

设施土壤污染障碍与减氮增效技术研究

李跃飞, 陶加乐, 李彬, 靳辉勇, 徐华 (宿迁市宿豫区农业技术推广中心, 江苏宿迁 223800)

摘要 为科学指导设施土壤的管理, 保证土壤有足够产出的同时, 对生态环境的负面影响保持在可控的范围, 对宿豫区典型的设施土壤进行样品采集, 测定土壤有机质、酸碱度、电导率以及部分有效性养分和水溶性盐分离子含量。结果表明, 设施土壤 pH 为 5.62~6.35, 土壤发生明显的酸化现象; 土壤电导率(EC)为 0.66~5.44 mS/cm, 多数土壤 EC 值均超出了一般作物生长的适宜范围; 土壤有机质含量为 15.71~21.95 g/kg, 难以满足设施作物高产的需求。土壤速效氮含量为 32.8~711.7 mg/kg, 总体水平偏高, 变异系数达到 88.1%, 氮肥施用很不平衡; 土壤速效磷含量为 30.1~100.9 mg/kg, 基本能满足高产需求; 土壤速效钾含量为 61.7~517.5 mg/kg, 平均为 203.4 mg/kg。土壤水溶性钾、钠、钙、镁平均含量分别为 100.2、1 672.7、1 461.9 和 1 204.3 mg/kg, 镁/钾电荷比平均 40.9, 导致土壤相对缺钾的问题比较突出; 土壤水溶性氯离子、硫酸根、硝酸根平均含量分别高达 2 781.7、1 252.0 和 1 223.8 mg/kg, 都有可能影响作物的正常生长。土壤有效硼、钼、锰平均含量分别为 0.37、0.19 和 6.68 mg/kg, 分别处于缺乏、中等、中等水平。减氮对甘蓝生物学和经济产量均没有明显影响, 底施平衡肥处理有利于提高甘蓝的生物学产量和经济产量; 减氮对甘蓝含氮率和累计吸氮量均有减少的趋势; 底施平衡肥和减氮均在一定程度上降低土壤电导率和降低土壤硝态氮含量。

关键词 设施土壤; 土壤肥力; 土壤障碍; 减氮增效

中图分类号 X53 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)15-0075-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.15.020



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Pollution Barriers of Facility Soil and Technology of Reducing Nitrogen and Increasing Efficiency

LI Yue-fei, TAO Jia-le, LI Bin et al (Suyu District Agricultural Technology Promotion Center, Suqian, Jiangsu 223800)

Abstract In order to scientifically guide the management of facility soil, ensure sufficient output of soil, and keep the negative impact on ecological environment in controllable range, samples were collected from typical facility soils in Suyu District to determine soil organic matter, pH, electrical conductivity and contents of some available nutrients and water-soluble salt ions. The results showed that the pH of facility soil was 5.62-6.35, and the soil was obviously acidified; soil EC value was 0.66-5.44 mS/cm, and most soil EC values exceeded the suitable range for general crop growth. Soil organic matter content was 15.71-21.95 g/kg, which was difficult to meet the demand of high yield of protected crops. The content of available nitrogen in soil was 32.8-711.7 mg/kg, which was on the high side, with a coefficient of variation of 88.1%, and the application of nitrogen fertilizer was unbalanced. The content of available phosphorus in soil was 30.1-100.9 mg/kg, which could basically meet the demand of high yield. The content of soil available potassium was 61.7-517.5 mg/kg, with an average of 203.4 mg/kg. The average contents of water-soluble potassium, sodium, calcium and magnesium in soil were 100.2, 1 672.7, 1 461.9 and 1 204.3 mg/kg, respectively, and the average charge ratio of magnesium to potassium was 40.9, which leads to the problem of relative potassium deficiency in soil. The average content of water-soluble chloride ion, sulfate ion and nitrate ion in soil was as high as 2 781.7, 1 252.0 and 1 223.8 mg/kg, respectively, which may affect the normal growth of crops. The average contents of available boron, molybdenum and manganese in soil were 0.37, 0.19 and 6.68 mg/kg, which were in the deficient, medium and medium levels respectively. Nitrogen reduction had no obvious effect on the biological and economic yield of cabbage, but bottom application of balanced fertilizer was beneficial to improve the biological and economic yield of cabbage. Nitrogen reduction had a tendency to reduce nitrogen content and cumulative nitrogen uptake of cabbage. Applying balanced fertilizer at the bottom and reducing nitrogen could reduce soil conductivity and nitrate nitrogen content to a certain extent.

Key words Facility soil; Soil fertility; Soil barrier; Reducing nitrogen and increasing efficiency

近年来,我国设施栽培发展迅速,面积与产量均逐年提高,至2015年达到400万hm²以上^[1]。随着设施蔬菜专业化和规模化生产的发展,使土壤理化性状和生物学特性发生劣变,病原菌种群数量激增,以土壤次生盐渍化问题最为突出^[2-6]。究其原因,主要是菜农追求高产盲目施肥,尤其偏重于施氮肥而忽视中微量元素的施用,导致土壤养分失去平衡^[7]。长期过量施肥会导致土壤硝态氮在土壤表层大量积累,结果不仅影响作物的生长、降低作物产量与品质,而且会使土壤酸化,易造成养分流失、水体富营养化等,给土壤、作物、环境及人体健康等带来潜在风险^[8-10]。因此,科学合理指导氮肥的施用量,搭配有机肥及微生物肥等^[11-14],对于设施蔬菜安全生产、提高生产效益具有重大意义。

作为江苏省发展高效设施农业先进区,设施栽培是宿豫区高效农业的主要形式,其经济效益在整个种植业中占有十分重要的地位。同样,随着集约化程度的加快,该地区设施农业出现养分失衡、次生盐渍化、酸化等问题,在一定程度上影响到设施栽培的种植效益,并对周边环境产生了一定程度的污染。为科学消除设施土壤障碍,提高土壤养分的作物利用率,减少氮素等养分对环境的污染负荷,笔者对宿豫区典型设施土壤分布区进行布点采样,测定土壤有机质含量、酸碱度、盐分、有效养分等指标,明确制约设施土壤生产力的主要肥力限制因子,提高设施土壤科学培肥与合理施肥水平,通过克服土壤限制因子,加强作物对土壤过量氮素等养分的吸收利用,并最大限度地消除设施栽培对环境的污染。

1 材料与方法

1.1 样品采集 2020年1—3月对宿迁市宿豫区保护地代表性地块进行土壤农化样品的采集。取样深度为0~20cm,共采集12个土壤样品。土样经抽湿风干后,磨细过20目筛和100目筛。

基金项目 宿迁市现代农业引导资金补助专项“宿豫区设施栽培障碍土壤改良”;宿迁市科技专项“设施蔬菜绿色生产水肥关键技术研究与推广”(L201904)。

作者简介 李跃飞(1984—),男,河北平山人,农艺师,硕士,从事耕地质量保护相关农业技术研究及推广工作。

收稿日期 2021-10-03

1.2 分析测定 土壤基本化学性质的测定均采用常规分析方法。土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定;土壤 pH 采用玻璃电极法测定;土壤电导率(EC)采用电导电极法测定;可溶性盐采用水:土=5:1提取, K^+ 、 Na^+ 采用火焰分光光度法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用火焰原子吸收分光光度法测定, NO_3^- 采用紫外分光光度法测定, SO_4^{2-} 采用硫酸钡比浊法测定, HCO_3^- 采用中和滴定法测定, Cl^- 采用硝酸银滴定法。土壤速效氮采用中性盐提取,铵态氮采用靛酚蓝比色法测定,硝态氮采用紫外分光光度法测定;有效性微量元素(铁、锰、铜、锌)采用 DTPA-TEA 提取原子吸收分光光度法测定;土壤有效硼采用热水浸提-甲亚胺比色法测定;土壤有效铝采用草酸-草酸铵浸提-等离子质谱法测定。测定方法参照鲍士旦的《土壤农化分析》。

1.3 田间试验 根据土壤分析结果,选择 8 个代表性大棚进行田间小区试验,供试作物为甘蓝。对土壤缺乏的钾、硼、钼、锰等养分元素肥料和磷肥进行一次性底肥补充,在消除土壤营养障碍的基础上,进行减氮增效试验。以常规施氮水平为对照(CK2),分别设置减氮 25%、50%、75%和 100%(不施氮肥)处理,同时增设一个完全不施肥对照(CK1)。观测作物产量、养分吸收量,计算氮肥利用率,采样测定试验后土壤硝态氮含量。

1.4 数据处理与分析 采用 Microsoft Excel 2010 软件对数据进行处理和绘图,采用 SPSS 19.0 统计分析软件对数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤基本化学性质分析

2.1.1 土壤酸碱度、电导率和有机质含量。从 8 个大棚设施土壤的酸碱度、电导率和有机质含量测定结果(表 1)可以看出,宿豫区设施土壤 pH 为 5.62~6.35,平均为 6.02,标准差 0.23,变异系数 3.85%,土壤酸化明显,逐渐成为直接制约土壤生产力的障碍因子。土壤 EC 值为 0.66~5.44 mS/cm,平均达 2.20 mS/cm,除了 2 个土壤的 EC 值在 1.00 mS/cm 以下外,其他 6 个土壤 EC 值均超出了一般作物生长的适宜范围;土壤 EC 值的变异系数高达 81.08%,可见不同大棚间差异很大。土壤有机质含量为 15.71~21.95 g/kg,平均为 18.29 g/kg,土壤缓冲养分的能力下降、结构变差,难以满足设施作物高产的需求。土壤有机质的补充是解决设施土壤肥力提高问题的重要途径。

2.1.2 土壤速效氮磷钾含量。从设施土壤的速效氮磷钾含量测定结果(表 2)可以看出,宿豫区设施土壤速效氮含量为 32.8~711.7 mg/kg,平均为 284.7 mg/kg,总体水平偏高,与该区部分菜农过多施用氮肥或含氮肥料有密切关系;土壤速效氮含量变异系数达 88.1%,说明不同农户或不同利用方式下氮肥施用并不平衡,最高的土壤速效氮含量是最低含量的 21.7 倍。土壤速效磷含量为 30.1~100.9 mg/kg,平均为 59.2 mg/kg,总体水平略高,与宿豫区菜农坚持稳定施用磷肥有关;土壤速效磷含量变异系数达 42.5%,说明不同农户或不同利用方式下磷肥施用相对平衡,最高的土壤速效磷含

量为最低含量的 3.4 倍。土壤速效钾含量为 61.7~517.5 mg/kg,平均为 203.4 mg/kg,总体水平丰富,钾素施用平均水平基本合适。但土壤速效钾含量变异系数达 71.6%,说明不同农户或不同利用方式下钾肥施用也很不平衡,最高的土壤速效钾含量是最低含量的 8.4 倍。因此,宿豫区设施土壤应加大土壤氮、钾养分的诊断,对施用水平偏高的农户或环节应建议减施,对施用不足的还应提倡增施,尤其是钾素肥料。

表 1 土壤酸碱度、电导率和有机质含量

Table 1 Soil pH, electrical conductivity, and organic matter content

样品编号 Sample No.	pH	电导率 EC mS/cm	有机质 Organic matter/g/kg
1	6.05	3.92	20.85
2	6.21	5.44	18.27
3	6.35	1.00	19.34
4	5.87	0.73	21.95
5	5.62	0.66	16.58
6	5.93	1.54	15.92
7	6.21	1.07	15.71
8	5.95	3.27	17.68
平均值 Mean	6.02	2.20	18.29
标准差 SD	0.23	1.79	2.29
变异系数 CV//%	3.85	81.08	12.51

表 2 土壤速效氮磷钾含量

Table 2 Soil available nitrogen, phosphorus and potassium content

样品编号 Sample No.	速效氮 Available nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Olsen-K
1	563.7	100.9	241.6
2	711.7	53.1	253.6
3	150.9	67.8	61.7
4	146.6	39.3	129.7
5	32.8	66.0	101.7
6	137.6	30.1	517.5
7	97.2	32.9	103.8
8	437.3	83.7	217.9
平均值 Mean	284.7	59.2	203.4
标准差 SD	250.9	25.2	145.7
变异系数 CV//%	88.1	42.5	71.6

2.1.3 土壤水溶性养分(盐分)离子含量。从土壤水溶性养分(盐分)阳离子含量测定结果(表 3)可以看出,土壤 K^+ 含量为 31.7~243.2 mg/kg,平均含量为 100.2 mg/kg,变异系数高达 76.7%。土壤 Na^+ 含量为 614.6~3 204.9 mg/kg,平均含量达到 1 672.7 mg/kg,居 4 种阳离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})之首, Na^+ 含量的变异系数为 60.8%。土壤 Ca^{2+} 含量为 334.4~3 346.6 mg/kg,平均含量为 1 461.9 mg/kg,仅次于 Na^+ 含量,变异系数高达 81.5%。土壤 Mg^{2+} 含量为 340.4~2 616.5 mg/kg,平均含量为 1 204.3 mg/kg,变异系数为 76.8%。4 种阳离子的平均含量从高到低依次为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ ,分别占阳离子总量的 37.68%、32.93%、27.13%和

2.26%, Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^{+} 3 种阳离子所占比例相差不大,但 K^{+} 所占比例太低,作物相对缺钾现象比较严重。从 Mg^{2+}/K^{+} 质量比和电荷比也可以很容易判断出所有 8 个土壤相对缺钾的问题都比较突出。

表 3 土壤水溶性阳离子含量

Table 3 Contents of water-soluble cations in soil

样品编号 Sample No.	含量 Content//mg/kg				Mg^{2+}/K^{+} 质量比 mass ratio	Mg^{2+}/K^{+} 电荷比 charge ratio
	K^{+}	Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}		
1	175.7	2 986.0	2 652.4	2 208.5	12.6	40.9
2	243.2	3 204.9	3 346.6	2 616.5	10.8	35.0
3	40.7	882.2	773.1	340.4	8.4	27.2
4	31.7	614.6	401.7	451.0	14.2	46.2
5	49.7	724.1	334.4	365.9	7.4	23.9
6	40.7	1 611.8	847.1	1 000.2	24.6	79.9
7	91.2	1 174.0	766.3	655.7	7.2	23.4
8	128.8	2 183.7	2 573.6	1 995.8	15.5	50.4
平均值 Mean	100.2	1 672.7	1 461.9	1 204.3	12.6	40.9
标准差 SD	76.9	1 016.3	1 191.4	924.9	5.8	18.7
变异系数 CV//%	76.7	60.8	81.5	76.8	45.7	45.9

从表 4 可以看出,土壤 NO_3^{-} 含量为 132.6~3 101.4 mg/kg, 平均含量为 1 223.8 mg/kg, 变异系数高达 90.1%; 土壤 SO_4^{2-} 含量为 335.0~2 372.5 mg/kg, 平均含量达 1 252.0 mg/kg, 变异系数为 63.7%; 土壤 Cl^{-} 含量为 1 018.9~5 052.7 mg/kg, 平均含量高达 2 781.7 mg/kg, 居 4 种阴离子 (NO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 、

HCO_3^{-} 、 Cl^{-}) 之首, 其变异系数为 54.9%; 土壤 HCO_3^{-} 含量为 20.7~35.8 mg/kg, 平均含量为 26.5 mg/kg, 变异系数为 19.4%。土壤阴离子中, 高浓度的 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^{-} 和低浓度的 HCO_3^{-} 均说明土壤酸化程度十分严重, 外源氮、硫、氯的输入都可能是导致土壤酸化的原因。

表 4 土壤水溶性阴离子含量

Table 4 Soil water-soluble anion content mg/kg

样品编号 Sample No.	NO_3^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Cl^{-}
1	2 462.2	2 372.5	35.8	4 582.4
2	3 101.4	2 031.4	25.3	5 052.7
3	630.8	728.2	27.1	1 894.5
4	613.3	335.0	29.1	1 018.9
5	132.6	430.3	30.2	1 295.1
6	573.3	1 200.3	20.7	2 563.2
7	400.0	862.2	21.9	1 988.6
8	1 877.1	2 055.7	21.9	3 857.8
平均值 Mean	1 223.8	1 252.0	26.5	2 781.7
标准差 SD	1102.1	797.7	5.1	1 527.8
变异系数 CV//%	90.1	63.7	19.4	54.9

2.1.4 土壤有效性微量元素含量。从土壤有效性微量元素含量的测定结果(表 5)可以看出, 宿豫区 8 个设施土壤样品的有效铁含量平均 17.97 mg/kg, 达到了土壤有效铁的丰富水平(15~20 mg/kg); 土壤有效锰含量平均 6.68 mg/kg, 处于土壤有效锰的中等水平(5~15 mg/kg); 土壤有效铜含量平均 1.77 mg/kg, 达到了土壤有效铜的丰富水平(1.0~1.8 mg/kg); 土壤有效锌含量平均 2.30 mg/kg, 也达到了土壤有效锌的丰富水平(1~3 mg/kg); 土壤有效硼含量平均 0.37 mg/kg, 处于土壤有效硼的缺乏水平(0.2~0.5 mg/kg); 土壤有效钼含量平均 0.19 mg/kg, 处于土壤有效钼的中等水平(0.15~0.20 mg/kg)。对于设施种植来说, 处于中等水平以下的土壤有效硼、钼、锰难以满足高产作物栽培的需求, 应当适当补充相关微量元素肥料的施用。

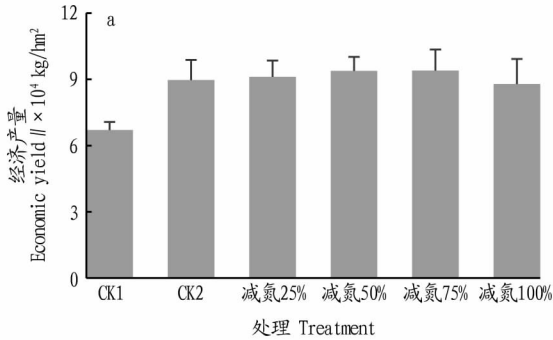
表 5 土壤有效性微量元素含量

Table 5 Contents of soil available trace elements

样品编号 Sample No.	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	锌 Zn	硼 B	钼 Mo
1	18.12	5.55	1.79	2.32	0.42	0.17
2	7.27	8.97	0.99	1.79	0.36	0.20
3	22.65	5.00	3.03	6.44	0.33	0.12
4	33.84	11.08	2.54	0.94	0.32	0.41
5	13.64	5.95	1.64	1.36	0.38	0.13
6	12.98	5.12	1.52	1.58	0.38	0.16
7	13.65	5.61	1.41	1.98	0.40	0.16
8	21.59	6.16	1.21	1.95	0.37	0.14
平均值 Mean	17.97	6.68	1.77	2.30	0.37	0.19
标准差 SD	8.14	2.17	0.69	1.73	0.03	0.09
变异系数 CV//%	45.30	32.52	38.88	75.28	8.83	50.30

2.2 减氮对作物产量和氮素吸收量的影响

2.2.1 减氮对作物产量的影响。从图 1a 可以看出,试验条件下减氮对甘蓝经济产量没有显著影响;底施平衡肥的几个处理(CK2、减氮 25%、减氮 50%、减氮 75%、减氮 100%)甘蓝



的经济产量均高于完全不施肥的对照(CK1)。从图 1b 可以看出,试验条件下减氮对甘蓝生物学产量也没有显著影响,底施平衡肥处理有利于提高甘蓝的生物学产量。

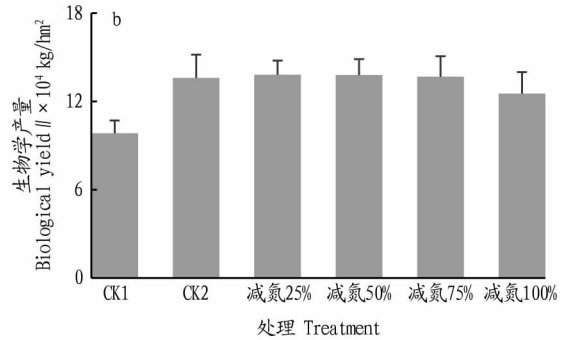


图 1 减氮对甘蓝经济产量(a)和生物学产量(b)的影响

Fig. 1 Effects of nitrogen reduction on economic yield (a) and biological yield (b) of cabbage

2.2.2 减氮对植株含氮率和累计吸氮量的影响。从图 2 可以看出,试验条件下减氮对甘蓝含氮率有降低的趋势。底施平衡肥的几个处理(CK2、减氮 25%、减氮 50%、减氮 75%、减

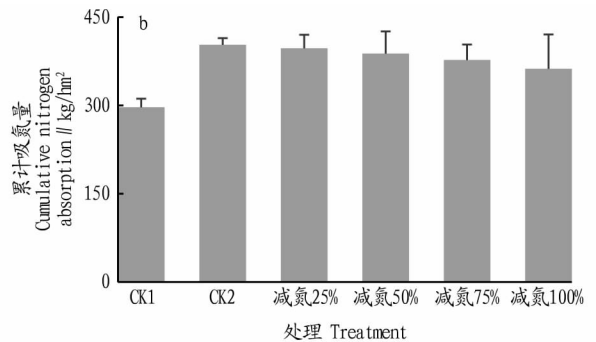
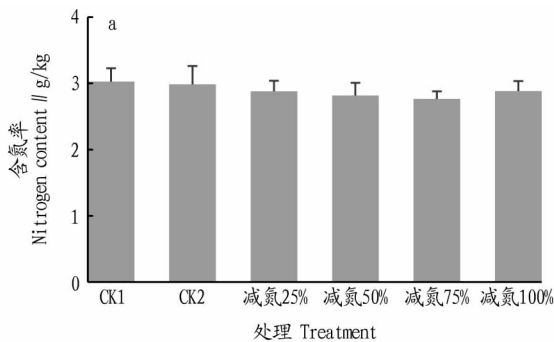
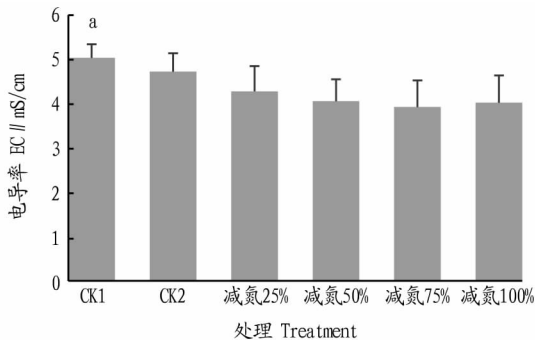


图 2 减氮对植株含氮率(a)和累计吸氮量(b)的影响

Fig. 2 Effects of nitrogen reduction on nitrogen content (a) and cumulative nitrogen absorption (b) of plants

2.3 减氮对土壤电导率和硝态氮含量的影响从减氮处理对收获后土壤电导率和硝态氮含量的影响情况(图 3)可以



看出,增施平衡肥和减氮处理均有利于降低土壤电导率和硝态氮含量。

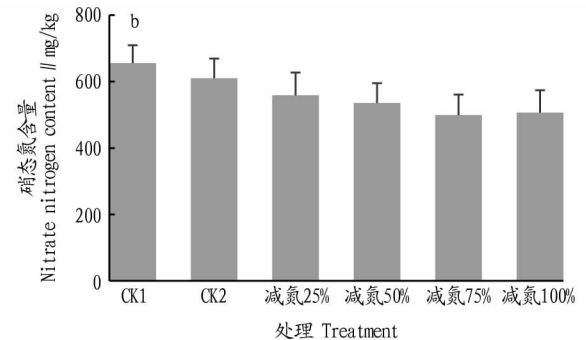


图 3 减氮对土壤电导率(a)和硝态氮含量(b)的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen reduction on soil conductivity (a) and nitrate nitrogen content (b)

3 小结

(1)宿豫区设施土壤已发生明显酸化和次生盐渍化现象,土壤酸化程度开始影响多数作物的正常生长,部分土壤盐渍化程度可能引起严重的作物生长障碍;土壤有机质含量普遍偏低,难以满足高产作物生长对土壤综合肥力的基本要求。

(2)宿豫区设施土壤速效氮含量总体偏高,速效氮组成以硝态氮为主,极易流失损失;土壤速效磷含量较为丰富,可以满足作物高产的基本要求。由于土壤水溶性钙、镁离子含量偏高,导致土壤钾素供应强度偏低,作物相对缺钾问题严重;宿豫区设施土壤有效微量元素中,硼、钼、锰可能供应不足。

(下转第 119 页)

过加快土地流转,节约土地面积,提高资金的投入效率,加快经营主体的转型升级,减少员工等多种方式促进休闲农业的发展。

4 结论与建议

休闲农业既是现代农业的新兴产业业态,也是促进农业与休闲业有机融合的重要抓手。通过对北京休闲农业发展的评价与分析,可以得出以下结论:北京市休闲农业整体效率较高,表明其一直在稳步发展,呈现一个较好的态势。在选取的 13 个研究区域中,有 8 个地区的综合效率有效,占总数的 61.5%。说明绝大部分在经济前沿面上,各项投入利用得较为充分^[10]。但是各地区仍然存在着一些问题,一些地区的休闲农业效率低于全市的平均水平,需加大投入和开发力度,提高产业发展水平,实现产出的最佳效率。

4.1 统筹协调,合理规划 针对北京市休闲农业存在投入冗余的问题。政府部门应该统筹协调各地区特色资源条件,积极推进休闲农业的合理规划布局,发展产业集群,指导休闲农业由自发式、低层次的个体经营向规范化、规模化进行转变,积极指导各区的休闲农业示范点实行“错位”发展,使休闲农业示范点各具特色,提高整体竞争力。

4.2 强化资金扶持,完善基础设施 根据调研结果,针对北京市休闲农业资本和土地利用效率较低的问题,政府需要加快建立相应的财政支持制度,促进土地流转。休闲农业的发展离不开资金的支持,特别是在疫情背景下经济受影响大,休闲农业的财政支持是促进产业发展、增强经营主体信心的重要手段。同时,也可以帮助休闲农业进行土地资源的整合与规模化发展。合法规范的整合村庄土地资源,进行休闲农业高品质、规模化发展,从而推动产业与农村的协同发展。此外,合理利用投资的金额,各地要完善休闲农业经营单位的基础设施和配套服务设施,吸引优质游客,增加营业收入。

4.3 加强培训,注重人才培养 针对北京市休闲农业人力投入冗余、效率较低等问题,加强休闲农业经营主体管理人员的考察学习,开阔眼界,拓宽思路。通过对从业人员培训,进而提高人员的整体综合素质,使其尽快适应北京休闲农业

的快速发展和消费者的需求。此外,还可以出台与人才引进相关的政策,鼓励专业人才和大学生返乡创业,让他们发现乡村特色资源的开发价值,进而通过这些返乡创业的年轻人带动农村经济的发展,增加当地农民的就就业机会。

4.4 打造休闲农业品牌,提高竞争水平 针对北京市休闲农业经营形式单一、同质化严重的现状。各地区的休闲农业在发展过程中可以因地制宜,增加多种经营模式,打造休闲农业品牌。从事休闲农业的经营者可以在原有休闲项目的基础上,开发一些新型娱乐项目。比如,亲子乐园、网红打卡地、户外露营等,也可以与一些学校或者教育机构合作,通过传授农业知识,让游客体验到农耕的乐趣。如果想要延长原有产业链就必须开发更多休闲活动,突出特色优势,并满足游客的多样化需求。北京本就具有深厚的文化底蕴,挖掘文化特色是北京休闲农业发展的方向和优势。如可以将长城文化、京西稻文化等,与特色的民俗活动相结合,打造属于北京的特色休闲农业品牌,进而提高整体的竞争水平。

参考文献

- [1] 王璠,高岩.关于休闲农业的定义与内涵的研究综述[J].上海农业科技,2015(4):18-19,23.
- [2] 王俊凤,刘松洁,闫文,等.基于 DEA 模型的农业科技园区运营效率评价:以黑龙江省 34 个省级农业科技园区为例[J].江苏农业科学,2017,45(4):262-267.
- [3] 张秋月,吕文婷.基于 DEA 模型的青岛市休闲农业效率评价:以青岛市休闲农业与乡村旅游示范点为例[J].中国农业资源与区划,2018,39(12):284-288.
- [4] 李凡凡,孙洪武.认定等级差异视角下休闲农业经营主体效率分析:以南京市休闲农业经营主体为例[J].中国农业资源与区划,2021,42(6):225-232.
- [5] 杨丽丽.成都市温江区休闲观光农业效率评价研究:基于 DEA 方法[D].成都:西南财经大学,2018.
- [6] 常宇方.北京市休闲农业发展效率及其影响因素研究:基于 DEA-Malmquist-Tobit 模型[D].昆明:云南财经大学,2019.
- [7] 李瑾,冯献,马晨.信息化对休闲农业绩效影响评价研究:基于北京三星级以上休闲农业园区的调研分析[J].中国农业资源与区划,2020,41(7):233-239.
- [8] 李彬彬,米增渝,张正河.省域休闲农业发展效率的异质性与收敛性[J].中国农业大学学报,2020,25(1):231-244.
- [9] 黄娜.榆林市休闲农业发展研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [10] 张颖,陈奕捷,肖勇,等.基于数据包络分析法的北京市休闲农业园区评价[J].江苏农业学报,2017,32(6):1421-1428.
- [7] 王柳,张福漫,高丽红.京郊日光温室土壤养分特征的研究[J].中国农业大学学报,2003,8(1):62-66.
- [8] 孟飞琴,王洁琼.设施土壤的障碍因子及其对策研究进展[J].环境研究与监测,2015(1):69-72.
- [9] 谷端银,焦娟,高俊杰,等.设施土壤硝酸盐积累及其对作物影响的研究进展[J].中国蔬菜,2017(3):22-28.
- [10] 顾京晏,顾卫,张化,等.我国设施农业土壤次生盐渍化生物改良措施研究进展[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(1):70-75.
- [11] ZHU J H, LI X L, CHRISTIE P, et al. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems [J]. Agriculture ecosystems and environment, 2005, 111(1):70-80.
- [12] 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):83-90.
- [13] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):144-152.
- [14] 姬景红,张玉龙.长期不同灌溉对保护地土壤供氮能力的影响[J].土壤通报,2010,41(4):867-871.

(上接第 78 页)

(3) 根据土壤养分检测结果,底施平衡肥有利于增强作物对土壤氮素的吸收利用,提高作物产量;在底施平衡肥的基础上,减氮不影响作物产量。

参考文献

- [1] 喻景权,周杰.“十二五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J].中国蔬菜,2016(9):18-30.
- [2] 缪其松,张聪,广建芳,等.设施土壤连作障碍防控技术研究进展[J].北方园艺,2017(16):180-185.
- [3] 卢树昌,王小波,翁福军,等.不同施肥处理对设施土壤硝态氮运移和芹菜生长与品质的影响[J].天津农业科学,2015,21(11):8-11.
- [4] 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.
- [5] 范庆锋,张玉龙,张玉玲,等.不同灌溉方式下设施土壤硝态氮的积累特征及其环境影响[J].农业环境科学学报,2017,36(11):2281-2286.
- [6] 宋晓,李建芬,陈莉,等.设施蔬菜土壤障碍问题探析[J].安徽农业科学,2020,48(17):88-90.