

赵英男,李博文,马理,等. 大棚萝卜菜田土壤理化性质及相关酶活性特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):486-491.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.136

大棚萝卜菜田土壤理化性质及相关酶活性特征

赵英男¹, 李博文¹, 马理², 卢金海¹, 李玉涛¹, 刘文菊¹

(1. 河北农业大学资源与环境学院/河北省农田生态环境重点实验室, 河北保定 071000; 2. 河北永清县蔬菜管理局, 河北永清 065600)

摘要:以河北省永清县萝卜种植区不同种植年限大棚萝卜的菜田土壤为研究对象,分析不同深度(0~20、>20~40 cm)土壤的基本理化性质,土壤养分含量的频数分布及相关土壤脲酶和碱性磷酸酶活性特征,研究萝卜种植年限与土壤理化性质的关系。结果表明,除土壤 pH 值、EC 值在 2 层之间没有明显差别外,其他各指标含量在表层土壤中均极显著高于下层土壤;其中,上、下 2 层土壤中碱解氮、有机质含量的频数分布曲线均呈正态分布;表层土壤速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量与种植年限均呈极显著负相关关系;上下 2 层土壤有效态铁、锰、铜、锌含量随种植年限的增加均出现不同程度的降低趋势。通径分析结果表明,表层土壤速效磷、有机质含量对脲酶活性产生直接影响,碱解氮、速效钾含量对脲酶活性的影响则主要体现在间接作用上;碱解氮、速效钾、有机质含量对碱性磷酸酶活性产生不同程度的直接影响,速效磷含量对碱性磷酸酶活性的影响主要是通过速效钾产生的间接性影响来实现的。综上所述,大棚萝卜种植到一定年限后,土壤理化性质、酶活性会发生变化,因此,要根据平衡施肥的理论,采用测土配方施肥技术进行大棚萝卜土壤养分管理。

关键词:萝卜;土壤养分;频数分布;土壤酶活性

中图分类号: S153 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0486-06

近年来,大棚栽培作为蔬菜集约化生产的一种方式,其高产、高收益的特点显著增加了农民的收入,并得到了广泛应用。然而,菜农在单纯经济利益驱动下盲目大量施肥、连年单一种植等问题也随之而来。河北、山西等地一些黄瓜主产区不同种植年限黄瓜温室土壤调查结果表明,温室土壤存在酸化、盐渍化趋势,且不同养分随种植年限的延长在土壤中均有不同程度的累积现象^[1-2]。济南地区不同种类蔬菜温室土壤养分状况调查结果显示,不同种类蔬菜的施肥量表现为黄瓜最高,且土壤碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量、有机质含量、电导率显著高于棚外土壤,增幅分别为 135.3%、475.2%、290.1%、97.7%、188.7%,pH 值较棚外土壤降低 0.31^[3]。陕西省西安市郊区番茄日光温室也普遍存在过量施肥的现象,其中磷肥过量施用更为严重,0~20、>20~40 cm 土层的土壤有机质、速效磷、速效钾含量,0~100 cm 土层硝态氮含量均明显高于露地土壤^[4]。对安徽地区不同类型(黄潮土和黑姜土)菜地土壤研究表明,随种植年限的增加,土壤 pH 值平均每年下降 0.05~0.06,土壤有机质、全氮、全磷含量均出现累积现象^[5]。由此可见,菜农根据自己的常规施肥习惯,多年种植大棚或日光温室黄瓜和番茄易造成土壤中养分富集和土壤酸化。

萝卜是深受人们喜爱的蔬菜之一,具有很高的营养价值和经济价值,年播种面积近 10 年来一直稳定在 120 万 hm^2 左右,在蔬菜中居第 2 位,占蔬菜生产面积的 9%^[6]。河北永清县作为全国优质设施蔬菜基地,其设施蔬菜种植面积达到 2.11 万 hm^2 。大棚萝卜种植区土壤的理化性质随施肥习惯和种植年限的变化规律是否和大棚黄瓜、番茄种植区土壤具有相似之处,目前,有关大棚萝卜种植区土壤理化性质及相关酶活性特征的研究检索到的相关文献较少。本研究以河北省永清县萝卜种植区不同种植年限大棚萝卜的菜田土壤为研究对象,开展土壤理化性质,尤其是土壤养分状况及随种植年限的变化规律和相关土壤酶活性的研究,为指导大棚萝卜种植区菜农科学施肥和科学土壤管理,萝卜产业的可持续发展提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

供试土壤采于河北省永清县小辛阁村大棚萝卜种植区,该区域位于 116°25'42.7"~116°26'19.6"E、39°18'59.6"~39°19'53.1"N,属暖温带大陆性季风气候,全年平均日照时间为 2 740 h,平均气温 11.5 °C,全年总降水量 508.7 mm,土壤类型为潮土,质地为轻壤。

该调查均选取大棚种植的萝卜菜田土壤,本区域种植模式一般为萝卜—玉米一年两熟制轮作,萝卜种植为白萝卜或胡萝卜,每年 1 月底至第 2 年 6 月种植萝卜,6 月至 10 月中旬种植夏玉米,玉米收获后,秸秆连同收走不还田。菜农问卷调查结果显示,大多数菜农每年只在玉米季或萝卜季施入 1 次自制有机肥(自制有机肥为鸡粪发酵物,含 N 2.04%、 P_2O_5 4.2%、 K_2O 3.57%),施用量为 9 t/hm^2 。在萝卜季施入 1 500 kg/hm^2 复合肥 N-P-K(17%-17%-17%)作为基

收稿日期:2015-07-23

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD15B02);华北集约化农业面源污染防治技术集成与示范项目。

作者简介:赵英男(1991—),男,河北河间人,硕士研究生,主要从事设施蔬菜土壤硝酸盐面源污染方面的研究。E-mail:zhaoyan8968@163.com。

通信作者:李博文,博士,教授,博士生导师,主要从事土壤环境科学研究。E-mail:kjli@hebau.edu.cn。

肥一次性投入,当萝卜肉质根进入膨大期时冲施复合肥 750 kg/hm²。其中萝卜产量一般为 50~75 t/(hm²·年),玉米产量为 9.5 t/(hm²·年)。

1.2 样品采集与处理

于 2014 年 5 月在河北省永清县小辛阁大棚萝卜种植基地随机选取 18 个不同种植年限萝卜大棚,其中大棚白萝卜的种植年限为 3~10 年,大棚胡萝卜的种植年限为 1~8 年。采样时菜地已经清棚,土壤尚没有耕翻,能够获得较为准确的分层样品,每个大棚按对角线选取 3 个采样点,采集不同深度(0~20、>20~40 cm)的土壤样品,每个采样点按“Z”字形采样法采集 5 个点组成 1 个混合样品,将土壤样品装入已标记的封口袋中密封,带回实验室置于通风阴凉处风干,去掉植物根系、石块等杂物,经研磨后依次过 1.00、0.25 mm 尼龙筛贮存备用。

1.3 测定方法

土壤理化性质及养分含量的测定采用常规分析方法^[7]; pH 值采用电位法(水:土为 1:1);电导率(EC)采用电导法,它是反映土壤离子浓度的指标,与土壤全盐量具有极显著的相关性,可作为土壤盐渍化的一个评价指标^[8];有机质含量采用重铬酸钾外加热法;碱解氮含量采用碱解扩散法;速效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法(Olsen 法);速效钾含量采用 1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度计测定;土壤中微量元素有效态铁、锰、铜、锌含量采用 DTPA 浸提-火焰原子吸收分光光度计(AA6300)测定;土壤硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)含量采用 1 mol/L KCl(优级纯)浸提-连续流动分析仪(AA3)测定;脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定。由于土壤采集区的 pH 值大于 7,因此选择碱性磷酸酶进行测定,采用磷酸苯二钠比色法

测定^[9]。

1.4 数据处理

本研究中试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 萝卜种植区不同深度土壤理化性状及土壤酶活性的分布规律

通过对萝卜种植区不同深度土壤(0~20、>20~40 cm)取样分析结果表明,表层土壤(0~20 cm)速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量均极显著高于下层(>20~40 cm)土壤(表 1),pH 值、EC 值在上下 2 层中没有明显区别;表层(0~20 cm)土壤有效态铁、锰、铜、锌含量均极显著高于下层(>20~40 cm)土壤;此外,表层土壤脲酶、碱性磷酸酶活性均极显著高于下层土壤。根据河北省温室菜地地力评价指标,萝卜表层(0~20 cm)土壤有效态铁、铜、锌处于地力丰富状态,其余养分指标含量较低,速效钾甚至处于缺乏状态,从表 1 还可以看出,表层土壤速效磷、有效锌的变异系数高达 53.57%、46.30%,表明该萝卜种植区的土壤中,速效磷、有效锌含量离散程度较大,原因可能是各菜农施肥种类和施肥量不同导致速效磷、有效锌含量差异较大。

2.1.1 土壤碱解氮 表层土壤碱解氮含量在 62.70~110.45 mg/kg 之间,平均值为 88.18 mg/kg(表 1),频数分布曲线呈正态分布,12.5%的样本含量在 75 mg/kg 以下,66.7%的样本含量在 76.36~100.00 mg/kg 之间,18.7%的样本在 103.63 mg/kg 以上(图 1-A);下层土壤碱解氮含量在 25.91~72.27 mg/kg 之间,平均值为 41.05 mg/kg(表 2),频数分布曲线呈正态分布(图 2-A)。

表 1 萝卜种植区表层(0~20 cm)土壤和下层(>20~40 cm)土壤理化及生物学特征分析

指标	表层土壤(0~20 cm)			下层土壤(>20~40 cm)			丰富*
	含量范围	平均含量	CV(%)	含量范围	平均含量	CV(%)	
HN 含量(mg/kg)	62.70~110.45	88.18±1.64	12.89	25.91~72.27	41.05±1.15	19.43	
AP 含量(mg/kg)	14.30~162.61	57.62±4.46	53.57	1.15~46.99	8.69±1.14	91.09	>70
AK 含量(mg/kg)	69.60~276.91	116.80±5.91	35.05	60.10~100.43	78.03±1.60	14.18	>350
OM 含量(%)	0.66~1.46	1.07±0.03	17.37	0.31~0.95	0.65±0.02	22.89	>2
pH 值	6.95~8.42	7.80±0.06	5.15	6.54~8.55	7.98±0.06	5.06	
EC(mS/cm)	0.10~0.29	0.16±0.005	21.44	0.11~0.39	0.17±0.01	29.77	
Fe 含量(mg/kg)	8.10~19.48	12.68±0.37	20.21	5.72~11.48	9.34±0.16	12.09	>10
Mn 含量(mg/kg)	6.96~16.42	11.57±0.33	19.65	5.36~13.38	9.59±0.27	19.84	>30
Cu 含量(mg/kg)	0.98~4.10	1.99±0.10	34.85	1.10~1.23	1.50±0.03	12.97	>1
Zn 含量(mg/kg)	0.88~6.64	3.18±0.21	46.30	0.17~1.36	0.42±0.03	48.71	>2
Urease 活性(mg/g)	0.87~2.20	1.34±0.06	29.15	0.37~1.08	0.71±0.02	20.57	
AKP 活性(mg/g)	1.58~4.10	2.38±0.09	26.91	0.37~0.89	0.55±0.02	24.58	

注:HN—碱解氮;AP—速效磷;AK—速效钾;OM—有机质;EC—电导率;Fe—有效铁;Mn—有效锰;Cu—有效铜;Zn—有效锌;Urease—脲酶;AKP—碱性磷酸酶;表 2 同。“*”表示河北省温室菜地地力丰富等级,“空格”表示河北省温室菜地地力评价中未对此指标作出规定。

2.1.2 土壤速效磷 表层土壤速效磷含量在 14.30~162.61 mg/kg 之间,平均值为 57.62 mg/kg(表 1),频数分布曲线呈左偏态分布,54.2%的样本含量在 50 mg/kg 以下,35.4%的样本在 50~100 mg/kg 之间,10.4%的样本在 100.32~162.61 mg/kg 之间(图 1-B);下层土壤速效磷含量在 1.15~46.99 mg/kg 之间,平均值为 8.69 mg/kg(表 2),频数分布曲线呈左偏态分布,仅有 2.1%的样本含量在

40 mg/kg 以上,70.8%的样本含量在 10 mg/kg 以下(图 2-B)。

2.1.3 土壤速效钾 表层土壤速效钾含量在 69.60~276.91 mg/kg 之间,平均值为 116.8 mg/kg(表 1),频数分布曲线呈左偏态分布,仅有 4.2%的样本含量在 200 mg/kg 以上,75%的样本含量在 140 mg/kg 以下(图 1-C);下层土壤速效钾含量在 60.10~100.43 mg/kg 之间,平均值为

78.03 mg/kg(表2),频数分布曲线呈正态分布,6.35%的样本含量在65.00 mg/kg以下,77%的样本含量在66.68~

90.00 mg/kg之间(图2-C)。

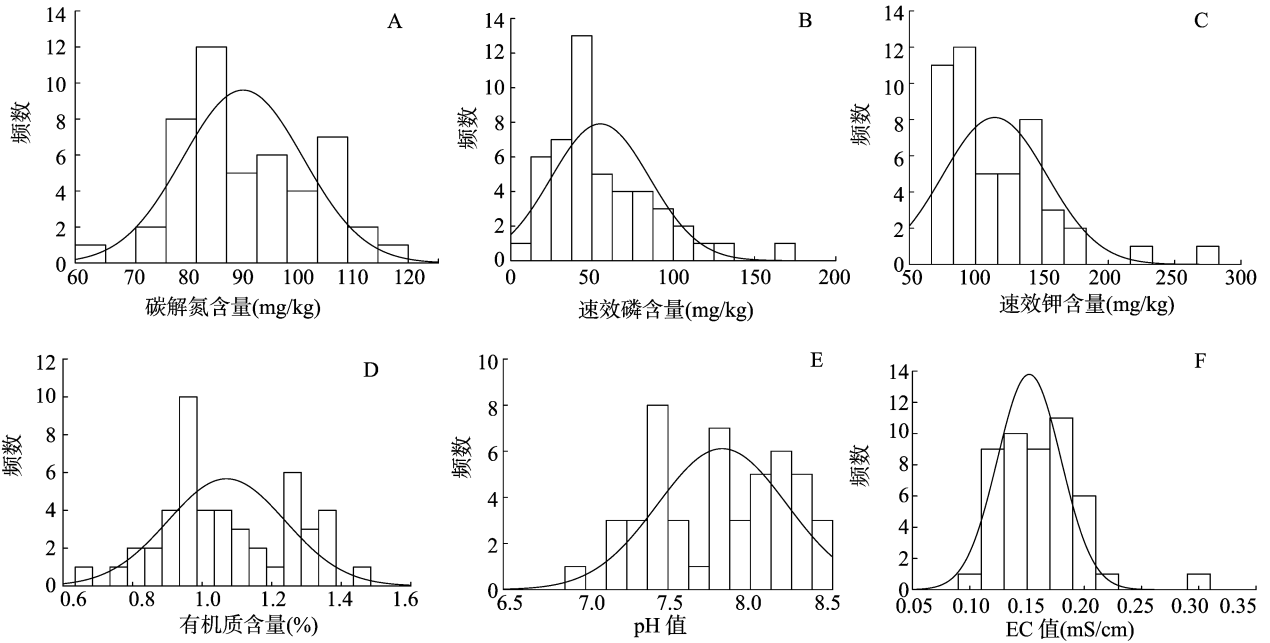


图1 表层(0~20 cm)土壤理化性状的频数分布

2.1.4 土壤有机质 表层土壤有机质含量在0.66%~1.46%之间,平均值为1.07%(表1),频数分布曲线呈正态分布,12.5%的样本含量在0.9%以下,含量在0.91%~1.30%的样本占72.9%,1.30%以上的样本占14.6%(图1-D);下层土壤有机质含量在0.31%~0.95%之间,平均值为0.65%(表2),频数分布曲线呈正态分布(图2-D)。

2.1.5 土壤pH值 表层土壤pH值含量在6.95~8.42之间,平均值为7.80(表1),频数分布曲线呈右偏态分布,33.3%的样本的pH值在7.5以下,7.61~8.42之间的样本占66.7%(图1-E);下层土壤pH值含量在6.54~8.55之

间,平均值为7.98(表2),频数分布曲线呈正态分布(图2-E)。

2.1.6 土壤EC值 表层土壤EC值含量在0.10~0.29 mS/cm之间,平均值为0.16 mS/cm(表1),频数分布曲线呈正态分布,0.10~0.21 mS/cm之间的样本占总数的97.9%(图1-F);下层土壤EC值含量在0.11~0.39 mS/cm之间,平均值为0.17 mS/cm(表2),频数分布曲线呈右偏态分布,仅有2.10%的样本的EC值在0.35 mS/cm以上,68.8%的样本的EC值在0.20 mS/cm以下,含量在0.21~0.35 mS/cm之间的样本占29.10%(图2-F)。

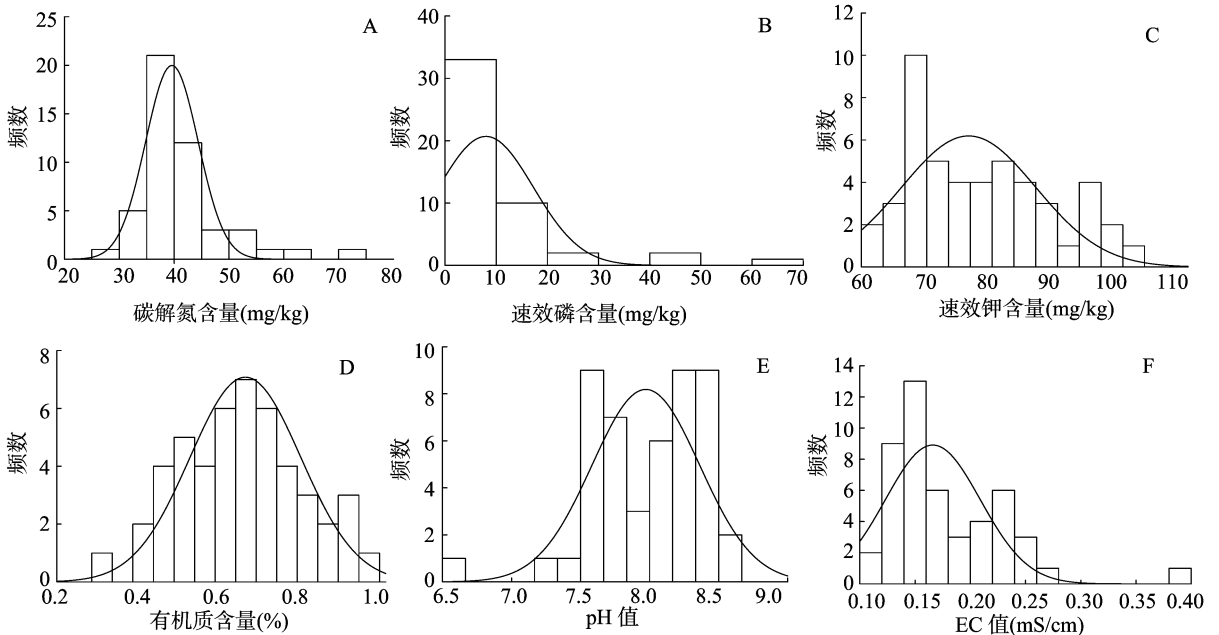


图2 下层(>20~40 cm)土壤养分的频数分布

2.2 随萝卜种植年限土壤理化性状的变化规律

2.2.1 有机质含量、pH值、盐分含量的变化规律 通过对萝卜种植区土壤有机质含量分析发现,该地区土壤有机质含量偏低,表层(0~20 cm)土壤有机质含量随种植年限增加有降低趋势,与种植年限呈极显著负相关关系: $y = -0.052x + 1.408$ ($r = -0.624^{**}$, $n = 43$) (表2); 下层(>20~40 cm)土壤有机质含量与种植年限没有显著相关关系。萝卜种植区土壤pH值与种植年限没有明显相关性。土壤EC值与种植年限呈负相关关系:0~20 cm, $y = -0.003x + 0.175$ ($r = -0.366^*$); >20~40 cm, $y = -0.011x + 0.235$ ($r = -0.545^{**}$)。这可能是由于该区域土壤质地为轻壤,且萝卜和玉米轮作中有机肥的施用量不高,萝卜和玉米的地上部也不还田,随着萝卜的连年种植,土壤有机质含量出现了逐年降低的趋势。

表2 萝卜种植区土壤理化性状与种植年限的相关性

指标	土层 (cm)	样本数	回归方程	相关系数
OM	0~20	43	$y = -0.052x + 1.408$	-0.624**
	>20~40	48	$y = 0.00028x + 0.6487$	0.004
pH值	0~20	48	$y = 0.022x + 7.675$	0.144
	>20~40	48	$y = -0.001x + 7.985$	0.097
EC	0~20	47	$y = -0.003x + 0.175$	-0.366*
	>20~40	48	$y = -0.011x + 0.235$	-0.545**
HN	0~20	48	$y = -2.141x + 100.20$	-0.485**
	>20~40	47	$y = -0.035x + 40.57$	-0.014
AP	0~20	48	$y = -7.950x + 102.30$	-0.659**
	>20~40	47	$y = -1.325x + 15.37$	-0.608**
AK	0~20	48	$y = -9.766x + 171.70$	-0.610**
	>20~40	48	$y = 0.504x + 73.21$	0.083
Fe	0~20	48	$y = -0.465x + 15.29$	-0.465**
	>20~40	48	$y = -0.050x + 9.428$	-0.071
Mn	0~20	48	$y = -0.139x + 12.35$	-0.157
	>20~40	47	$y = 0.042x + 9.346$	-0.055
Cu	0~20	48	$y = -0.113x + 2.631$	-0.420**
	>20~40	48	$y = -0.011x + 1.562$	-0.149
Zn	0~20	44	$y = -0.393x + 5.549$	-0.604**
	>20~40	45	$y = -0.018x + 0.489$	-0.356*

注: x 为种植年限,年; y 为各养分指标含量,mg/kg;“*”表示在0.05水平(双侧)显著相关,“**”表示在0.01水平(双侧)显著相关。

2.2.2 速效氮、速效磷、速效钾含量的变化规律 萝卜种植区不同深度(0~20、>20~40 cm)土壤碱解氮含量随种植年限的延长均呈现降低趋势,尤其表层土壤与种植年限呈极显著负相关关系:0~20 cm, $y = -2.141x + 100.2$ ($r = -0.485^{**}$)。不同深度土壤速效磷含量与种植年限均呈极显著负相关关系:0~20 cm, $y = -7.950x + 102.3$ ($r = -0.659^{**}$); >20~40 cm, $y = -1.325x + 15.37$ ($r = -0.608^{**}$)。表层土壤速效钾含量与种植年限呈极显著负相关关系: $y = -9.766x + 171.7$ ($r = -0.610^{**}$); 而下层土壤速效钾含量与种植年限没有明显相关性。原因可能与该地区质地较轻,施入的养分会随灌溉水向下淋溶出根层(大水漫灌),以及萝卜种植区土壤养分存在欠缺现象有关。

2.2.3 有效铁、锰、铜、锌含量的变化规律 表层(0~

20 cm)土壤有效铁、锰、铜、锌含量均随种植年限的增加而降低,其中有效铁、铜、锌含量与种植年限呈极显著负相关关系,其相互关系式分别为:有效铁, $y = -0.465x + 15.29$ ($r = -0.465^{**}$);有效铜, $y = -0.113x + 2.631$ ($r = -0.420^{**}$);有效锌, $y = -0.393x + 5.549$ ($r = -0.604^{**}$)。下层(>20~40 cm)土壤有效态铁、锰、铜、锌同样与种植年限呈负相关关系,尤其有效锌为显著负相关关系($y = -0.018x + 0.489$, $r = -0.356^*$)。表明萝卜种植区不同深度(0~20、>20~40 cm)土壤有效铁、有效锰、有效铜、有效锌含量随种植年限的增加均有降低趋势,一方面由于施用有机粪肥和富含微量元素元素的复合肥较少,另一方面萝卜长期种植,每年都会从土壤中带走一部分微量元素,因此易造成萝卜种植区土壤中有效铁、有效锰、有效铜、有效锌含量逐年下降的趋势。

2.3 萝卜种植区表层土壤脲酶、磷酸酶活性与土壤肥力因素关系分析

一般而言,土壤肥力水平在很大程度上受土壤酶活性的影响,与土壤酶活性之间存在密切的相关关系^[10-14],相关研究表明,土壤酶活性与其理化性质之间没有相关性^[10]。本研究结果表明,大棚萝卜种植区表层(0~20 cm)土壤脲酶、碱性磷酸酶活性与各肥力因子间均不存在显著相关性。但是,在多个变量系统中,任意2个变量的关系都会受到其他变量的影响,因此2个变量之间的简单相关系数并不能准确说明这2个变量之间的真正关系^[15]。要真正探明2个变量之间的线性相关关系,还需进行通径分析。通径分析是用于分析多个自变量与因变量之间线性关系的一种分析方法。将本研究土壤中脲酶、碱性磷酸酶活性与表层(0~20 cm)土壤主要肥力因子(碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量)的测定结果进行回归,得到2个标准多元线性回归方程:

$$U = 0.248X_1 - 0.917X_2 + 0.242X_3 + 0.346X_4;$$

$$P = 0.250X_1 - 0.131X_2 + 0.419X_3 - 0.240X_4。$$

式中: U 、 P 分别为标准化的脲酶和碱性磷酸酶活性; X_1 为碱解氮含量、 X_2 为速效磷含量、 X_3 为速效钾含量、 X_4 为有机质含量。方程中的系数为直接通径系数,它乘以各肥力因子之间的相关系数就是间接通径系数^[16],结果见表3。

表3 萝卜表层(0~20 cm)土壤主要肥力因子对土壤酶活性的通径系数

酶类	肥力因子	$X_1 \rightarrow U$	$X_2 \rightarrow U$	$X_3 \rightarrow U$	$X_4 \rightarrow U$
脲酶	X_1	0.248	-0.622	0.144	0.159
	X_2	0.168	-0.917	0.201	0.150
	X_3	0.147	-0.760	0.242	0.127
	X_4	0.114	-0.397	0.089	0.346
酶类	肥力因子	$X_1 \rightarrow P$	$X_2 \rightarrow P$	$X_3 \rightarrow P$	$X_4 \rightarrow P$
碱性磷酸酶	X_1	0.250	-0.089	0.249	-0.110
	X_2	0.169	-0.131	0.347	-0.104
	X_3	0.148	-0.109	0.419	-0.088
	X_4	0.114	-0.057	0.154	-0.240

注:有下划线的数据为直接通径系数。

直接通径系数反映了各主要肥力因子对土壤酶活性的直接影响,而间接通径系数却是一种间接影响力,是主要肥力因子通过其他肥力因子对土壤酶活性产生的间接影响程

度^[11,17]。这种影响力不仅具有客观性,也更接近真实性。从表3可以看出,萝卜种植区表层(0~20 cm)土壤肥力因子对脲酶活性直接影响力大小(按绝对值大小)顺序依次为土壤速效磷含量>有机质含量>碱解氮含量>速效钾含量;碱性磷酸酶(按绝对值大小)为速效钾含量>碱解氮含量>有机质含量>速效磷含量。速效磷和有机质含量对脲酶活性产生的直接通径系数为-0.917、0.346,分别表现出强烈的负效应和正效应;碱解氮、速效钾含量对脲酶活性产生的直接通径系数分别为0.248、0.242,但其通过速效磷含量对脲酶活性的间接通径系数分别为-0.622、-0.760,说明碱解氮、速效钾含量对脲酶活性的影响主要表现在间接作用上。速效钾含量对碱性磷酸酶活性产生的直接通径系数0.419,表现为正效应;速效磷含量对碱性磷酸酶活性的影响则体现在间接作用上(直接通径系数为-0.131);碱解氮、有机质含量对碱性磷酸酶活性的直接影响系数分别为0.250、-0.240,分别表现正效应和负效应。综上所述,萝卜种植区表层土壤主要肥力因子对脲酶、碱性磷酸酶活性存在直接和间接影响。

3 结论与讨论

本研究中大棚萝卜种植区土壤质地较轻养分含量偏低,且不同深度也存在显著差异。相关研究表明,菜田土壤上层的有效养分含量都显著高于下层土壤^[11],这与种植蔬菜根系浅,大多分布在0~20 cm的表层土壤中,而施肥也主要由表层土壤来吸收足够的养分有关,可以进一步避免养分流失。该区域土壤养分含量的分析结果与前人研究结果相同,表层(0~20 cm)土壤各养分指标和有效态微量元素含量均显著高于下层(>20~40 cm)土壤,pH值、EC值在上下2层中无明显变化。研究发现,越靠近地表的土壤,施肥的影响效果越明显,不同深度的土层对施肥的响应是不同的,土壤理化性状会随着施肥种类、周期及施肥量而发生一定的变化^[12]。在研究区域种植制度一般为萝卜—玉米一年两熟制,玉米收获后,少数菜农将玉米秸秆还田作为萝卜底肥不再施用其他有机粪,而大多数农户将玉米秸秆收走,只施入少量有机粪或复合肥作为底肥,所以整体施肥量少是该地区养分含量较低的主要原因;其次,土壤质地较轻,施入的肥料会向下淋溶或者挥发也是该地区地力较差的原因。有研究者提出,理想菜地的土壤有机质含量应达3%以上^[18],而萝卜种植区不同深度土壤有机质含量均低于3%,因此,研究区土壤有机质含量属于较低水平。萝卜表层土壤(0~20 cm)养分状况与河北省温室菜地地力评价指标比较结果,进一步说明了该地区土壤养分含量较低,甚至速效钾处于缺乏状态的现象。根据调查分析的结果,建议该区域的大棚萝卜种植应遵循平衡施肥的原则,采用测土配方施肥技术,科学施用基肥和追肥。推荐的大棚萝卜安全高效施肥方案:白萝卜产量 $\geq 75\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$,在施30~45 m^3/hm^2 优质腐熟有机肥或者有机质含量相当的生物有机肥100 kg/hm^2 的基础上,在翻地前施用5 kg/hm^2 生物磷钾肥颗粒剂以提高养分利用率。大棚白萝卜全生育期施N 180~210 kg/hm^2 , P_2O_5 105~120 kg/hm^2 , K_2O 210~240 kg/hm^2 。氮的基追比1:2,钾的基追比2:1。

本研究结果显示,大棚萝卜种植区土壤中各养分指标以及pH值、EC值与种植年限表现出不同程度的负相关关系,

且土壤中有有效铁、有效锰、有效铜、有效锌含量随种植年限的增加也有降低趋势,该结果与前人在其他设施蔬菜种植区土壤理化性质方面的研究结果有所不同。在江苏盐城地区蔬菜大棚土壤随种植年限的延长,有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的含量有不同程度的增加^[19]。在上海崇明岛地区调查研究结果显示,随芦笋种植年限延长,土壤速效氮、速效钾、有机质含量持续增加,土壤pH值逐渐降低,土壤盐分含量(EC值)上升,土壤出现养分累积、酸化和次生盐渍化等问题^[16]。综合已发表的研究结果和对当地大棚萝卜种植菜农施肥习惯的调查发现,一般每生产1 000 kg玉米籽粒需从土壤中吸收N 25 kg、 P_2O_5 12 kg、 K_2O 20 kg,每生产1 000 kg商品萝卜需从土壤中吸收N 2.1~3.1 kg、 P_2O_5 0.5~1.0 kg、 K_2O 3.8~5.6 kg,同时玉米秸秆、萝卜缨的生长也需要吸收一定的养分,萝卜种植区土壤每年投入养分总量大概为N 566 kg、 P_2O_5 760.5 kg、 K_2O 704 kg,且投入的养分不能全部被玉米和萝卜所吸收利用。根据目标产量法^[18,20]计算结果表明,萝卜种植区土壤养分的投入量低于种植作物对养分的吸收量,玉米和萝卜还需要从土壤中吸收一定的养分来维持正常的生长所需,进一步证明该地区土壤养分含量随种植年限的延长而逐渐降低这一特点。因此,当地菜农应该根据具体的地力情况,对于施肥量与施肥种类作出合理调整。同时应当提倡对秸秆的投入,有研究表明,秸秆的大量投入不但减少了秸秆焚烧对环境产生的污染,还可通过固持作用消耗日光温室土壤中过量的氮素形成有机质,达到调控土壤中氮素转化、降低蔬菜生产体系氮素损失的目的^[21-22]。

土壤酶素有生物催化剂之称是一类能在土壤中以稳定形态存在的蛋白质,同时对土壤的理化性状和肥力状况有着重要影响。前人研究表明,通过长期定位试验对设施菜田(大白菜、萝卜、黄瓜等)土壤酶活性及土壤理化性状研究分析,结果表明,土壤脲酶活性与碱解氮和速效磷含量呈显著正相关,与有机质、全磷、速效钾含量的相关性达到极显著水平^[10]。王俊华等认为,土壤酶活性与土壤养分密切相关,可反映土壤养分(尤其是C、N、P)转化的强弱,表征土壤肥力,适用于对施肥效果的评价^[23]。邱莉萍等通过对长期定位试验地中土壤养分和酶活性的关系研究,发现土壤脲酶和碱性磷酸酶活性与土壤养分之间呈显著或极显著相关关系,且土壤养分对土壤酶活性存在直接或间接性影响^[17]。Sakorn等认为,土壤脲酶活性与任一理化性质均没有显著相关性^[24]。土壤酶通过对陕西7种主要土壤的脲酶活性及理化性状分析表明,其脲酶活性除与全磷含量显著相关外,与其他指标均无显著相关性^[11]。本研究结果与前人研究有所不同,通过对萝卜表层土壤脲酶、碱性磷酸酶活性与土壤肥力因子进行相关性分析,结果表明,土壤脲酶、碱性磷酸酶活性与各肥力因子之间不存在显著的相关关系。通过对其进行通径分析,结果表明,萝卜表层土壤速效磷、有机质含量对脲酶活性产生直接影响,而碱解氮、速效钾含量对脲酶活性的影响则主要体现在间接作用上;碱解氮、速效钾、有机质含量对碱性磷酸酶活性产生不同程度的直接影响,而速效磷含量对碱性磷酸酶活性的影响主要通过速效钾产生的间接性影响。

参考文献:

[1]刘建霞,马理,李博文,等.不同种植年限黄瓜温室土壤理化性

- 质的变化规律[J]. 水土保持学报,2013,27(5):164-168.
- [2]杜新民,吴忠红,张永清,等. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):78-80.
- [3]曹齐卫,张卫华,李利斌,等. 济南地区日光温室土壤养分的分布状况和累积规律[J]. 应用生态学报,2012,23(1):115-124.
- [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.
- [5]李粉茹,于群英,邹长明. 设施菜地土壤 pH 值、酶活性和氮磷养分含量的变化[J]. 农业工程学报,2009,25(1):217-222.
- [6]袁伟玲,王晴芳,袁尚勇,等. 萝卜适宜施氮量和氮肥追追比例研究[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(3):696-701.
- [7]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:30-183.
- [8]曾希柏,白玲玉,苏世鸣,等. 山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J]. 生态学报,2010,30(7):1853-1859.
- [9]关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [10]马宁宁,李天来,武春成,等. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1766-1771.
- [11]和文祥,朱铭莪. 陕西土壤脲酶活性与土壤肥力关系分析[J]. 土壤学报,1997,34(4):392-398.
- [12]唐海滨,廖超英,刘莉丽,等. 蔬菜大棚土壤脲酶、过氧化氢酶活性与土壤养分的关系[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):165-168,179.
- [13]吴俊侠,董元华,李建刚,等. 施肥模式对设施生菜产量、硝酸盐含量及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):147-149.
- [14]吴传万,杜小凤,顾大路,等. 植物源药肥对温室黄瓜生长发育和土壤环境的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(1):92-99.
- [15]胡小平,王长发. SAS 基础及统计实例教程[M]. 西安:西安地图出版社,2001.
- [16]周德平,褚长彬,刘芳芳,等. 种植年限对设施芦笋土壤理化性状、微生物及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(2):459-466.
- [17]邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.
- [18]陈伦寿,陆景陵. 蔬菜营养与施肥技术[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [19]朱余清,王军,崔素兰. 不同使用年限蔬菜大棚土壤盐渍化程度及其改良措施[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):482-485.
- [20]王丽英,张彦才,翟彩霞,等. 平衡施肥对连作日光温室黄瓜产量、品质及土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报,2008,16(6):1375-1383.
- [21]Choi W J, Ro H M, Chang S X. Recovery of fertilizer-derived inorganic-¹⁵N in a vegetable field soil as affected by application of an organic amendment[J]. Plant and Soil, 2004, 263(1):191-201.
- [22]Gollany H T, Molina J, Clapp C E, et al. Nitrogen leaching and denitrification in continuous corn as related to residue management and nitrogen fertilization[J]. Environmental Management, 2004, 33(1): S289-S298.
- [23]王俊华,尹睿,张华勇,等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(1):191-196.
- [24]Sakorn P P. Urease activity and fertility status of some lowland rice soils in the central plain[J]. Thai Journal of Agricultural Science, 1987, 20:173-186.

(上接第 485 页)

围是 7~10, 其中 pH 值为 10 时吸附效果最好。

竞争阴离子 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 会与氟离子发生竞争吸附, PO_4^{3-} 对氟离子吸附量的影响最显著。

参考文献:

- [1]杨港. 类水滑石合成及其对水体中氟离子的去除[D]. 大连:大连理工大学,2009.
- [2]姚瑞华. 镧系金属改性壳聚糖的脱氟新技术研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.
- [3]WHO. Guidelines for drinking water quality (vol. II): health criteria and supporting information [M]. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1984.
- [4]GB 5479—1985 生活饮用水标准[S].
- [5]Guidelines for drinking water quality [M]. WHO: Incorporating First Addendum, 2006, 375-377.
- [6]薛英文,杨开,梅健. 混凝沉淀法除氟影响因素试验研究[J]. 武汉大学学报:工学版,2010,43(4):477-480,493.
- [7]李莉,王业耀,孟凡生. 含氟地下水饮用处理技术[J]. 地下水,2007,29(5):85-86,142.
- [8]P. I. Ndiaye P I, Moulin P, Dominguez L, et al. Removal of fluoride from electronic industrial effluent by RO membrane separation [J]. Desalination, 2005, 173(1):25-32.
- [9]董庆杰,邵仕香,李乃瑄,等. 凹凸棒土复合吸附剂对磷酸根吸附行为的研究[J]. 硅酸盐通报,2006,25(2):19-22.
- [10]金浩,林冠烽. 饮用水除氟技术研究进展[J]. 广东化工, 2011, 3(10):18-19.
- [11]Jagtap S, Yenlie M K, Labjasetwar N, et al. Fluoride in drinking water and defluoridation of water [J] Chem Rev, 2012, 112(4):2454-2466.
- [12]贾晓燕. 废水除磷技术研究进展[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(12):191-192.
- [13]Gan F Q, Zhou J M, Wang H Y, et al. Removal of phosphate from aqueous solution by thermally treated natural palygorskite [J]. Water Research, 2009, 43(11):2907-2915.
- [14]Yin H B, Kong M, Fan C X, et al. Batch investigations on P immobilization from wastewaters and sediment using natural calcium rich sepiolite as a reactive material [J]. Water Research, 2013, 47(13):4247-4258.
- [15]陈天虎,王健,庆承松,等. 热处理对凹凸棒石结构、形貌和表面性质的影响[J]. 硅酸盐学报,2006,34(11):1406-1410.
- [16]孔明,尹洪斌,吴雨琛,等. 热处理对天然富钙黏土矿物除磷能力的影响[J]. 环境科学学报,2013,33(12):3211-3218.
- [17]吕婧,封莉,张立秋. 不同活性炭对水中微量药物萘普生的吸附规律研究[J]. 环境科学学报,2012,32(10):2443-2449.
- [18]Wei X C, Visfrto R C, Bhojappa S. Phosphorus removal by acid mine drainage sludge from secondary effluents of municipal wastewater treatment plants [J]. Water Research, 2008, 42(13):3275-3284.
- [19]陆泗进,谭文峰,刘凡,等. 一种改进的盐滴定法测定氧化锰矿物的电荷零点[J]. 土壤学报,2006,43(5):756-763.