

不同灌溉方法对保护地土壤钙素形态及其含量的影响

张莹, 张玉龙*

(沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: 为探讨灌溉方式对保护地土壤钙素形态及其含量的影响, 对连续 13 a 分别进行沟灌、渗灌、滴灌 3 种灌溉处理的保护地 0~80 cm 土层土壤钙素形态及其含量进行分析。结果表明, 同一土层不同灌溉处理间土壤全钙、酸溶性钙、水溶性钙、交换性钙含量差异极显著; 总体上, 全钙含量表现为渗灌处理高于滴灌、沟灌处理, 酸溶性钙含量表现为滴灌>渗灌>沟灌, 交换性钙含量表现为渗灌、滴灌处理高于沟灌处理, 水溶性钙含量表现为沟灌>渗灌>滴灌; 各土层土壤 pH 值与酸溶性钙含量呈极显著正相关关系, 与水溶性钙含量呈显著或极显著负相关关系; 5~80 cm 土层土壤有机质含量与土壤全钙、酸溶性钙、交换性钙含量呈显著或极显著正相关关系。总之, 渗灌方式较其他灌溉方式更利于土壤钙素供应。

关键词: 保护地; 土壤; 灌溉; 钙素; 形态; 含量

中图分类号: S275 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2014)10-0042-05

Effect of Different Irrigation Methods on Soil Calcium Forms and Content in Protected Field

ZHANG Ying, ZHANG Yu-long*

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: To investigate the effects of different irrigation methods on soil calcium forms and content in protected field, this study analyzed calcium forms and content in soil at the depth of 0—80 cm in protected fields with furrow irrigation, subsurface irrigation, drip irrigation for 13 years, respectively. The results showed that the contents of total calcium, acid soluble calcium, water soluble calcium, exchangeable calcium at the same soil depth were significantly different among different irrigation treatments. On the whole, the content of total calcium under subsurface irrigation was higher than that under drip irrigation and furrow irrigation, the content order of acid soluble calcium was drip irrigation>subsurface irrigation>furrow irrigation, the contents of exchangeable calcium under subsurface irrigation and drip irrigation were higher than that under furrow irrigation, the content order of water soluble calcium was furrow irrigation>subsurface irrigation>drip irrigation. The pH value had very significant positive correlation with acid soluble calcium content, had significant negative correlation with water soluble calcium content in soil at the depth of 0—80 cm; the organic matter content had significant positive correlations with total calcium content, acid soluble calcium content and exchangeable calcium content in soil at the depth of 5—80 cm. Overall, subsurface irrigation was beneficial to the supply of calcium in soil.

Key words: protected field; soil; irrigation; calcium; forms; content

收稿日期: 2014-03-03

基金项目: 国家 973 计划项目(2011CB100502); 沈阳市科技攻关项目(F11-117-3-00, 1091108-3-02)

作者简介: 张莹(1988-), 女, 吉林公主岭人, 在读硕士研究生, 研究方向: 土壤改良与农业节水。

E-mail: zhangying0434@126.com

* 通讯作者: 张玉龙(1954-), 男, 辽宁建平人, 教授, 主要从事土壤改良及旱作农业方面的研究。E-mail: ylzau@163.com

钙是植物生长必需的中量元素之一,植物对钙的需求量仅次于氮、磷、钾,钙在植物生长发育及新陈代谢过程中发挥着重要作用;适量的钙素供应在提高植物抗盐、抗旱、抗寒、抗热、抗病性等方面均发挥积极作用^[1-3]。因此,为了指导生产优质高产蔬菜,研究蔬菜栽培地土壤钙素含量等问题具有重要意义。

近年来,保护地因长期过量施肥、室内高温高湿、缺少雨水淋洗以及不合理灌溉,其土壤酸化、盐分积累速度加快^[4-7],这些土壤问题在一定程度上影响土壤中钙素的累积和迁移。不同灌溉方式会导致单位面积农田单次灌溉量不同,进而导致灌溉湿润过程、部位、土壤体积以及灌溉后土壤水分运动方向、速率等不同,因此,灌溉可能是影响保护地土壤钙素形态分布、积累、流失的原因之一。目前,关于土壤钙素形态及其含量的研究主要集中在施肥方

面^[8-10],关于不同灌溉方式对保护地土壤钙素形态及其含量的影响研究较少。为此,本研究以连续 13 a 进行定位灌溉试验的保护地土壤为供试材料,分析不同灌溉方式下不同深度土层不同形态钙素含量,探讨灌溉方式对土壤钙素积累、迁移及其有效性的影响,以期为保护地蔬菜栽培中水分的合理管理提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验在沈阳农业大学校内科研基地的长期定位灌溉试验保护地进行,灌溉试验于 1998 年开始,2011 年结束。供试土壤为草甸土;供试番茄品种为 L402,每年栽植一季。试验开始前土壤基本化学性质见表 1。

表 1 供试土壤基本化学性质

pH	有机质/ (g/kg)	全氮/ (g/kg)	全磷/ (g/kg)	全钾/ (g/kg)	碱解氮/ (mg/kg)	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
6.80	22.70	1.30	1.86	17.60	96.91	103.10	164.00

1.2 试验设计

长期定位灌溉试验设沟灌、滴灌、渗灌 3 种处理,每一处理重复 4 次,小区随机排列,小区面积为 8 25 m²。每小区中部按 10、20、30、40、50 cm 深度分别埋设张力计(澳大利亚 ICT 公司生产),试验过程中每天观测土壤水吸力的变化,确定开始灌溉时间,当埋深 20 cm 土壤水吸力观测值达 40 kPa 时开始为该小区灌溉。沟灌按常规方法进行灌溉。滴灌管采用中国科学院上海植物生理所研制的薄膜滴灌管(直径 20 mm、出水孔间距 30 cm),滴灌管铺设于地表,出水孔与番茄根部位置相对。渗灌管使用河南济源塑料厂生产的黑色微孔渗灌管(外径 20 mm、内径 16 mm),渗灌管埋深 30 cm,位置与番茄种植行垂直,管下铺宽 10 cm 的塑料薄膜,以防水分下渗。为防止土壤颗粒堵塞管壁上的渗水口,管上铺 2 cm 厚的稻壳以起到过滤的作用。各小区之间用埋深 60 cm 塑料薄膜隔开,以防水分相互渗漏。不同灌水方式具体灌水参数如表 2 所示。

表 2 灌溉基本情况

处理	灌水总量/ (m ³ /hm ²)	灌水次数/次	单次灌水量/ (m ³ /hm ²)	计划湿润 层厚度/m	计划湿润比
渗灌	1 691.5	12	140.96	0.3	0.5
滴灌	1 912.7	11	173.88	0.4	0.5
沟灌	2 295.9	6	382.65	0.4	1.0

各灌溉处理施肥相同,春季作物移栽前整地,底施腐熟有机肥(鸡粪)37 500 kg/hm²,其养分含量如表 3 所示。其余田间管理同当地保护地,收获后,保护地一直保持覆盖状态。

表 3 有机肥养分含量

水分/ %	全氮/ (g/kg)	全磷/ (g/kg)	全钾/ (g/kg)	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)	有机质/ (g/kg)
44.50	5.20	3.50	2.40	2 560.00	3 225.00	324.00

1.3 土壤样品采集与分析

于 2011 年 4 月移栽整地前采用 S 形布点,分别采集 0~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80 cm 土层土样,将同一土层 7 点土样混合,土样采回后立即风干,用于测定全钙含量的样品过 0.15 mm 筛,用于测定酸溶性钙含量的样品过 0.25 mm 筛,用于测定水溶性钙、交换性钙含量的样品过 2 mm 筛。

采用 HNO₃-HClO₄ 消煮法测定土壤全钙含量;采用 0.25 mol/L HCl 浸提法测定土壤酸溶性钙含量;采用 1 mol/L 中性 NH₄OAc 浸提法测定土壤交换性钙含量;采用无离子水浸提(水土比 5:1)、振荡 5 min 后离心取上清液的方法测定水溶性钙含量。提取出的钙溶液均用原子吸收分光光度法测定。土壤 pH 值用玻璃电极法(水土比 1:2.5)测定;土壤有机质含量用 C、N、S 元素分析仪(Elemen-

tar verio III)测定^[11]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式对土壤全钙含量的影响

土壤全钙含量决定着土壤的潜在供钙能力。由表 4 可知,在 0~80 cm 土层,土壤全钙含量介于 5.367~9.393 g/kg,3 种灌溉处理土壤全钙含量均随土层深度增加而显著降低。

对同一土层深度不同灌溉处理全钙含量进行比较,0~10 cm 土层土壤全钙含量均表现为渗灌>沟灌>滴灌,10~30、60~80 cm 土层全钙含量均表现为渗灌>滴灌>沟灌,30~60 cm 土层全钙含量均表现为滴灌>渗灌>沟灌(表 4)。总体上,供试土壤全钙含量表现为渗灌处理高于沟灌、滴灌处理,3 种灌溉处理间差异达到极显著水平。

表 4 不同灌溉处理土壤全钙含量 g/kg

土层深度/cm	渗灌	滴灌	沟灌
0~5	9.393aA	8.216aC	9.030aB
5~10	8.365bA	7.867abC	8.294bB
10~20	7.551cA	7.262bB	7.163cC
20~30	7.075dA	6.861bcB	6.533dC
30~40	6.132eB	6.404cdA	6.112eC
40~60	5.735fB	6.054deA	5.557fC
60~80	5.676fA	5.625eB	5.367fC

注:同列不同小写字母表示同一灌溉方式不同土层间差异达极显著水平($P<0.01$);同行不同大写字母表示同一土层不同灌溉方式间差异达极显著水平($P<0.01$),下同。

2.2 不同灌溉方式对土壤酸溶性钙含量的影响

土壤中的酸溶性钙主要包括与碳酸盐、硫酸盐及铁、锰氧化物结合的钙。由表 5 可知,0~80 cm 土层土壤酸溶性钙含量介于 0.139~1.978 g/kg,3 种灌溉处理土壤酸溶性钙含量均随土层深度增加而显著降低。

表 5 不同灌溉处理土壤酸溶性钙含量 g/kg

土层深度/cm	渗灌	滴灌	沟灌
0~5	1.674aB	1.978aA	1.220aC
5~10	1.103bB	1.630bA	0.807bC
10~20	0.642cB	1.139cA	0.397cC
20~30	0.630cB	0.972dA	0.382C
30~40	0.249dC	0.492eA	0.255dB
40~60	0.262dA	0.252fB	0.127fC
60~80	0.139eC	0.208fA	0.165eB

对同一土层深度不同灌溉处理酸溶性钙含量进行比较,0~30 cm 土层土壤酸溶性钙含量均表现为滴灌>渗灌>沟灌,30~40、60~80 cm 土层土壤酸溶性钙含量均表现为滴灌>沟灌>渗灌,40~60 cm 土层土壤酸溶性钙含量表现为渗灌>滴灌>沟灌(表 5)。总体上,供试土壤酸溶性钙含量表现为滴灌>渗灌>沟灌,3 种灌溉处理间差异达到极显著水平。

2.3 不同灌溉方式对土壤水溶性钙含量的影响

水溶性钙指土壤溶液中以游离态形式存在的钙离子,土壤中的有效钙一般指交换性钙和水溶性钙^[12]。由表 6 可知,0~80 cm 土层土壤水溶性钙含量介于 0.179~2.128 g/kg,3 种灌溉处理土壤水溶性钙含量均随土层深度增加呈现先显著降低后略有升高的趋势,并且均呈现出明显的表聚现象。

对同一土层深度不同灌溉处理水溶性钙含量进行比较,0~10 cm 土层土壤水溶性钙含量均表现为渗灌>沟灌>滴灌,10~80 cm 土层土壤水溶性钙含量均表现为沟灌>渗灌>滴灌(表 6)。总体上,土壤水溶性钙含量表现为沟灌>渗灌>滴灌,3 种灌溉处理间差异达到极显著水平。

表 6 不同灌溉处理土壤水溶性钙含量 g/kg

土层深度/cm	渗灌	滴灌	沟灌
0~5	2.128aA	1.711aC	1.878aB
5~10	1.406bA	0.986bC	1.285bB
10~20	0.401cB	0.347cC	0.535cA
20~30	0.254cdB	0.234cdC	0.260dA
30~40	0.205dB	0.179dC	0.245dA
40~60	0.237cdB	0.206cdC	0.260dA
60~80	0.251cdB	0.205cdC	0.268dA

2.4 不同灌溉方式对土壤交换性钙含量的影响

土壤交换性钙是指吸附于土壤胶体表面的钙离子^[13]。交换性钙和水溶性钙一样,都是植物生长发育可以吸收的有效钙^[10]。由表 7 可知,0~80 cm 土层土壤交换性钙含量介于 0.128~1.819 g/kg,3 种灌溉处理土壤交换性钙含量总体上随土层深度增加而显著增加。

对同一土层深度不同灌溉处理交换性钙含量进行比较,0~5、20~30 cm 土层土壤交换性钙含量均表现为滴灌>沟灌>渗灌,5~10 cm 土层土壤交换性钙含量表现为滴灌>渗灌>沟灌,10~20、40~80 cm 土层土壤交换性钙含量均表现为渗灌>滴灌>沟灌,30~40 cm 土层土壤交换性钙含量表现为渗灌>沟灌>滴灌(表 7)。总体上,土壤交换性钙含量表现为渗灌、滴灌处理高于沟灌处理,

3 种灌溉处理间差异达到极显著水平。

表 7 不同灌溉处理土壤交换性钙含量 g/kg

土层深度/cm	渗灌	滴灌	沟灌
0~5	0.128eC	0.357eA	0.266fB
5~10	0.778dB	0.956dA	0.692eC
10~20	1.595bA	1.495cB	1.317dC
20~30	1.480cC	1.508cA	1.506cB
30~40	1.675bA	1.575bC	1.603bB
40~60	1.806aA	1.698aB	1.676aC
60~80	1.819aA	1.727aB	1.694aC

2.5 不同灌溉方式对土壤 pH 值的影响及土壤 pH 值与土壤各形态钙含量的关系

受作物养分吸收、肥料带入、氮素等元素形态转化、根系分泌以及微生物作用等因素的影响,保护地土壤中 H^+ 大量增加^[14]。

从图 1 可知,0~80 cm 土层土壤 pH 值介于 6.15~6.79。不同灌溉处理土壤 pH 值均随着土层深度增加而升高。0~60 cm 土层土壤 pH 值表现为滴灌>渗灌>沟灌,60~80 cm 土层土壤 pH 值表现为渗灌>滴灌>沟灌,且在 0~80 cm 土层滴灌和沟灌处理土壤 pH 值差异显著,在 30~80 cm 土层渗灌和沟灌处理土壤 pH 值差异显著,在 10~30 cm 土层滴灌和渗灌处理土壤 pH 值差异显著。这可能是因为沟灌单次灌水量大,灌水后较滴灌、渗灌处理湿润土壤体积大、层次深、地表水分含量高,使地表蒸发、作物蒸腾强烈,在此过程中,较滴灌、渗灌处理,沟灌处理水分会把较多的 H^+ 、 Al^{3+} 、 NO_3^- 等致酸离子带至上层土壤,以致沟灌处理较其他灌溉处理酸性强;渗灌是地下灌溉,受保护地地表强烈蒸发和植物吸收的影响,土壤水分在毛管力作用下以向上运动为主,由于单次灌水量较少,每次灌水后湿润范围达不到地表,致使致酸离子随水运动在 10~30 cm 大量累积;滴灌只能局部湿润上层土体,单次灌水量少,灌水周期短、次数多,且水分运动总体上是呈上下双向的,致使滴灌处理致酸离子等累积程度较低。

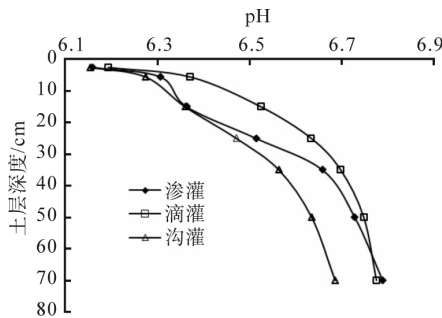


图 1 不同灌溉处理土壤 pH 值变化

如表 8 所示,总体上,土壤 pH 值与酸溶性钙含量呈极显著正相关关系,与水溶性钙含量呈显著或极显著负相关关系,与全钙、交换性钙含量呈正相关。

表 8 土壤 pH 值与全钙、酸溶性钙、水溶性钙、交换性钙含量之间的相关系数

土层深度/cm	全钙	酸溶性钙	水溶性钙	交换性钙
0~5	0.635*	0.772**	-0.716**	0.786**
5~10	0.132	0.716**	-0.788**	0.852**
10~20	0.190	0.915**	-0.731**	0.481
20~30	0.452	0.929**	-0.635*	0.438
30~40	0.785**	0.771**	-0.658*	0.459
40~60	0.812**	0.840**	-0.915**	0.668*
60~80	0.965**	0.361	-0.689*	0.590*

注: * 表示相关性显著 ($P<0.05$), ** 表示相关性极显著 ($P<0.01$),下同。

2.6 不同灌溉方式对土壤有机质含量的影响及土壤有机质与土壤各形态钙含量的关系

有机质是土壤微生物生命活动的能源,是土壤肥力的物质基础,是胶结土壤颗粒的重要物质,为植物生长提供各种营养元素^[15]。与有机质络合的离子态钙可直接为植物所吸收,避免被磷酸根等阴离子沉淀固定。土壤中的钙离子主要以随水分下渗的方式流失,钙易被带电的黏粒所吸附,而不失去其有效性,可减少水分淋洗损失。土壤有机质含量高,则土壤保水保肥能力强,且土壤胶体表面的吸附点位增多,一定程度上增加了胶体表面的吸附钙含量,减少了钙素的流失,使得钙的有效性提高,钙营养的供应时期延长。

由图 2 可见,0~80 cm 土层土壤有机质含量为 8.29~42.85 g/kg。3 种灌溉处理土壤有机质含量均随着土层深度增加而降低,以表层土壤最高。这是由于每年向耕层土壤大量施用有机肥所致。在 0~40 cm 土层土壤有机质含量随土层深度增加迅速降低,尤其是渗灌处理,这是由于渗灌处理灌水管埋深为 30 cm,使得 10~40 cm 土层土壤水热状况良好,有利于有机质分解,所以 10~40 cm 土层土壤有机质含量急剧降低;40~80 cm 土层土壤有机质含量随土层深度增加而降低,但变化幅度减小,最终趋于稳定。总体上,渗灌处理表层土壤有机质累积明显,这是因为渗灌单次灌水量最小,灌水后难以湿润土壤表层,抑制了表层土壤有机质分解;沟灌次之,这是因为沟灌单次灌水量大,灌水后土壤中大多数微生物停止活动,部分抑制了土壤中有机质的分解。

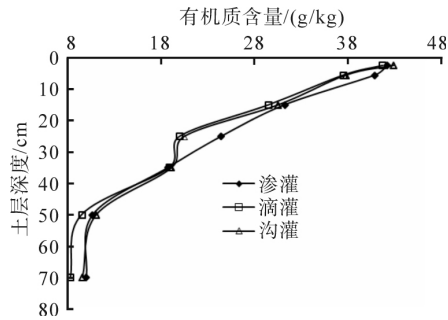


图 2 不同灌溉处理土壤有机质含量变化

从表 9 可以看出, 5~80 cm 土壤全钙、酸溶性钙、交换性钙含量与土壤有机质含量呈显著或极显著正相关关系, 水溶性钙含量与之呈负相关关系。

表 9 土壤有机质与全钙、酸溶性钙、水溶性钙、交换性钙含量之间的相关系数

土层深度/cm	全钙	酸溶性钙	水溶性钙	交换性钙
0~5	0.193	0.396	-0.222	0.610*
5~10	0.757**	0.728**	-0.577*	0.664*
10~20	0.670*	0.697*	-0.550	0.794**
20~30	0.760**	0.873**	-0.551	0.789**
30~40	0.702*	0.672*	-0.577*	0.799**
40~60	0.750**	0.814**	-0.548	0.880**
60~80	0.770**	0.701*	-0.853**	0.706*

3 结论与讨论

本研究结果表明, 连续 13 a 用于蔬菜栽培的保护地, 其土壤全钙、酸溶性钙含量随土层深度增加而显著降低; 水溶性钙含量随土层深度增加呈先显著降低后缓慢增加的趋势; 交换性钙含量随土层深度增加而显著增加。总体上, 全钙含量表现为渗灌处理高于滴灌、沟灌处理, 酸溶性钙含量表现为滴灌 > 渗灌 > 沟灌, 交换性钙含量表现为渗灌、滴灌处理高于沟灌处理, 水溶性钙含量表现为沟灌 > 渗灌 > 滴灌。

灌溉方式不同, 灌水过程及灌水后水分进入土壤速度不等、方向各异, 引起土壤 pH 值、有机质含量等理化性质各异^[16-17], 导致土壤中钙素形态及含量分布不同。本研究结果表明, 各土层土壤 pH 值与酸溶性钙含量呈极显著正相关关系, 与水溶性钙呈显著或极显著负相关关系; 各层土壤有机质含量与土壤全钙、酸溶性钙、交换性钙含量呈显著或极显著正相关关系。

从作物根系层土壤钙素的有效性评价, 3 种灌溉方式中, 总体上以渗灌处理土壤有效钙含量最高, 而滴灌处理土壤有效钙含量最低, 渗灌比滴灌、沟灌更适用于保护地蔬菜栽培灌溉, 而滴灌处理则不利

于土壤钙素供应。因此, 保护地蔬菜栽培应优先选用渗灌进行灌溉。

参考文献:

- [1] 宗会, 李明启. 钙信使在植物适应非生物逆境中的作用[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(4): 330-335.
- [2] 吴刚, 李金英, 曾晓舵. 土壤钙的生物有效性及与其它元素的相互作用[J]. 生态环境, 2001, 11(3): 319-322.
- [3] Johannes E, Crofts A, Sanders D. Control of Cl⁻ efflux in *Chara corallina* by cytosolic pH, free Ca²⁺, and phosphorylation indicates a role of plasma membrane anion channels in cytosolic pH regulation[J]. Plant Physiol, 1998, 118: 173-181.
- [4] Fidler J. Temperature characteristics and Bowen ratio in potato stands under various irrigation regimes[J]. Rostlinna Vyroba, 1995, 41(10): 451-457.
- [5] 王伟承, 张玉龙, 姬景红, 等. 灌溉方法对保护地番茄需水特点的影响[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(3): 93-96.
- [6] 邓玉龙, 张乃明. 设施土壤 pH 值与有机质演变特征研究[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 367-370.
- [7] 张永春, 汪吉东, 沈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 465-472.
- [8] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 等. 沈阳市郊耕地不同土属交换态钙镁铁锰铜锌含量状况的分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(3): 207-210.
- [9] 张大庚, 李天来, 依艳丽, 等. 沈阳市郊温室土壤钙素特征的初步研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 200-203.
- [10] 张大庚, 祝艳青, 李天来, 等. 长期定位施肥对保护地土壤钙素形态分布的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 198-202.
- [11] 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: 30-33.
- [12] 周卫, 林葆. 土壤中钙的化学行为与生物有效性研究进展[J]. 土壤肥料, 1996(5): 19.
- [13] 袁可能. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 99-101.
- [14] 徐仁扣. 某些农业措施对土壤酸化的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385-388.
- [15] 崔立莉, 李吉进, 邹国元, 等. 膨润土对土壤肥力的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(2): 76-80.
- [16] 阎亭廷, 张玉龙, 李爽, 等. 灌溉方式对保护地土壤微团聚体及其碳、氮分布的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 278-282.
- [17] 王敬国. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995: 131-138.