

不同肥料组合对稻油轮作下土壤养分的影响

闫波^{1,2,3,4}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: sdyanbo@163.com

收稿日期: 2020年8月25日; 录用日期: 2020年9月9日; 发布日期: 2020年9月16日

摘要

为探明不同肥料品种对耕地的培肥效果, 选用羊粪、商品有机肥作为有机改良剂, 尿素、包膜尿素、磷酸二铵、过磷酸钙、硫酸钾、氯化钾, 硅肥、硼肥等化肥作为无机改良剂, 以单施尿素 + 磷酸二铵 + 硫酸钾为对照, 通过水稻 - 油菜盆栽试验, 研究其对土壤理化性质及水稻、油菜产量的影响, 得出以下结论: 1) 在2年水稻 - 油菜复种中, 随着种植年限的增加, 土壤有效磷、速效钾含量均呈增加趋势; 2) 施用有机肥处理土壤有机质含量高于单施化肥处理, 施用羊粪处理与施用商品有机肥处理土壤有机质含量差异不显著。3) 施用尿素处理土壤硝态氮与施用包膜尿素处理差异不显著; 4) 施用磷酸二铵处理土壤有效磷含量高于施用过磷酸钙处理, 但二者之间无显著差异; 5) 综合土壤养分含量及作物需求评价各肥料组合, 包膜尿素 + 磷酸二铵 + 氯化钾 + 羊粪为最佳的肥料组合。

关键词

土壤, 养分, 水稻, 油菜, 产量

Effects of Different Fertilizer Combinations on Soil Nutrients under Rice-Rape Rotation

Bo Yan^{1,2,3,4}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources of China, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Email: sdyanbo@163.com

Received: Aug. 25th, 2020; accepted: Sep. 9th, 2020; published: Sep. 16th, 2020

Abstract

In order to ascertain the fertilization effects of different fertilizer varieties on cultivated land, sheep manure and commercial organic fertilizers were selected as organic amendments; urea, coated urea, diammonium phosphate, superphosphate, potassium sulfate, potassium chloride, chemical fertilizers such as silicon fertilizer and boron fertilizer are used as inorganic modifiers. With single application of urea + diammonium phosphate + potassium sulfate as a control, the effects on the physical and chemical properties of the soil and the yield of rice and rape were studied through a rice-rape pot experiment. Conclusion: 1) In the two-year rice-rape multi-cropping, with the increase of planting years, the soil available phosphorus and available potassium content both increased; 2) The soil organic matter content in the treatment of organic fertilizer was higher than that of single application of chemical fertilizer. There was no significant difference in soil organic matter content between the treatment with sheep manure and the treatment with commercial organic fertilizer. 3) There is no significant difference between urea treatment and coated urea treatment; 4) The soil available phosphorus content in the treatment of diammonium phosphate is higher than that in the treatment of superphosphate, but there is no significant difference between the two; 5) Evaluating various fertilizer combinations according to soil nutrient content and crop demand, coated urea + diammonium phosphate + potassium chloride + sheep manure is the best fertilizer combination.

Keywords

Soil, Nutrient, Rice, Rape, Yield

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

耕地是关乎国家粮食安全的重要资源, 虽然我国拥有 960 万平方公里的广袤国土, 但是在 14 亿人口的基数下, 人均土地面积严重不足, 而适用于农业种植的耕地更显稀少。随着我国科技、经济的发展, 城市的扩张进一步侵占农业用地面积, 耕地呈现逐年减少的趋势[1]。在坚守 18 亿亩耕地红线不动摇的政策下, 如何合理地开发与保护耕地, 提升耕地土壤质量, 是维护我国粮食安全的重大问题。

在我国耕地无法大幅增长的前提下, 提高耕地质量是保障农作物产量的有效方法。经过连年耕作或者是新增耕地的条件下, 耕地往往存在肥力低下、养分不平衡等问题, 如土壤有机质含量低, 氮磷钾等养分缺乏或者不平衡, 严重影响着耕地质量, 需要通过适宜的培肥措施调节土壤养分, 以保障作物的高产、稳产。肥料种类是影响培肥效果的关键因素之一, 肥料种类不同, 养分释放的速率、在土壤中的运移速度、作物吸收利用的难易程度不一, 直接影响着土壤肥力的累积速度及作物生长发育。研究表明, 施用有机肥可以为作物提供必要的氮磷钾等养分[2], 同时有机肥的施用可以改良土壤空隙结构, 提高土壤通气性和透水性, 有利于农作物根系在土壤中的延伸, 从而提高作物对水分的养分的吸收能力, 进而提高作物产量[3]。氮素是植物生长所必需的重要元素, 不同的氮肥形态会对植物的生长发育产生影响[4], 以铵态氮为主要氮源时, 植物叶片生长一般会受到抑制, 而硝态氮作为氮源的情况下, 植物的总生物量和根冠比较高[5], 根系中糖类和代谢酶活性较强[6], 氮素的供应水平也会极大的影响作物产量。研究表明, 磷钾的供应也是影响植物生产和果实产量的重要因素, 磷素供应不足会对水稻根系产生负面影响,

显著增加水稻的根冠比[7]，抑制地上部发育。而钾素作为产量要素，供应不足往往会导致作物减产[8]。微量元素硅和硼在水稻和油菜的生长发育过程中也起着重要作用，如促进茎秆的发育和提高抗逆性能等。

本研究拟在重构土体的基础上，通过添加不同类型的肥料提高土体肥力，以保证水稻的正常生长需求。研究通过盆栽试验探明不同肥料类型对土壤理化性质、水稻、油菜产量和养分含量的影响，从而确定重构土体上适宜添加的肥料组合，为黄河滩地重构土体快速培肥提供理论依据。

2. 材料与方法

1) 试验设置

盆栽试验采用高 50 cm、直径 30 cm 的塑料桶，下部填充 10 cm 沙土，中部为 5 cm 容重为 1.7 g/cm³ 黄土构建的人造犁底层，上部为 25 cm 容重为 1.4 g/cm³ 的黄土耕作层，供试土壤理化性质见表 1。每盆种植水稻 3 穴，每穴种 4 株，根据秧苗大小保持 1~5 cm 水面(以不淹苗为准)。油菜季每盆种植油菜 3 株。种植期间各处理保持灌溉量一致。

试验以施用常规肥料尿素、磷酸二铵、硫酸钾为对照(CK)，选取羊粪、商品有机肥 2 种有机改良剂和包膜尿素、过磷酸钙、氯化钾、硅、硼 5 种肥料，组成 12 个处理，每个处理重复 3 次(处理设置见表 2)，共计 36 盆，随机区组排列。硅、硼两因素分别设置不施用硅硼处理(CK)、单施硅肥(8 mg/kg)处理、单施硼肥处理(4 mg/kg)和硅肥(8 mg/kg)、硼肥(4 mg/kg)均施处理。各处理有机改良剂施用量保持氮、磷、钾养分含量一致(相当于 4 g/kg 羊粪)，化学改良剂施用量保持氮、磷、钾养分一致(0.3 g/kg N, 0.06 g/kg P₂O₅, 0.06 g/kg K₂O)。水稻种植时，磷肥、钾肥与有机肥作为基肥在水稻种植前施入土壤。插秧后 2~3 天施入 20% 的氮肥，返青期(插秧后 10~12 天)施入 50% 氮肥，抽穗期将剩余氮肥施入土壤，50% 的硅肥、硼肥作为基肥施入土壤，剩下的作为追肥在拔节期施入土壤。油菜种植时，氮、钾肥总量的 60%、全部的磷肥作基肥施用，20% 的氮、钾肥和全部的硼肥作腊肥(移栽后 50 天)，20% 的氮、钾肥作薹肥(移栽后 80 天)施用。

Table 1. Physical and chemical properties of tested soil

表 1. 供试土壤理化性质

土层	有机质(g/kg)	硝态氮(mg/kg)	铵态氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
0~20 cm	7.91	13.23	6.74	9.89	126.72

Table 2. Types of fertilizers for treatment

表 2. 化肥种类处理设置

处理	肥料种类			硅酸钠(以 Si 计)	硼酸钠(以 B 计)	有机肥
CK	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	—	—	—
1	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	—	—	羊粪
2	包膜尿素	磷酸二铵	硫酸钾	—	—	羊粪
3	尿素	过磷酸钙	硫酸钾	—	—	羊粪
4	尿素	磷酸二铵	氯化钾	—	—	羊粪
5	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	—	—	商品有机肥
6	包膜尿素	磷酸二铵	硫酸钾	—	—	商品有机肥
7	尿素	过磷酸钙	硫酸钾	—	—	商品有机肥
8	尿素	磷酸二铵	氯化钾	—	—	商品有机肥
9	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	8 mg/kg	—	—
10	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	—	4 mg/kg	—
11	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	8 mg/kg	4 mg/kg	—

2) 测定项目

土壤指标：水稻/油菜收获后采集表层 20 cm 土壤样品，测定有机质、硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾。有机质采用重铬酸钾 - 外加热法测定，硝铵态氮采用流动分析仪测定，有效磷采用钼锑抗比色法测定，速效钾采用火焰光度计测定。

水稻和油菜成熟后，整株挖出，根系用清水冲洗。样品晾干后在 40℃ 下烘干，将样品分为根、茎、叶和稻米。测定水稻根系和地上部分生物量及水稻产量。

3. 结果与讨论

3.1. 不同施肥处理对水稻 - 油菜轮作下重构土体 0~20 cm 土壤有机质的影响

施用羊粪和商品有机肥处理土壤有机质含量高于单施化肥处理(表 3)，表明施用有机肥可以增加土壤有机质含量。施用硅、硼肥处理与对照土壤有机质含量差异不显著，表明施用硅硼肥对土壤有机质影响不大。随着种植年限的增加，土壤有机质变化不明显，表明施用相当于 4 g/kg 羊粪的有机肥对水稻 - 油菜轮作下的重构土体有机质累积情况影响不大。

Table 3. Effects of different fertilization treatments on soil organic matter content g/kg

表 3. 不同施肥处理对土壤有机质含量的影响 g/kg

处理	油菜季(2017)	水稻季(2017)	油菜季(2018)	水稻季(2018)
CK	7.72 b	7.74 b	7.73 c	7.74 c
1	7.84 ab	7.82 ab	7.93 a	7.89 a
2	7.91 a	7.86 a	7.89 ab	7.91 a
3	7.79 ab	7.79 ab	7.83 b	7.82 abc
4	7.84 ab	7.82 ab	7.83 b	7.83 abc
5	7.74 b	7.76 ab	7.83 b	7.82 abc
6	7.76 ab	7.78 ab	7.84 b	7.82 abc
7	7.75 ab	7.74 b	7.83 b	7.85 ab
8	7.77 ab	7.80 ab	7.83 b	7.80 abc
9	7.72 b	7.74 b	7.73 c	7.74 c
10	7.74 ab	7.75 b	7.73 c	7.74 c
11	7.71 b	7.75 b	7.74 c	7.74 c

注：不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

3.2. 不同施肥处理对水稻 - 油菜轮作下重构土体 0~20 cm 硝铵态氮的影响

首年种植油菜和水稻各个处理之间土壤硝铵态氮含量(见表 4)。第二年种植油菜后，各个处理中处理 1 土壤硝态氮含量最高，达到 34.42 mg/kg，处理 4 土壤硝态氮含量最低，差异达到显著水平，但这两个处理与其他处理差异均未达到显著水平；第二年水稻收获后土壤硝态氮含量处理 1、3、4、5、7、8 显著高于 CK 处理，表明多年轮作条件下施用化肥 + 有机肥处理比单施化肥处理对土壤硝态氮的培肥效果更佳。对比处理 1 与处理 2 土壤硝铵态氮含量，经过两年水稻 - 油菜轮作，施用尿素处理土壤硝态氮含量显著高于施用包膜尿素处理，相比施用包膜尿素处理，施用尿素处理土壤硝态氮含量增加 10.0%。

Table 4. Effects of different fertilization treatments on soil nitrate nitrogen content mg/kg
表 4. 不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响 mg/kg

处理	油菜季(2017)	水稻季(2017)	油菜季(2018)	水稻季(2018)
CK	14.57 a	21.63 a	28.33 ab	37.16 c
1	16.03 a	22.74 a	34.42 a	40.82 a
2	14.81 a	21.63 a	28.22 ab	37.46 c
3	15.16 a	20.68 a	28.42 ab	38.62 b
4	14.60 a	21.07 a	26.13 b	38.58 b
5	15.47 a	22.17 a	36.17 ab	40.83 a
6	14.35 a	21.60 a	28.34 ab	36.76 c
7	15.03 a	21.12 a	28.34 ab	39.61 b
8	15.28 a	21.07 a	29.14 ab	39.35 b
9	15.38 a	22.78 a	28.86 ab	37.45 c
10	14.88 a	21.97 a	27.03 b	37.35 c
11	14.27 a	20.07 a	28.61 ab	37.40 c

注：不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

由表 5 可以看出，油菜种植后土壤铵态氮含量各施肥处理与对照处理差异不显著，2017 年水稻收获后增施羊粪和商品有机肥处理土壤铵态氮含量高于单施化肥处理，仅处理 1、2、3 与对照的差异达到显著水平。2018 年水稻收获后增施羊粪和商品有机肥处理土壤铵态氮含量显著高于单施化肥处理。施用尿素和施用包膜尿素处理铵态氮含量差异不显著。综上所述，水田施用有机肥可以提高土壤铵态氮含量，旱作施用有机肥对土壤铵态氮的培肥效果不明显。

Table 5. Effects of different fertilization treatments on soil ammonium nitrogen content mg/kg
表 5. 不同施肥处理对土壤铵态氮含量的影响 mg/kg

处理	油菜季(2017)	水稻季(2017)	油菜季(2018)	水稻季(2018)
CK	6.25 abc	6.51 c	7.46 a	7.01 b
1	6.63 a	6.98 a	9.39 a	7.75 a
2	6.44 ab	6.86 ab	7.02 a	7.49 a
3	6.45 ab	6.95 ab	8.62 a	7.71 a
4	6.26 abc	6.75 abc	9.43 a	7.71 a
5	6.36 abc	6.79 abc	8.60 a	7.78 a
6	6.17 bc	6.73 abc	7.61 a	7.54 a
7	6.39 ab	6.81 abc	6.26 a	7.72 a
8	6.26 abc	6.67 abc	6.24 a	7.41 a
9	5.94 c	6.50 c	5.52 a	6.87 b
10	6.17 bc	6.65 bc	6.04 a	6.81 b
11	6.05 bc	6.52 c	8.73 a	6.99 b

注：不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

3.3. 不同施肥处理对水稻 - 油菜轮作下重构土体 0~20 cm 土壤有效磷含量的影响

2017 年种植油菜、2018 年种植油菜和水稻, 各个处理之间土壤有效磷含量无显著差异(见表 6)。2017 年水稻收获后土壤有效磷含量处理 9 最高, 为 27.92 mg/kg, 与对照差异达到显著水平, 相比对照增幅为 8.7%, 增幅较小, 表明各施肥处理对土体有效磷含量的影响不显著。分别对比每季作物收获后处理 1 与处理 3、处理 5 与处理 7, 施用过磷酸钙处理土壤有效磷含量整体略低于施用磷酸二铵处理, 但差异未达到显著水平, 表明施用磷酸二铵对土体有效磷的培肥效果略高于过磷酸钙, 但影响不大。

随着种植年限的增加, 有效磷在土体内大量累积, 2017 年油菜收获后、2017 年水稻收获后、2018 年油菜收获后、2018 年水稻收获后各处理土壤有效磷含量均值分别为 12.44 mg/kg、25.99 mg/kg、38.40 mg/kg、45.27 mg/kg, 每次施肥种植作物后土壤有效磷增加幅度相比前一季分别增加 108.9%、47.7%、17.9%, 增幅依次下降, 表明施肥可以大幅提高土壤有效磷含量水平, 对于重构土体, 首年施肥对土壤有效磷的提高效果最明显, 随着种植年限的增加, 施肥对土体的培肥效果降低。

Table 6. Effects of different fertilization treatments on soil available phosphorus content mg/kg
表 6. 不同施肥处理对土壤有效磷含量的影响 mg/kg

处理	油菜季(2017)	水稻季(2017)	油菜季(2018)	水稻季(2018)
CK	12.61 a	25.69 b	39.36 a	45.88 a
1	12.50 a	26.42 ab	38.13 a	46.65 a
2	12.27 a	25.69 b	36.14 a	46.12 a
3	12.26 a	25.01 b	37.29 a	43.68 a
4	12.21 a	25.89 b	37.75 a	43.97 a
5	12.09 a	26.04 b	39.98 a	48.06 a
6	12.51 a	26.06 b	37.90 a	46.63 a
7	12.67 a	25.43 b	39.44 a	42.75 a
8	12.59 a	25.77 b	35.68 a	46.99 a
9	12.58 a	27.92 a	39.44 a	44.44 a
10	12.70 a	25.28 b	38.75 a	44.70 a
11	12.26 a	26.70 ab	40.97 a	43.38 a

注: 不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

3.4. 不同施肥处理对水稻 - 油菜轮作下重构土体 0~20 cm 土壤速效钾含量的影响

由表 7 可知, 每季作物盆栽试验中施用硫酸钾处理(处理 1 与处理 5)土壤速效钾含量高于施用氯化钾处理(处理 4 与处理 8), 但仅 2018 年水稻收获后土壤速效钾含量差异达到显著水平, 种植水稻时, 由于土壤长期处于淹水状态, 施用硫酸钾肥料硫化物易被还原为硫化氢, 引起土壤发黑发臭, 不利于水稻生长, 因此, 宜选用氯化钾肥料。增施羊粪处理与增施商品有机肥处理整体与对照处理土壤速效钾含量差异较小, 表明施用有机肥对土壤速效钾的影响不大。随着种植年限的增加, 土壤速效钾含量逐渐增加, 速效钾含量均值 2017 年油菜收获后 < 2017 年水稻收获后 < 2018 年油菜收获后 < 2018 年水稻收获, 表明施肥有利于土体速效钾的累积。

Table 7. Soil available potassium content of different fertilization treatments mg/kg
表 7. 不同施肥处理的土壤速效钾含量 mg/kg

处理	油菜季(2017)	水稻季(2017)	油菜季(2018)	水稻季(2018)
CK	173.07 b	189.39 ab	230.00 c	327.91 a
1	183.06 ab	186.92 ab	283.93 a	297.37 ab
2	199.04 a	182.71 ab	265.95 ab	272.66 ab
3	173.07 b	182.55 ab	259.96 b	284.28 ab
4	163.08 b	181.64 b	253.97 b	235.77 b
5	191.05 ab	188.28 ab	277.94 ab	298.83 ab
6	187.05 ab	193.44 a	265.95 ab	295.92 ab
7	193.05 ab	185.13 ab	256.96 b	253.75 ab
8	183.06 ab	187.20 ab	241.98 b	285.74 ab
9	181.06 ab	185.29 ab	232.99 c	240.67 ab
10	163.08 b	187.09 ab	230.00 c	294.47 ab
11	163.08 b	185.65 ab	230.00 c	265.39 ab

注：不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

3.5. 不同施肥处理对油菜生物量及产量的影响

首年种植油菜，处理 4 油菜地上部生物量最高，显著高于其他处理，第二年种植油菜时，处理 11 油菜地上部生物量最高，处理 8 次之(见表 8)。施用硅硼肥处理油菜地上部生物量高于对照处理，表明施用硅肥、硼肥有利于油菜地上部的生长，但效果不明显。各处理油菜根系及菜籽产量均无显著差异，表明施肥处理对油菜根系生长及菜籽的产量无明显影响。2018 年油菜地上部生物量高于 2017 年，这可能与经过 1 年的耕作管理土壤内氮、磷、钾、硼等养分的累积有利于油菜地上部生长有关。

Table 8. Biomass and yield of rapeseed under different fertilization treatments g/plant
表 8. 不同施肥处理油菜生物量、产量 g/株

处理	地上部		根		菜籽	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
CK	42.86 b	47.13 c	3.69 a	3.95 a	6.40 a	7.09 a
1	43.25 b	53.85 abc	4.87 a	3.28 a	6.84 a	6.44 a
2	43.43 b	52.89 bc	3.65 a	3.82 a	6.54 a	6.76 a
3	43.69 b	57.50 ab	2.55 a	3.26 a	6.57 a	6.27 a
4	44.64 a	52.02 bc	2.43 a	3.79 a	6.22 a	6.24 a
5	42.78 b	54.10 abc	5.75 a	4.26 a	6.83 a	5.62 a
6	43.11 b	46.79 c	5.34 a	3.16 a	6.56 a	6.75 a
7	43.04 b	57.56 ab	5.26 a	4.21 a	6.80 a	5.97 a
8	43.70 b	60.83 a	6.10 a	3.99 a	6.46 a	6.58 a
9	43.50 b	53.93 acb	8.71 a	3.82 a	6.42 a	5.87 a
10	43.47 b	57.23 ab	6.07 a	4.11 a	6.79 a	5.83 a
11	44.75 b	61.00 a	7.66 a	3.24 a	6.21 a	6.62 a

注：不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

4. 结论

1) 在 2 年水稻 - 油菜轮作中, 随着种植年限的增加, 土壤有效磷、速效钾、含量均呈增加趋势。经过 2 年的水稻 - 油菜轮作, 土壤有效磷的增幅最大, 相比 2017 年油菜收获后, 2017 年水稻收获后、2018 年油菜收获后、2018 年水稻收获后土壤有效磷含量分别增加 108.9%、47.7%、17.9%。

2) 施用有机肥处理土壤有机质含量高于单施化肥处理, 施用羊粪与施用商品有机肥处理土壤有机质含量差异不显著。

3) 施用尿素处理土壤硝铵态氮含量高于施用包膜尿素处理, 但二者无显著差异。种植水稻时, 土壤长期处于淹水状态, 土壤中的硝态氮易发生反硝化作用或随水淋失, 因此建议施用包膜尿素, 使土壤氮素缓慢释放, 降低氮素转化与损失。

4) 施用硫酸钾处理土壤速效钾含量略高于氯化钾, 但差异不显著, 考虑到种植水稻时土壤长期处于淹水状态, 硫酸根易转化为硫化氢, 对作物产生毒害, 建议选择氯化钾作为钾肥。

参考文献

- [1] 王俊鑫. 耕地保护面临的主要问题与解决策略研究[J]. 科技风, 2019(2): 203.
- [2] 唐雪东, 李亚东, 吴林, 等. 黑土施用有机物料和硫磺粉对越桔生长的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(2): 179-182, 186.
- [3] 金慧, 吴景贵, 李江楠, 等. 施用有机肥对作物生长性状影响的研究进展[J]. 现代农业科技, 2010(12): 261.
- [4] 邢瑶, 马兴华. 氮素形态对植物生长影响的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(2): 109-117.
- [5] 康晓育, 孙协平, 常聪, 等. 氮素形态对不同苹果砧木幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(6): 133-138.
- [6] 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰, 等. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, 6(25): 1291-1298.
- [7] 李海波, 夏铭, 吴平. 低磷胁迫对水稻苗期侧根生长及养分吸收的影响[J]. 植物学报, 2001, 43(11): 1154-1160.
- [8] 鲁剑巍, 陈防, 刘冬碧, 等. 施钾水平对油菜生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2000(4): 39-42.