其中, 磷、钾肥全部基施, 氮肥按基肥: 分蘖肥: 孕穗肥=3:2:1的比例施用。每年4月中旬左右(紫

收稿日期: 2016-05-03; 最后修订日期: 2016-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401246); 河北省自然科学基金项目(D2016402029); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103005-06)。

作者简介: 刘小粉(1985-), 女, 河南上蔡县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤物理方面的研究工作。E-mail: liuxiaofenok@126.com。

通讯作者: 刘春增, E-mail: pinkpigs2010@126.com。

云英盛花期), 从相邻非试验田块获取足量紫云英称重后翻压到试验小区, 即异地翻压还田, 翻压鲜重为 22 500 kg/hm²。重复之间做田埂并用塑料薄膜分隔以防串水串肥, 同时留 0.3 m 宽沟以便灌水、排水和进行田间管理, 宽沟上方铺设灌溉用 PVC 管道。

1.2 样品采集与测定

2014 年 9 月水稻收获后, 采集 0~10 cm 土层土壤用于测定有机碳和养分含量, 土壤有机碳和全氮含量用碳氮仪干烧法测定^[13], 全磷和全钾分别采用硫酸-高氯酸消煮法和氢氟酸-高氯酸消煮法测定, 土壤有效氮、磷、钾分别采用碱解蒸馏法、碳酸氢钠、乙酸铵浸提法测定^[14]。水稻产量为各小区当年实打实收数据。

同时用环刀法采集 0~10 cm 土层原状土, 用高速离心机法^[15]测定土壤水分特征曲线, 使用离心机时不同水吸力下所对应的转速和时间见表 1。试验具体方法为: 每次离心结束后称重, 并于测定结束后将土样烘干称重, 计算出不同水吸力下土壤

质量含水量, 最后将土壤水分特征曲线拟合为幂函数。

$$\theta = aS^{-b} \quad (1)$$

式中: θ 为质量含水量, %; S 为土壤水吸力, MPa; a 、 b 为方程拟合参数。根据该拟合方程可分别计算出水吸力为 0.03 和 1.5 MPa 时的含水量, 即分别为田间持水量和萎蔫含水量, 两者相减即为土壤有效水含量。

在水分特征曲线拟合方程的基础上, 可得出土壤比水容量的公式^[16]

$$C_{\theta} = -d\theta/dS = abS^{-(b+1)} \quad (2)$$

式中: C_{θ} 为比水容量, mL/(MPa·g); θ 为质量含水量, %; S 为土壤水吸力, MPa; a 、 b 为参数, a 能反映土壤持水性能的大小; 式中 $a \times b$ 是土壤水吸力为 0.01 MPa 时的比水容量, 其反映土壤的供水能力的大小, $a \times b$ 值越大, 土壤供水能力越强。依据公式 (2) 即可计算出不同水吸力下土壤的比水容量。

表 1 不同水吸力对应的离心机转速和时间

水吸力 (Mpa)	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
转速 (r/min)	980	1 390	1 960	2 400	2 770	3 100	4 390	6 200	7 600	8 770	9 600
时间 (min)	26	36	45	51	55	58	68	77	83	87	93

1.3 统计分析

用 SPSS 11.0 进行数据的方差和相关性分析, 显著性分析水平为 $P < 0.05$ 。采用最小显著差异法比较处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 翻压紫云英条件下减施化肥对土壤有机碳和养分含量的影响

试验小区在翻压紫云英的基础上, 减施化肥后, 土壤全量和有效养分变化如表 2 所示。土壤有

机碳和全钾在各处理间无显著差异; 与 CK 相比, 6 个施肥处理的全氮、碱解氮、速效钾均有增加趋势, 但 6 个处理间差异不显著; 土壤全磷和有效磷含量在处理间均存在显著差异, 大致趋势为单施 100% 化肥 \geq 紫云英化肥配施处理 > 单施紫云英、CK, 说明施用化肥是土壤全磷和有效磷的主要来源之一。翻压紫云英情况下减施或不施化肥, 会导致有效磷显著下降, 说明在生产实践中, 翻压紫云英进行培肥时, 需要施用足够的化学磷肥才能弥补作物对磷素的需求。陈逸湘等^[17]也在生产实践中

表 2 不同施肥处理下土壤有机碳和养分含量对比

处理	有机碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	水稻产量 (t/hm ²)
CK	12.9a	1.15b	0.35c	16.2a	76.8b	5.4c	59.1b	8.1b
单施 100% 化肥	12.8a	1.21ab	0.44a	16.5a	84.3ab	13.2a	69.3a	10.0a
紫云英 + 100% 化肥	12.3a	1.25a	0.46a	16.5a	84.7ab	11.2b	69.7a	9.6a
紫云英 + 80% 化肥	12.7a	1.31a	0.45a	16.4a	88.1a	10.7b	63.2ab	10.3a
紫云英 + 60% 化肥	12.9a	1.26a	0.44a	16.5a	88.8a	9.7b	62.5ab	10.3a
紫云英 + 40% 化肥	13.1a	1.23ab	0.43a	16.4a	84.7ab	10.0b	63.2ab	10.1a
单施紫云英	12.2a	1.21ab	0.40b	16.5a	83.8ab	5.9c	62.1ab	10.0a

注: 同列不同小写字母代表施肥处理间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

发现,种绿肥无需大量施肥,但初期要施用少量磷钾肥,特别是磷肥的施用,可促进结瘤,以磷增氮,达到以小肥养大肥的目的。与空白相比,其它6个处理的水稻产量均显著提高,但各处理间并无显著差异,说明该试验中化肥施用量的减少未显著降低水稻产量。综上,紫云英翻压量为22 500 kg/hm²时,土壤氮可基本得到满足,应适量施用化学钾肥,必须合理施用磷肥,以保证土壤全量和速效养分得到平衡和持续供给,化肥施用量减少未显著降低水稻产量。

2.2 翻压紫云英条件下减施化肥对土壤持水能力的影响

土壤水分特征曲线是表征土壤水吸力和土壤含水量之间关系的曲线^[18],曲线高低反映出土壤持水能力的大小,在同一吸力下,曲线越高,表明土壤持水能力越强,反之土壤持水能力越弱^[19]。在实测数据基础上,本研究依据公式(1)拟合出了水分特征曲线方程,测定值和拟合曲线计算出的相应数值复相关系数R²均达到0.98以上,因此,在研究土壤持水能力时,本研究仅选取实测水分特征曲线(图1)展开分析和讨论。由图1(由于水吸力在0~0.20 MPa时,各处理曲线相对集中,这部分用小图的方式在大图内部展示出来)看出,在相同水吸力下,土壤持水能力在处理间的趋势表现为:紫云英+40%化肥>紫云英+60%化肥>紫云英+80%化肥、紫云英+100%化肥>单施100%化肥、单施紫云英>CK。该研究结果表明,施肥能提高土壤的持水能力,而单施化肥或单施紫云英效果有限,紫云英与化肥混施效果较好,尤其是在紫云英施用量

不变时(22 500 kg/hm²),化肥施用量减少到40%效果最好。由图1还可以看出,土壤水吸力越小,处理间含水量差异越明显,随着土壤吸力增大,且当其大于0.6 MPa时,部分持水曲线趋于重合,当水吸力为1.0 MPa时,所有处理含水量趋于重合。

大量研究表明,土壤持水能力是土壤结构和土壤组成物质的复合函数^[20-21],它与土壤结构,孔隙分布,有机质含量和土壤机械组成等理化性质均有关^[22]。该试验在短期内(5年)虽没有引起有机碳含量显著变化(表2),却使土壤团聚体分布在处理间出现了显著差异^[8],而土壤水分特征曲线的差异性本身就反应了土壤孔隙含量、分布的差异性,这些差异可能是导致处理间持水能力产生差异的根本原因。

2.3 翻压紫云英条件下减施化肥对土壤供水能力的影响

比水容量是土壤水吸力增加一个单位量土壤所能释出的水量,反映了不同吸力时土壤的有效水量,可以作为土壤抗旱性的指标^[23]。比水容量数值的大小在一定程度上表示土壤的释水性和供水能力。就植物生长而言,比水容量数值大,则植物吸水容易,反之则吸水困难。通过拟合曲线计算得出各处理0~1.50 MPa的比水容量见表3。结果表明,吸力一定时,绿肥和化肥配施能有效提高土壤比水容量,即提高土壤供水能力。在0.01 MPa土壤吸力条件下,CK比水容量最小,紫云英+60%化肥、紫云英+40%化肥两个处理的比水容量最大,分别比CK增加了19.2%、23.1%,比水容量在各处理间的大小趋势为紫云英+40%化肥>紫云英+60%化肥>紫云英+80%化肥>紫云英+100%化肥>单施100%化肥>单施紫云英>CK。随土壤水吸力增大,比水容量在各处理间大小趋势不变,但差异逐渐减小,当土壤水吸力大于0.20 MPa时,部分处理比水容量基本无差异。综上,该试验说明,施用绿肥的情况下,逐渐减少化肥施用量,是增加土壤比水容量的重要措施。在豫南单季稻区,风调雨顺的年份,比水容量差异与否对作物吸水影响有限,而在干旱年份,冬闲田种植绿肥并翻压还田,同时减少化肥施用量,是提高土壤抗旱性的因地制宜的农业生产措施。该研究中,化肥施用量减少至40%时土壤比水容量最大,更能提高土壤供水能力。但由于该试验设计无法得知化肥减少至40%以下效果,因此,化肥用量能否减至更少需进一步探讨。

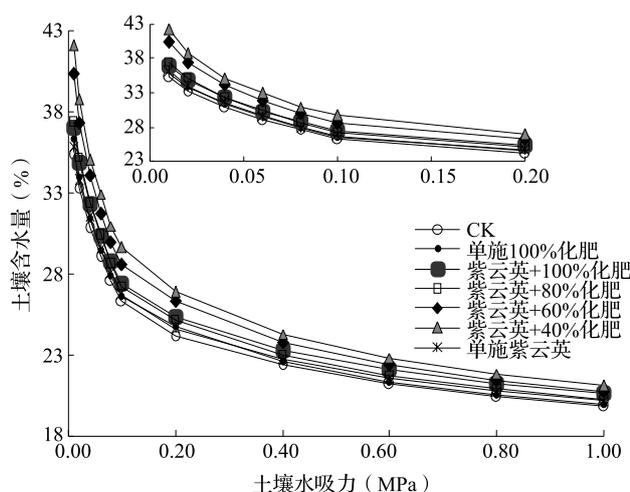


图1 不同施肥处理下的土壤持水能力比较

表3 不同施肥处理下土壤比水容量对比

[mL/(MPa·g)]

处理	土壤水吸力 (MPa)											
	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50
CK	2.58	1.18	0.54	0.34	0.25	0.19	0.09	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
单施100%化肥	2.67	1.22	0.55	0.35	0.25	0.20	0.09	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
紫云英+100%化肥	2.71	1.24	0.56	0.36	0.26	0.20	0.09	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
紫云英+80%化肥	2.79	1.27	0.58	0.36	0.26	0.20	0.09	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
紫云英+60%化肥	3.07	1.38	0.62	0.39	0.28	0.22	0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
紫云英+40%化肥	3.24	1.45	0.65	0.41	0.29	0.23	0.10	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
单施紫云英	2.62	1.20	0.55	0.35	0.25	0.19	0.09	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01

2.4 翻压紫云英条件下减施化肥对土壤水分常数的影响

田间持水量是植物有效水的上限,在旱地土壤灌溉时可作为灌水的上限,也是反映土壤持水能力高低的重要指标,萎蔫含水量(萎蔫系数)为土壤有效水的下限,在农业生产上,土壤含水量达到萎蔫系数之前就要及时灌溉,两者之差为有效水含量。图2是依据土壤水分特征曲线得出的不同施肥处理下土壤的田间持水量、萎蔫含水量和有效水含量。可以看出,土壤萎蔫含水量在各处理间无显著差异,而田间持水量和有效水含量在处理间差异比较显著。田间持水量、有效水含量在处理间的趋势均为紫云英+40%化肥>紫云英+60%化肥>紫云英+80%化肥>紫云英+100%化肥>单施100%化肥>单施紫云英>CK,其它6个处理与CK相比,田间持水量提高了1.6%~15.4%,有效含水量增幅更大,平均提高1.5%~30.5%。萎蔫含水量尽管在处理间差异不显著,但与CK相比,紫云英+40%化肥、紫云英+60%化肥、紫云英+80%化肥、紫云英+100%化肥、单施100%化肥和单施紫云英平均值分别提高了5.4%、3.7%、1.8%、4.0%、0.4%和1.7%。其中,紫云英和化肥配施处理比单施紫云英、单施化肥的效果要好,尤其以紫云英+40%化肥效果最显著。土壤田间持水量提高,说明施肥处理增加了土壤毛管孔隙,即引起土壤结构发生变化。尽管萎蔫含水量提高对作物吸水是不利的,但田间持水量和萎蔫含水量同时提高的结果是引起了有效含水量提高,说明土壤可供植物吸收利用的土壤水含量范围增加了,这对作物吸水是有利的。因此,依据土壤水有效性变化情况,该试验提倡绿肥和化肥同时配施,且尽可能减少化肥施用量,这样既能节省成本,效果也最好。

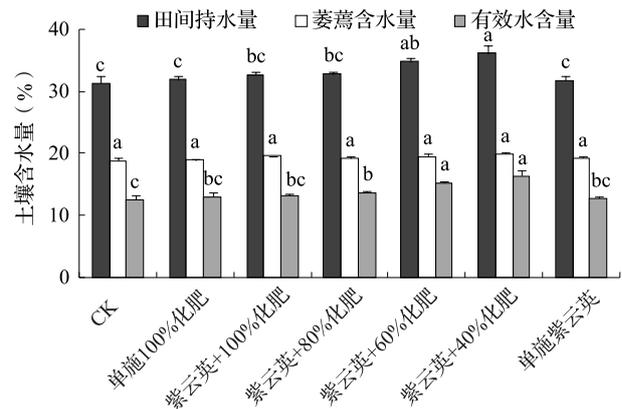


图2 施肥处理对土壤田间持水量、萎蔫含水量及有效水含量的影响

注:同一立柱上不同小写字母代表施肥处理间存在显著性差异($P < 0.05$)。

3 结论

在翻压等量22500 kg/hm²紫云英条件下,即使不施化肥,土壤氮肥也可基本得到满足,应适量施用化学钾肥,必须合理施用磷肥,以保证土壤全量和速效养分得到平衡和持续供给,化肥施用量减少未显著降低水稻产量。

紫云英化肥配施能显著提高土壤的持水能力,而单施化肥或单施紫云英效果有限。紫云英施用量一定时,化肥施用量减少到40%效果最好,且有效含水量提高幅度高于田间持水量。

比水容量在各处理间的大小趋势为紫云英+40%化肥>紫云英+60%化肥>紫云英+80%化肥>紫云英+100%化肥>单施100%化肥>单施紫云英>CK。说明施用绿肥时,化肥施用量减少至40%土壤比水容量最大,即土壤供水能力最强。

参考文献:

- [1] 张风华, 廖文华, 刘建玲. 过量施用氮磷和有机肥对大白

- 菜产量和氮磷吸收的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (4): 60-63.
- [2] 崔玉亭. 化肥与农业生态环境保护 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [3] 曹志洪. 施肥与水体环境质量—论施肥对环境的影响 (2) [J]. 土壤, 2003, 35 (5): 353-363.
- [4] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策 [J]. 生态环境, 2004, 13 (4): 656-660.
- [5] 刘宏斌, 李志宏, 张维理, 等. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (3): 286-291.
- [6] 刘忠宽, 智建飞, 秦文利, 等. 河北省绿肥作物种植利用现状研究 [J]. 河北农业科学, 2009, 13 (2): 12-14.
- [7] 高菊生, 徐明岗, 董春华, 等. 长期稻—绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响 [J]. 作物学报, 2013, 39 (2): 343-349.
- [8] 刘春增, 刘小粉, 李本银, 等. 紫云英配施不同用量化肥对土壤养分、团聚性及水稻产量的影响 [J]. 土壤通报, 2013, 44 (2): 409-413.
- [9] 刘春增, 刘小粉, 李本银, 等. 紫云英还田对水稻产量、土壤团聚性及其有机碳和全氮分布的影响 [J]. 华北农学报, 2012, 27 (6): 224-228.
- [10] 杨曾平, 徐明岗, 聂军, 等. 长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价 [J]. 水土保持学报, 2011, 25 (3): 92-98.
- [11] 李继明, 黄庆海, 袁天佑, 等. 长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (3): 563-570.
- [12] 刘春增, 李本银, 吕玉虎, 等. 紫云英还田对土壤肥力、水稻产量及其经济效益的影响 [J]. 河南农业科学, 2011, 40 (5): 96-99.
- [13] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon, and organic matter Laboratory methods. Methods of soil analysis. Part 2. (2nd ed). Agron. Monogr. No. 9 ASA and SSSA [M]. Wisconsin: Madison, 1982. 539-579.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [15] 史竹叶, 赵世伟. 黄土高原土壤持水曲线的计算方法 [J]. 西北农业学报, 1999, 8 (6): 44-47.
- [16] 陈志雄, 汪仁真. 中国几种主要土壤的持水性 [J]. 土壤学报, 1979, 16 (3): 277-281.
- [17] 陈逸湘, 李忠. 紫云英根瘤菌剂的应用与生产方法 [J]. 现代农业科技, 2007, 24: 138-139.
- [18] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [19] Watson K M, Luxmoore R J. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1986, 50 (3): 578-582.
- [20] Rawls W J, Gish T J, Brakensiek D L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics [J]. Adv. Soil Sci., 1991, 16: 213-234.
- [21] Wösten J H, Pachepsky M, Rawls W J. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics [J]. J. Hydrol., 2001, 251: 123-150.
- [22] Liu X F, Yang G L, Xiao X P, et al. Water retention curves of soil aggregates as affected by long-term fertilizer management [J]. Soil Science, 2011, 176: 537-542.
- [23] 全斌, 陈健飞, 郭成达. 福建赤红壤旱地与红壤旱地水分特性的比较 [J]. 土壤与环境, 2001, 10 (2): 115-120.

Effect of reducing chemical fertilizer when the green manure applied on soil nutrients, water retention and supply capacities

LIU Xiao-fen¹, LIU Chun-zeng^{2*}, PAN Zi-liang³, DU Tian-chen¹ (1. Hebei University of Engineering, Handan 056000; 2. Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002; 3. Xinyang Academy of Agricultural Sciences, Xinyang 464000)

Abstract: In this long-term experiment, seven treatments were conducted to investigate effects of the green manure combined with chemical fertilizer on soil nutrients, soil water retention and supply capacities. The results showed that when the green manure was applied, chemical N was not required to apply, but chemical K and P should be applied. The rice yields did not change significantly as chemical fertilizer reduced. Water retention and supply capacity among treatments showed the same trend of green manure plus 40% chemical fertilizer > green manure plus 60% chemical fertilizer > green manure plus 80% or 100% chemical fertilizer > chemical fertilizer alone or green manure alone > the control. Compared with the control, the field water content and the available water content in the other six treatments were improved by 1.6% ~ 15.4% and 1.5% ~ 30.5%, respectively, indicating that chemical fertilizer combined with green manure enhanced the water retention and supply capacities and less water was better, while either of them applied alone showed limited effects. Therefore, when green manure (22 500 kg/hm²) was applied, chemical fertilizer application could be reduced by 60% and even more.

Key words: chemical fertilizer; green manure; soil nutrients; soil water retention capacity; soil water supply capacity