植物营养与肥料学报 2015,21(1): 121 -127
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2015.0113

温度对不同年限日光温室土壤氮素矿化特性的影响

王士超, 周建斌*, 陈竹君, 满 俊
(西北农林科技大学资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要:【目的】日光温室作为具有我国特色的一种高强度的栽培方式,过量施肥问题突出。随着温室栽培在我国北方地区规模的不断扩大,由此带来的土壤退化和地下水污染问题值得关注。不少研究表明,随着日光温室栽培年限的增加,土壤有机质含量不断增加;且温室栽培中的土壤温度与露地存在很大差异,其土壤氮素矿化特性如何,尚缺乏研究。**【方法】**本研究以位于黄土高原南部陕西省杨凌示范区不同栽培年限的日光温室土壤为研究对象,采用室内好气培养法(84 d)测定不同培养温度(20℃和30℃)对不同年限温室(0～3年)土壤0—20 cm及20—40 cm土层氮素矿化量,采用一级动力学方程拟合土壤氮素矿化曲线,根据土壤氮矿化势(N_0)评价不同栽培年限温室土壤氮素矿化特性。**【结果】**1)随着日光温室栽培年限的增加,土壤有机质、全氮含量和氮素累积矿化量随之显著增加。2)30℃的土壤氮素累积矿化量高于20℃的矿化累积量;栽培年限长的日光温室矿化作用对温度的敏感程度高于年限短的温室。3)若温度和栽培年限同时增加,土壤氮素累积矿化量随之增加,说明温度和栽培年限对土壤氮素净矿化量有一定的交互作用,但差异不显著($P>0.05$)。4)日光温室栽培年限越长,土壤氮矿化势(N_0)越大;与种植前相比,第2a、3a温室土壤氮矿化势增加了5.59和11.48倍。5)回归分析表明,0—20 cm土层土壤有机质含量每增加1 g/kg,20℃和30℃条件下土壤氮矿化势(N_0)分别增加2.70及3.18 mg/kg;土壤全氮含量每增加1 g/kg, N_0分别增加37.28及43.12 mg/kg。**【结论】**日光温室土壤氮素矿化量随其栽培年限的增加显著增加;培养温度由20℃增加到30℃,土壤氮素矿化量也明显增加,日光温室栽培年限和温度对土壤氮矿化有一定的正交互效应。因此,在日光温室氮素管理中应考虑栽培年限和温度对土壤氮素矿化的影响,以采取针对性的氮素管理措施。

关键词: 日光温室; 温度; 土壤氮素矿化; 栽培年限
中图分类号: S626.5;S135.6+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)01-0121-07

Effects of temperature on soil nitrogen mineralization in solar greenhouses with different cultivation years

WANG Shi-chao, ZHOU Jian-bin*, CHEN Zhu-jun, MAN Jun
(*College of Natural Resources & Environment, Northwest A&F University/Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract:【Objectives】 Vegetables cultivated in solar greenhouse are under a very intensive and unique production system in China. However, over-application of fertilizers is very common. As the development of this system in north China, it results in a series of problems, including the degradation of soil properties, groundwater pollution. Many studies found that the content of soil organic matter was increased as the age of solar greenhouse. Unlike open fields, soil temperature in solar greenhouse is higher, and could affect nitrogen mineralization from the greenhouse soils. However, there is few research to study this topic. **【Methods】** Soil samples (0-20 cm and 20-40 cm layers) were collected from greenhouses with different ages (0, 2, and 3 years) in Yangling, Shaanxi which locates at the south edge of Loess Plateau. The contents of soil organic matter and total nitrogen were analyzed. An incubation method (84 d) was used to study effects of different temperatures (20℃ and 30℃) on soil nitrogen mineralization in the solar greenhouses. The first order reaction model was used to fit curve of soil N mineralization,

收稿日期: 2013-12-31 **接受日期:** 2014-06-21
基金项目: 国家"十二五"科技支撑计划项目课题(2012BAD15B04);高等学校学科创新引智计划(B12007);中英农业国际合作项目资助。
作者简介: 王士超(1978—),女,河北保定人,博士,主要从事农田物质循环与环境研究。E-mail: wangschao@163.com
* 通信作者 Tel: 029-87082793, E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

and nitrogen mineralization potential (N_0) was used to evaluate the soil N mineralization. 【**Results**】1) The contents of soil organic matter, total N, and the accumulative mineralized N in different greenhouses are increased with the increase of greenhouse ages. 2) The soil mineralized N amount at 30 ℃ is higher than that at 20 ℃. The response of the mineralized N to temperature in soil with long cultivating history is higher than that in soil with short cultivating history. 3) As the increases of soil temperature and the cultivating history, the soil mineralized N amount is increased, and the soil N_0 is also increased. There is a positive interaction between soil temperature and the cultivating history, however, the difference is not significant. 4) Compared to the soil before planting crops, the N_0 values of soils with 2 and 3 years history are increased by 5.59 and 11.48 times, respectively. 5) The regression analysis indicates that the N_0 values of soils at 20 ℃ and 30 ℃ are increased by 2.70 and 3.18 mg/kg when soil organic matter is increased by 1 g/kg, and when soil total N content is increased by 1 g/kg, the N_0 values of soils at 20 ℃ and 30 ℃ are increased by 37.28 and 43.12 mg/kg, respectively. 【**Conclusions**】With the increase of cultivation year, the N mineralization from the greenhouses is increased significantly. When soil temperature increases from 20 ℃ to 30 ℃, the soil N mineralization is also increased. The accumulation of mineralized N of longer cultivated soil responses remarkably to the temperature changes. We conclude that when making sound N fertilizer recommendation for vegetable crops in solar greenhouses, the effects of temperature and cultivating history on the N mineralization from soil needs to be considered.

Key words: solar greenhouse; temperature; soil N mineralization; cultivation year

西北地区具有温差大、生态类型多样以及气候干旱等特点,是发展节能型日光温室的优势区域[1]。截至2011年底,西北地区节能型日光温室的面积占全国设施农业面积的8%,陕西约为5.33×10^4 hm^2[2];目前,以日光温室为代表的设施栽培方式在西北地区还在不断发展,以陕西省为例,2009年起实施了“百万亩设施蔬菜工程”。而农民为获得最大的经济效益,盲目过量施肥[3],造成了土壤养分的大量累积,尤以氮的累积问题突出[4-5]。日光温室温度较高,室内土壤水分蒸发量相对较大,且随着栽培年限的延长,过量施肥后导致土壤中残留肥料量越来越高[6-7],由此也带来了一系列的生态环境问题[8]。

土壤有机态氮约占土壤全氮量的90%以上,因此,其矿化特性是影响土壤氮素供应的关键过程[9]。温度是影响土壤氮矿化的最主要的环境因子之一[10],在一定温度范围内(-4～40℃),土壤氮矿化速率随温度的升高而增加[11]。室内培养实验的研究表明,在5～35℃之间,氮矿化速率与温度呈正相关[12]。升温对土壤氮的矿化有利,同时也有利于作物吸收矿质氮。土壤氮矿化量可反映氮的矿化能力,矿化量与土壤全氮和有机氮含量呈显著正相关[13]。在不同区域,土壤类型不同,氮矿化的温度最适范围也不相同。目前,关于土壤氮素矿化过程的影响因素的研究主要集中于农田土壤[14-15],对日光温室土壤氮素矿化特性的研究很少,而且在日光温室栽培条件下,相对封闭的栽培条件决定了温室土壤温度的变化规律与露地存在很大差异;且随着栽培年限的增加,日光温室土壤累积的有机质量不断增加,其氮素矿化特性如何,尚缺乏研究。因此,日光温室栽培条件下温度对土壤氮素矿化特性的影响,是值得研究的问题。

本研究以陕西杨凌不同栽培年限的日光温室土壤为研究对象,采用好气培养法研究了日光温室土壤氮素矿化特征,旨在为养分高效与温室环境的协同效应和日光温室蔬菜生产中氮肥的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自黄土高原南部陕西杨凌农业高新科技示范区大寨、五泉两个乡镇,当地属大陆性季风气候,海拔520 m左右,年均降水量约660 mm,集中于7～9月,年均温度为12.9℃,土壤为塿土。当地日光温室建棚时间在2009～2010年之间,建棚时将原农田土壤的表层土移走用于堆砌保温土墙,因此,温室内表层土壤养分含量较低。单个日光温室面积多在350～700 m^2之间,种植蔬菜种类为番茄,一般每年10月份左右定植,第二年6月底拉秧;番茄产量在100～180 t/hm^2之间,平均145 t/hm^2[4, 16]。该区域施用的有机肥以鸡粪和牛粪为主,极少数农户施用猪粪、沼渣及羊粪,每年施用量

为 142 t/hm^2。氮、磷、钾化肥用量分别为 690 kg/hm^2、720 kg/hm^2 和 759 kg/hm^2,其中氮肥、钾肥部分作基肥,其余的作追肥分 5～7 次施用,磷肥和有机肥作基肥于整地前一次施入。

选择 3 个 2009 年新建日光温室作为研究对象,于种植前和种植后 2 年、3 年(即 2009、2011 和 2012 年),每年 6 月下旬在种植的蔬菜收获后,分别采集 0—20 cm 和 20—40 cm 土层土壤样品,土样剔除番茄根茬后风干过 1 mm 筛,用于培养试验。

1.2　试验设计

试验设种植年限和温度两个因素,种植年限包括 0 年(0a)、2 年(2a)和 3 年(3a),温度设 20℃和 30℃ ,共组成 6 个处理,每个处理重复 3 次。

称取过 1 mm 孔筛的风干土样 100.0 g 于 300 mL 的塑料瓶中,按 70% 的田间持水量加水后,用已打孔的塑料薄膜封口,分别置于 20℃和 30℃恒温培养箱中培养。每 3～4 d 称重 1 次,补充损失的水分。分别在培养的第 0、3 d、7 d、14 d、28 d、42 d、56 d、70 d 和 84 d,从每个处理的各个重复中取出 5.0 g 新鲜土样,测定土壤矿质氮含量。

1.3　测定项目与方法

土壤矿质氮的测定方法为在 5.0 g 新鲜土样中加入 50 mL 1 mol/L 的 KCl 溶液,振荡 1h 后,过滤,滤液冷冻保存。测定前将滤液解冻,用连续流动分析仪测定NH_4^+-N和NO_3^--N浓度,NH_4^+-N和NO_3^--N之和即为土壤矿质氮(Nmin)的含量。根据培养结束后与起始时土壤无机氮含量之差计算土壤氮素矿化量。

土壤氮素矿化量 = 培养后无机氮含量 - 培养前无机氮含量

土壤氮矿化单因素指数模型 $N_t = N_0(1 - e^{k_0 t})$

式中: N_t 是培养时间 t 时氮矿化量(mg/kg); N_0 是矿化势(mg/kg); k_0 为矿化速率常数; t 为矿化时间(d)。

用 SAS for Windows(version 8.0)进行方差分析和显著性测验,Sigmaplot(version 12.0)绘图。

2　结果与分析

2.1　不同栽培年限的土壤基本肥力性状

表 1 表明,0—20 cm 土层土壤有机质含量介于 8.7～26.5 g/kg,2a、3a 分别比种植前土壤高 62.07% 和 204.60%;土壤全氮含量 2a、3a 比种植前土壤分别高 0.38 和 1.22 倍。可见,3a 土壤有机质和全氮含量均显著高于种植前土壤。

表 1　供试土壤理化性质

Table 1　The basic physical and chemical properties of soils investigated

土层(cm) Soil layer	处理 Treatment	有机质(g/kg) Organic matter	全氮(g/kg) Total N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K
0—20	种植前 0 a	8.7 ±0.6 B	0.76 ±0.01 B	9.0 ±2.3 B	144.2 ±5.9 C
	第 2 年 2 a	14.1 ±1.50 AB	1.05 ±0.07 A	101.2 ±8.3 A	286.6 ±71.1 B
	第 3 年 3 a	26.5 ±3.90 A	1.69 ±0.24 A	139.1 ±11.6 A	423.9 ±61.6 A
20—40	种植前 0 a	6.3 ±0.4 B	0.64 ±0.1 A	8.7 ±1.4 B	135.2 ±7.9 A
	第 2 年 2 a	12.1 ±1.25 A	0.99 ±0.01 A	36.4 ±2.48 A	136.0 ±15.2 A
	第 3 年 3 a	19.3 ±5.66 A	1.25 ±0.42 A	61.2 ±13.5 A	185.6 ±41.3 A

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 1% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 1% level.

2.2　土壤氮素累积矿化量

图 1 显示,0—20 cm 土壤中,随着培养时间的延长,不同栽培年限温室土壤氮素累积矿化量均呈增加的趋势,其中栽培年限越长,土壤氮素累积矿化量越高。2a 和 3a 分别比种植前高 2.16 倍和 10.21 倍;两个温度水平相比,30℃条件下土壤氮素累积矿化量高于 20℃的矿化累积量,与种植前相比,栽培 3a 和 2a 的氮素累积矿化量在不同温度间的差异均达到显著水平($P < 0.01$)。栽培 3a 温室在 30℃时的氮素累积矿化量与 20℃相比增加了 4.68 mg/kg,2a 和 0a 分别增加了 1.59 和 0.91 mg/kg。表明栽培年限长的日光温室矿化作用对温度的敏感程度高于栽培年限短的温室;土壤温度和栽培年限对净氮矿化累积量有一定的正交互作用,但差异不显著($P > 0.05$)。若温度和栽培年限同时增加,土壤氮素累积矿化量随之增加,在栽培年限长的情况下,温度

的效果更为突出。

从图1中还可以看出,在20℃和30℃培养条件下,土壤氮素矿化的趋势基本一致。不同栽培年限温室20—40 cm土层土壤氮素累积矿化量均低于0—20 cm土层,这与该土层土壤有机质含量相对较低有关。

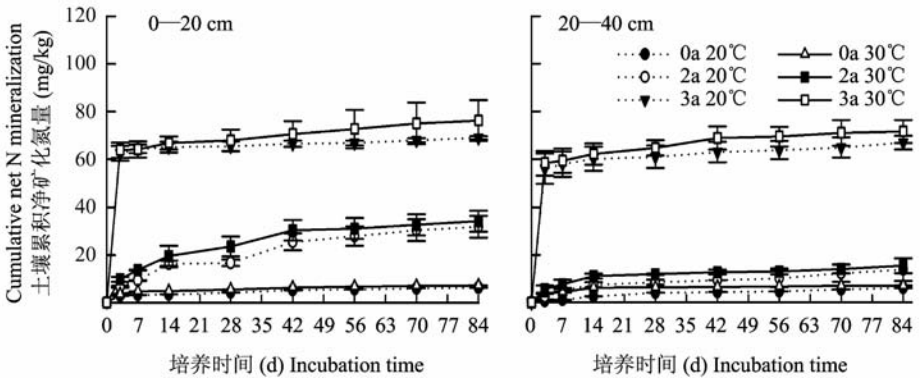

图1 土壤氮素矿化累积量的变化趋势

Fig. 1 The cumulative nitrogen mineralization amounts from different soils in solar greenhouses

2.3 土壤氮素矿化模型

从单因素指数模型模拟结果(表2)可以看出,栽培年限越长,0—20 cm土层土壤的氮矿化势(N_0)越大。与种植前相比,2a、3a土壤氮矿化势(N_0)分别增加了5.59和11.48倍。任意两个年限之间的N_0值差异均达到5%显著水平。对于K_0值,不同温度之间差异不大;无论哪个栽培年限,随着温度的升高,氮矿化势增大。同一年限两个温度处理间的N_0差异未达到显著水平。20—40 cm土壤氮矿化势(N_0)的变化趋势与0—20 cm土壤基本一致,同一栽培年限土壤N_0为0—20 cm >20—40 cm,说明栽培年限长的温室土壤供氮能力高于栽培年限短的温室土壤,提高温度有利于土壤氮的矿化。

2.4 土壤氮矿化势与有机质及全氮含量的关系

由图2可看出,不同温度条件下土壤氮矿化势(N_0)与有机质和全氮含量存在显著的线性关系,30℃条件下土壤氮矿化势增加的幅度大于20℃。从回归模型看,土壤有机质含量每增加1 g/kg,20℃和30℃条件下土壤氮矿化势(N_o)分别增加2.70 mg/kg和3.18 mg/kg;土壤全氮含量每增加1 g/kg,N_o分别增加37.28 mg/kg和43.12 mg/kg。

表2 用单因素指数模型拟合的不同温度土壤氮矿化参数

Table 2 Estimated parameters using the single model of N mineralization at different temperatures

土层(cm) Soil layer	处理 Treatment	20℃		30℃	
		N_0(mg/kg)	K_0	N_0(mg/kg)	K_0
0—20	种植前 0 a	5.81 ± 1.51 Ca	0.06	5.95 ± 0.04 Ca	0.03
	第2年 2 a	32.05 ± 4.57 Ba	0.04	33.74 ± 4.42 Ba	0.08
	第3年 3 a	66.50 ± 8.65 Aa	0.83	68.56 ± 8.53 Aa	0.74
20—40	种植前 0 a	5.64 ± 0.04 Ba	0.04	5.87 ± 0.04 Ba	0.08
	第2年 2 a	26.02 ± 4.84 Ba	0.06	26.27 ± 3.12 Ba	0.07
	第3年 3 a	56.55 ± 2.90 Aa	0.71	57.62 ± 4.88 Aa	0.63

注(Note):同列数据后不同大写字母表示同一温度不同年限土壤氮矿化势差异达5%显著水平,小写字母表示不同温度同一年限土壤氮矿化势差异达5%显著水平 Values followed by different capital letters in a column indicate in the same temperature of different cultivation years significant differences at the 5% level and different small letters indicate in the same cultivation year of different temperatures significant differences at the 5% level (Duncan's multiple comparison test).

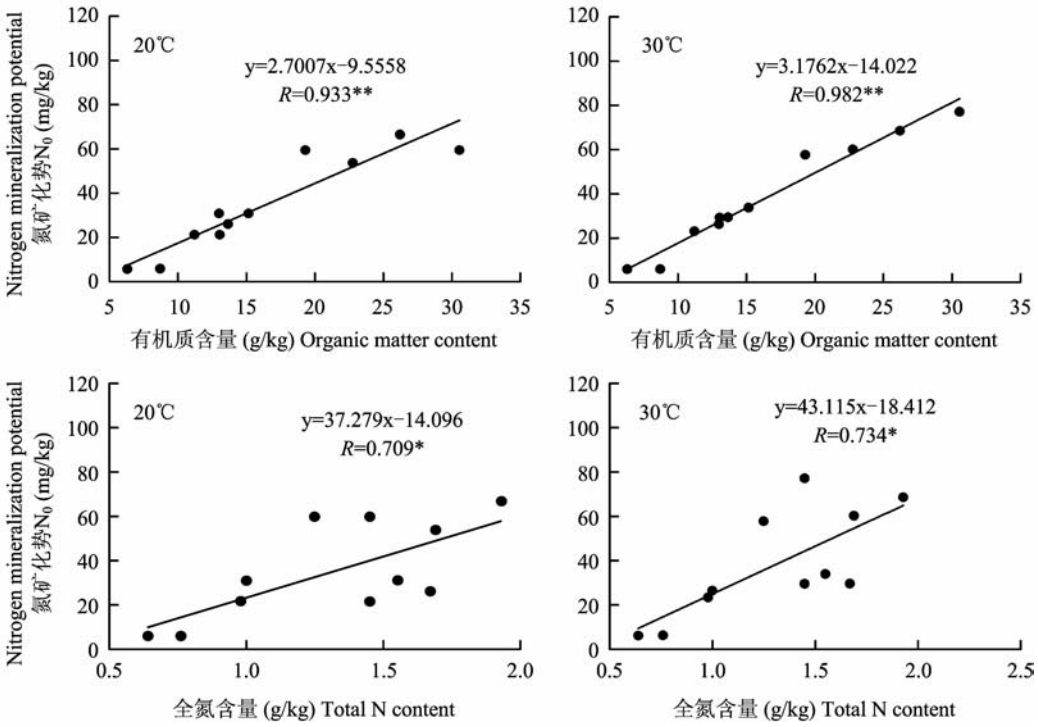

图 2　土壤氮素矿化势与有机质、全氮含量的关系

Fig. 2　The relationships between soil N_0 and organic matter and total N in soils

3　讨论

3.1　温度对土壤氮矿化的影响

有关温度对土壤氮矿化的研究,国内外已有大量报道。一般来说,土壤温度的升高对土壤氮素循环有促进作用[17]。土壤氮素的矿化过程与土壤温度密切相关[11]。赵长盛等[18]研究发现,在 5 ～35℃范围内土壤氮素矿化速率与土壤温度呈正相关关系,而氨化作用随着土壤温度的升高而降低。对草地的研究发现,土壤氮素的矿化速率随温度的升高而增加[19]。Ineson 等[20]利用野外增温培养试验研究发现,温度升高增加了土壤氮矿化量。在 5 ～35℃范围内,土壤氮素矿化速率与土壤温度呈正相关[18, 21]。据张树兰等[22]的研究,20℃时,硝化作用进程减慢,速率也随之降低;而 30℃是陕西土壤最适宜的硝化温度。陈伏生等[23]对红壤的研究表明,土壤温度增加对提高土壤氨化速率和净矿化速率有利。而关于温度对不同年限日光温室土壤氮矿化特性的研究尚未见报道。本研究结果表明,在 20 ～30℃范围内,3 个栽培年限的土壤氮矿化量随着温度的升高而增加,这是由于温度升高增加了土壤微生物的数量[24]。相同栽培年限不同温度处理对土壤氮矿化累积量的响应差异未达显著水平,而不同年限两个温度水平间土壤氮矿化累积量的变幅差异达到了极显著水平,说明温度对栽培年限长的日光温室土壤氮矿化过程的影响更明显。因此,在日光温室氮素管理中应考虑温度对土壤氮素矿化作用的影响,如在温度较低的冬季,土壤氮素矿化量低,为满足作物对氮素的需要,可以适当补充化肥氮;而在高温的夏季,土壤氮素矿化量高,可适当降低氮肥的用量。

3.2　栽培年限对土壤氮矿化的影响

利用长期定位试验对水稻土(10℃、30℃培养 56 d)的研究表明,长期施肥明显提高了土壤氮素含量,也可提高土壤累积矿化氮量和矿化速率[25]。本研究结果表明,栽培年限长的温室土壤氮矿化量高于年限短的土壤,这是因为土壤氮矿化量与土壤有机质和全氮含量呈显著正相关关系,而随着栽培年限的增加,氮素累积量也随之增加[16, 26]。贺发云等[27]对菜地和粮田土壤的研究也表明,土壤氮素矿化量与全氮含量呈极显著正相关。王帘里等[28]对旱地土壤(15 ～30℃培养 15 d)研究表明,有机质含量高的土壤累积净氮矿化量高于低有机质含量的土壤,且高有机质含量的土壤氮矿化的温度敏感性强,土壤累积矿化氮量与全氮和有机质含量有显著关系,说明土壤有机质和全氮的含量是决定氮素矿化

量的重要因素。

本研究同时发现,随着栽培年限的增加,不仅提高了日光温室土壤0—20 cm土层土壤的矿化氮量,同时显著提高了20—40 cm土层土壤的氮矿化量,无疑大大提高了土壤的供氮量。因此,随着日光温室栽培年限的增加,应降低化学氮肥的用量,以避免氮素投入过量问题。

4 结论

随着培养温度的增加,土壤氮矿化势随之增加;栽培年限长的温室土壤净氮矿化累积量对温度变化的响应效果更为突出,栽培年限和温度对土壤氮矿化有一定的正交互效应。因此,在日光温室氮素管理中应考虑温度对土壤氮素矿化的影响,以采取针对性的氮素管理措施。

参 考 文 献:

[1] 王宏丽,邹志荣,周长吉. 西北地区设施园艺发展现状与对策探析[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2008,26(5):377-381.
Wang H L, Zou Z R, Zhou C J. The present status and measures discussion on protected horticulture in Northwest China [J]. Journal of Shanghai JiaoTong University (Agricultural Science Edition), 2008, 26(5): 377-381.

[2] 李俊,李建明,曹凯,等. 西北地区设施农业研究现状及存在的问题[J]. 中国蔬菜,2013,(6):24-29.
Li J, Li J M, Cao K *et al*. Present status and existing problems of studies on protected agriculture in Northwest China[J]. China Vegetables, 2013, (6): 24-29.

[3] 余海英,李廷轩,张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征[J]. 中国农业科学,2010,43(3):514-522.
Yu H Y, Li T X, Zhang X Z. Nutrient budget and soil nutrient status in greenhouse system [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 13(3): 514-522.

[4] 周建斌,翟丙年,陈竹君,等. 西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状及土壤养分累积特性[J]. 土壤通报,2006,37(2):287-290.
Zhou J B, Zhai B N, Chen Z J *et al*. Fertilizers application and nutrient accumulations in tomato-grown soils under greenhouse condition in the suburb of Xi'an city[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 287-290.

[5] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 69: 51-58.

[6] 郭红伟,郭世荣,黄保健. 大棚辣椒不同连作年限土壤理化性质研究[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):452-455.
Guo H W, Guo S R, Huang B J. Physico-chemcial properties of soils as affected by different cultivation years of peper under greenhouse condition[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(5): 452-455.

[7] 黄得志,任晓燕,吴明丽,等. 设施栽培对土壤环境质量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2011,46(3):70-73.
Huang D Z, Ren X Y, Wu M L *et al*. Influence of installation cultivation on soil environmental quality[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(3): 70-73.

[8] Dessureault-Rompré J, Zebarth Bernie J, Georgallas A *et al*. Temperature dependence of soil nitrogen mineralization rate: Comparison of mathematical models, reference temperatures and origin of the soils[J]. Geoderma, 2010, 157(3-4): 97-108.

[9] 胡峰,李辉信,谢涟琪,等. 土壤食细菌线虫与细菌的相互作用及其对N、P矿化生物固定的影响及机理[J]. 生态学报,1999,18(6):914-920.
Hu F, Li H X, Xie L Q *et al*. Interactions of bacterivorous nematode and bacteria and their effects on mineralization immobiolization of nitrogen and phosphorus[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 18(6): 914-920.

[10] 巨晓棠,李生秀. 土壤氮素矿化的温度水分效应[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(1):37-42.
Ju X T, Li S X. The effect of temperature and moisture on nitrogen mineraliztion in soils[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 37-42.

[11] Standford G, Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils [J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1972, 36: 465-472.

[12] 周才平,欧阳华. 温度和湿度对长白山两种林型下土壤氮矿化的影响[J]. 应用生态学报,2001,12(4):505-508.
Zhou C P, Ou Y H. Influence of temperature and moisture on soil nitrogen mineralization under two types of forest in Changbai Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 12(4): 505-508.

[13] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1990.
Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen of China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1990.

[14] 沈玉芳,李世清,邵明安. 半湿润地区土垫旱耕人为土不同土层氮矿化的水温效应研究[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(1):8-14.
Shen Y F, Li S Q, Shao M A. Effects of temperature and water condition on soil nitrogen mineralization of different layers in Eum-Orthic Anthrosols of sub-humid area[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 8-14.

[15] 余泺,高明,慈恩,等. 不同耕作方式下土壤氮素矿化和硝化特性研究[J]. 生态环境学报,2010,19(3):733-738.
Yu L, Gao M, Ci E *et al*. Study on the characteristics of N mineralization and nitrification in different cultivation modes[J]. Ecology and Environmental Science, 2010, 19(3): 733-738.

[16] Gao J J, Bai X L, Zhou B *et al*. Soil nutrient content and nutrient balances in newly-built solar greenhouses in northern China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 94(1): 63-72.

[17] Loiseau P, Soussana J F. Effects of elevated CO_2, temperature and N fertilization on nitrogen fluxes in a temperate grassland ecosystem[J]. Global Change Biology, 2000, 6(8): 953-965.

[18] 赵长盛, 胡承孝, 孙学成, 等. 温度和水分对华中地区菜地土壤氮素矿化的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7): 861-866.
Zhao C S, Hu C X, Sun X C *et al*. Influence of temperature and moisture on soil nitrogen mineralization in vegetable fields of central China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(7): 861-866.

[19] 白洁冰, 徐兴良,付刚, 等. 温度和氮素输入对青藏高原3 种高寒草地土壤氮矿化的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14698-14700.
Bai J B, Xu X L, Fu G *et al*. Effects of temperature and nitrogen input on nitrogen mineralization in alpine soils on the Tibetan Plateau[J]. Journal of Anhui Agriculture Sicience, 2011, 39(24): 14698-14700.

[20] Ineson P, Benham D G, Poskitt J *et al*. Effects of climate change on nitrogen dynamics in upland soils. 2. A soil warming study [J]. Global Change Biology, 1998, 4(2): 153-161.

[21] Knoepp J D, Swank W T. Forest management effects on surface soil carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(3): 928-935.

[22] 张树兰, 杨学云, 吕殿青, 等. 温度、水分及不同氮源对土壤硝化作用的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2147-2153.
Zhang S L, Yang X Y, Lu D Q *et al*. Effect of soil moisture, temperature and different nitrogen fertilizers on nitrification[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2147-2153.

[23] 陈伏生, 余焜, 甘露, 等. 温度、水分和森林演替对中亚热带丘陵红壤氮素矿化影响的模拟实验[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1529-1535.
Chen F S, Yu K, Gan L *et al*. Effect of temperature, moisture and forest succession on nitrogen mineralization in hillside red soils in mid-subtropical region, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(7): 1529-1535.

[24] Bonde T A, Rosswall T. Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems[J]. Soil Science Society of America Journal, 1987, 51: 1508-1514.

[25] 马力, 杨林章, 颜廷梅, 等. 长期施肥水稻土氮素剖面分布及温度对土壤氮素矿化特性的影响[J]. 土壤学报, 2010,47(2): 286-294.
Ma L, Yang L Z, Yang T M *et al*. Profile distribution and mineralization characteristics of nitrogen in relation to temperature in paddy soil under long-term fertilization[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(2): 286-294.

[26] 高佳佳. 新建日光温室土壤养分累积特征及施肥效应[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学硕士论文, 2012.
Gao J J. Soil nutrient accumulation and fertilization effects in newly-built solar greenhouse[D]. Yangling, Shannxi: Ms thesis of Northwest A&F University, 2012.

[27] 贺发云, 尹斌, 蔡贵信, 等. 菜地和旱作粮地土壤氮素矿化和硝化作用的比较[J]. 土壤通报, 2005,36(1): 41-44.
He F Y, Yin B, Cai G X *et al*. Comparison of nitrogen mineralization and nitrification in upland soils grown with vegetables and food crops[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(1): 41-44.

[28] 王帘里, 孙波. 温度和土壤类型对氮素矿化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 583-591.
Wang L L, Sun B. Effects of temperature and soil type on nitrogen mineralization [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 583-591.