

阿拉尔垦区高品质机采棉田土壤肥力评价及 产能限制因子分析

张 聪¹ 杜 东¹ 余智斌¹ 王 建¹ 李军华¹ 韦继超^{1,2}

(¹新疆塔里木河种业股份有限公司,阿拉尔 843300;²塔里木大学农学院,新疆阿拉尔 843300)

摘要:为了解阿拉尔垦区不同产量棉田的土壤养分情况,分别采集了阿拉尔垦区不同团场 9 个棉田土壤中全氮、有效磷、速效钾、有机质、有效铁、有效锰、有效锌、有效铜的含量,结合第二次全国土壤普查数据进行综合评价,探究土壤养分水平对棉花产量的影响。结果表明,不同试验田土壤肥力状况存在差异,10 团 8 连 621-4 号地在土壤养分综合评价中表现最好,其土壤全氮、有机质、有效铁、有效铜含量均较高,属于中上养分水平;空台里克 7 斗 1 号地的土壤速效钾与有效锰含量较高;9 团 14 连十支 703 号地的有效磷含量较高;9 团 14 连 501 号地土壤中有效锌含量相对较高;9 团 14 连 803-4 号地的产量高于其他试验地。相关性分析表明,养分与产量响应受土壤环境及养分互作主导,该土壤管理需控制铁肥投入,通过调节有机质平衡养分有效性,以缓解拮抗、优化产量条件。总体来说,在田间水肥管理的过程中要结合土壤中的养分情况及时按需补充氮磷钾肥,避免盲目施肥以及过量施肥,适当补充微量元素肥,可使用更能促进棉花吸收的新型液体复合肥料,并加强对病虫害的防治工作,以实现棉花高产。

关键词:棉花;土壤养分;有机质;微量元素;产量;相关性分析

Evaluation of Soil Fertility and Analysis of Productivity Limiting Factors in High-Quality Machine-Picked Cotton Fields in Aral Reclamation Area

ZHANG Cong¹, DU Dong¹, YU Zhibin¹, WANG Jian¹, LI Junhua¹, WEI Jichao^{1,2}

(¹Xinjiang Tarim River Seed Industry Co., Ltd., Aral 843300, Xinjiang;

²Agricultural College of Tarim University, Aral 843300, Xinjiang)

新疆棉花是全球业界公认的高品质天然纤维原料,以绒长、品质好、产量高著称于世,棉花纤维平均长度达 29mm,能更好地满足纺织业对高品质棉花的需求,整体品质优于全国其他省份。新疆作为中国最大的棉产区,其棉花总产量占全国 9 成以上,连续 5 年稳定在 500 万 t 以上,面积、总产量连续 30 年位居全国第一。阿拉尔垦区棉花种植面积广阔,近年来种植面积基本维持在 13.3 万 hm²(200 万亩),由于不同团场土壤条件存在差异,导致棉田产量差

别较大。多年来受传统观念的影响,农户往往不能科学施肥,不仅造成养分过剩而带来的资源浪费,还使得土壤质量下降^[1]。针对此类情况,检测阿拉尔周边具有代表性的棉田土壤中的养分情况,明确此地区土壤养分与产量之间的关系,对于进一步提高棉花产量和科学施肥具有重要意义。

土壤基础肥力是维持作物养分吸收、保障作物正常生长发育的重要因素^[2],是耕地能否实现高产稳产以及可持续发展的重要指标之一^[3-5],是除水源供应外决定作物生长、高产和优质^[6-8]的最重要因素,在一定程度上能够反映土壤速效养分的供应能力。一般来说,作物在高肥力农田的生产

基金项目:农业生物育种国家科技重大专项(2023ZD04038);新疆兵团项目重点领域科技攻关(2024AB002)

通信作者:韦继超

潜力通常高于低肥力农田^[9],低肥力农田的基础养分较低,尤其是氮素的供应能力较弱,需要补充更多的外来氮素^[10]。棉田土壤养分含量是提高棉花产量、保障棉花品质的重要因素^[11]。棉花在生长发育过程中需要大量的氮素、磷素和钾素,因此棉花养分的积累和产量的形成与土壤中有效氮、速效磷和速效钾的含量有密切关系^[12]。土壤微量元素是土壤质量的重要表征之一^[13],参与棉花体内的生理代谢、酶活性调节、物质合成等关键过程,对棉花的生长发育、产量形成和抗逆性提升具有不可替代的作用,对棉花的生长起到至关重要的作用^[14-15]。

本试验针对南疆阿拉尔周边不同产量水平的棉田进行土壤样品采集,测定土壤中的各项养分指标,探究其养分水平状况以及对棉花产量的影响,旨在为当地棉花产业的健康发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 新疆阿拉尔(40°22′~40°57′N, 80°30′~81°58′E)位于塔里木河上游,塔克拉玛干

沙漠的西北缘,平均海拔1100m,属暖温带大陆干旱荒漠气候区,降水稀少,光照时间长,年均气温10.7℃,≥10℃积温4113℃,年日照约2900h,年降水量50mm左右。

1.2 样品采集与测定 采样点为新疆南疆阿拉尔周边团场具有代表性的棉田,棉田种植品种均为新疆塔里木河种业股份有限公司自主研发生产的塔河二号陆地棉。采样地点共9个,分别为大林床3号地、9团14连501号地、9团14连601号地、空台里克7斗1号地、9团14连十支703号地、空台里克7斗3号地、10团8连621-4号地、9团14连803-1号地、9团14连803-4号地。每块地选取6个采样单元,每个单元采用“S”型采样法采集0~30cm土壤样品。由新疆农垦科学院分析测试中心测定全氮、有效磷、速效钾、有机质、有效铁、有效锰、有效锌、有效铜含量,并结合全国第二次土壤普查数据^[16-18]进行分析(表1、表2)。产量指标的测定为每个采样地点随机选取3块不同区域的样方,对1.33hm²(20亩)田地进行了实收测产。

表1 全国第二次土壤普查土壤养分分级标准

养分	分级标准					
	一级	二级	三级	四级	五级	六级
有机质含量(g/kg)	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
全氮含量(g/kg)	>2.00	1.50~2.00	1.00~1.50	0.75~1.00	0.50~0.75	<0.50
碱解氮含量(mg/kg)	>150	120~150	90~120	60~90	30~60	<30
有效磷含量(mg/kg)	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	<3
速效钾含量(mg/kg)	>200	150~200	100~150	50~100	30~50	<30

一级为极丰富,二级为丰富,三级为较丰富,四级为适量,五级为贫乏,六级为极贫乏

表2 新疆农田土壤微量元素含量分级标准

(mg/kg)

微量元素	背景值	极丰富	丰富	中等	缺	急缺
有效铁含量	11.90	>20	10~20	4.5~10	2.5~4.5	<2.5
有效锰含量	7.13	>30	15~30	5~15	1~5	<1
有效锌含量	1.81	>1.8	1.0~1.8	0.2~1.0	0.1~0.2	<0.1
有效铜含量	0.79	>3.0	1.0~3.0	0.5~1.0	0.3~0.5	<0.3

1.3 数据分析 所有数据均采用IBM SPSS Statistics 27进行分析处理,采用Origin 2024进行绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤氮、磷、钾、有机质含量与产量分析 氮、磷、钾是棉花生长发育过程中不可或缺的三大营养元素,在棉花的生理代谢、形态建成和产量品质

形成中发挥着关键作用。氮是构成棉花细胞原生质(蛋白质、核酸、叶绿素等)的核心元素,直接影响棉花的光合作用、营养生长和生殖生长。由表3可知,各试验地土壤中氮含量处于四级、五级、六级水平,土壤中氮含量较低;其中10团8连621-4号地的土壤全氮含量显著高于其他试验地,达到

0.83g/kg,养分分级为四级;其次是大林床3号地,养分分级为五级;其他试验地全氮含量均为六级水平,在0.26~0.38g/kg之间。

磷参与棉花体内能量转换(如ATP合成)、遗传物质(DNA、RNA)合成及养分运输,对棉花的早期发育和抗逆性至关重要。各试验地的土壤有效磷含量相对较高,均处于二级、三级水平,其中9团14连十支703号地、9团14连803-1号地、9团14连803-4号地、10团8连621-4号地的土壤磷含量明显高于其他试验地,分别为33.37mg/kg、32.77mg/kg、27.57mg/kg、33.80mg/kg。

钾虽不直接构成细胞结构,但作为酶的活化剂,参与光合作用、水分调节和物质运输,对棉花的产量和纤维品质起决定性作用。各试验地的土壤速效钾含量处于二级、四级、五级水平;空台里克7斗1号地、空台里克7斗3号地、10团8连621-4号地的土壤钾含量显著高于其他试验地,分别为173.44mg/kg、173.00mg/kg、153.00mg/kg,均处于二级水平;9团14连601号地的土壤钾含量最低,养分分级为五级,应适当补充钾肥,促进棉花生长。

土壤有机质是棉花生长所需多种营养元素的“储备库”和“缓释源”,对养分供应的稳定性和有效性至关重要。作为棉花生长的综合肥力基础,通过调控养分供应、土壤结构、微生物活性和化学环境,全方位支撑棉花从苗期到蕾铃期的生长需求。10团8连621-4号地的土壤有机质含量显著高于其他试验地,为14.17g/kg,养分分级为四级;其他试验地土壤有机质含量较低,处于五级、六级水平,应当及时采取补充有机肥、种植绿肥等相关手段进行调节。

各试验地每667m²产量在466.2~642.1kg之间,9团14连803-4号地产量最高,其有效磷含量较高;其次是空台里克7斗3号地、空台里克7斗1号地,其速效钾含量较高;大林床3号地产量最低,显著低于其他试验地。

2.2 土壤微量元素含量分析 土壤中的微量元素含量较低,但可通过参与棉花的生理代谢活动和生长调控过程,对棉花的产量与品质产生直接影响。因此,科学调节土壤微量元素的含量水平,也是实现棉花高产、优质、高效栽培的关键举措。

铁是叶绿素合成的必需元素,也是细胞色素、过氧化氢酶等的组成成分,参与光合作用和呼吸作用中的电子传递。由表4可知,大林床3号地与10团8连621-4号地的土壤有效铁含量高于其他试验地,分别为19.97mg/kg、16.27mg/kg,均处于丰富水平。

锰参与光合作用的光反应阶段,是多种酶(如超氧化物歧化酶、硝酸还原酶)的激活剂,调节碳水化合物和氮代谢。空台里克7斗1号地的土壤有效锰含量显著高于其他试验地,为16.27mg/kg,处于丰富水平,其他试验地有效锰含量中等或缺,可适量补充锰肥。

锌是棉花体内多种酶(如碳酸酐酶、脱氢酶)的组成成分或激活剂,直接参与光合作用中二氧化碳的固定、碳水化合物的合成与运输,以及蛋白质、核酸的代谢。9团14连501号地土壤中有效锌含量相对较高,为1.20mg/kg,处于丰富水平,其余试验地均处于中等水平。

铜是氧化酶(如多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶)的组成成分,参与呼吸作用和木质素合成,同时与棉

表3 不同采样地氮、磷、钾、有机质含量情况

试验地	全氮		有效磷		速效钾		有机质		产量 (kg/667m ²)
	含量(g/kg)	分级	含量(mg/kg)	分级	含量(mg/kg)	分级	含量(g/kg)	分级	
大林床3号地	0.57±0.024b	五级	20.03±1.59bc	二级	78.33±5.55b	四级	8.47±0.54b	五级	466.2±4.6d
9团14连501号地	0.26±0.019c	六级	20.07±2.40bc	二级	50.67±2.73c	四级	3.58±0.17c	六级	536.2±5.8c
9团14连601号地	0.35±0.018c	六级	18.43±2.22bc	三级	50.00±3.21c	五级	5.45±0.17c	六级	482.1±3.8c
空台里克7斗1号地	0.27±0.014c	六级	17.22±0.76bc	三级	173.44±7.79a	二级	3.35±0.07c	六级	608.1±3.8b
9团14连十支703号地	0.37±0.029c	六级	33.37±1.20a	二级	76.00±4.16b	四级	5.43±0.35c	六级	604.7±4.4b
空台里克7斗3号地	0.36±0.024c	六级	14.90±1.48c	三级	173.00±6.08a	二级	4.78±0.16c	六级	625.1±2.9ab
10团8连621-4号地	0.83±0.075a	四级	33.80±1.14a	二级	153.00±4.93a	二级	14.17±1.17a	四级	512.6±6.2e
9团14连803-1号地	0.38±0.075bc	六级	32.77±4.85a	二级	79.33±2.60b	四级	5.58±1.01bc	六级	551.2±5.4c
9团14连803-4号地	0.37±0.029c	六级	27.57±1.90ab	二级	73.00±5.86bc	四级	5.46±0.50c	六级	642.1±4.3a

同列不同小写字母表示在0.05水平上存在显著差异,下同

表4 不同采样地有效态铁、锰、锌、铜含量情况

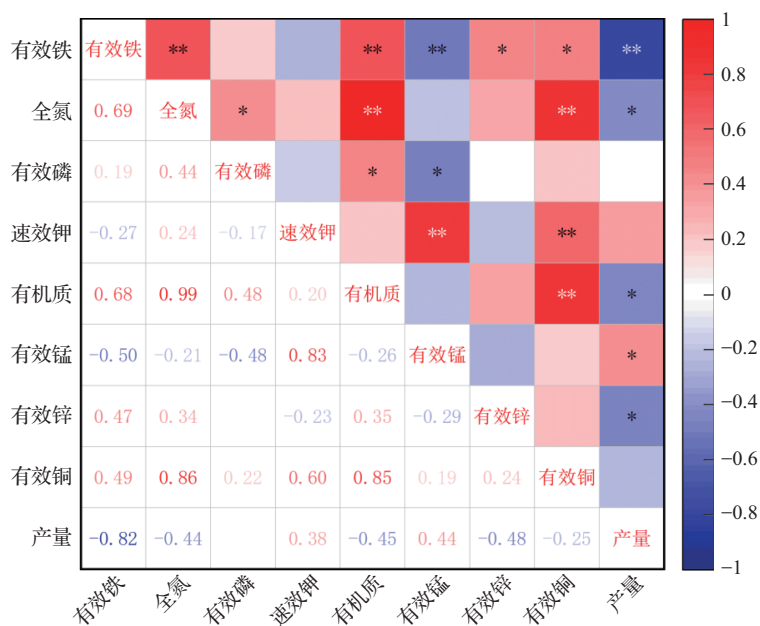
试验地	有效铁		有效锰		有效锌		有效铜	
	含量(mg/kg)	分级	含量(mg/kg)	分级	含量(mg/kg)	分级	含量(mg/kg)	分级
大林床3号地	19.97 ± 0.63a	丰富	3.37 ± 0.48cd	缺	0.64 ± 0.06ab	中等	1.00 ± 0.06b	丰富
9团14连501号地	10.27 ± 0.07b	丰富	3.11 ± 0.06d	缺	1.20 ± 0.08a	丰富	0.23 ± 0.01d	急缺
9团14连601号地	10.23 ± 0.71b	丰富	3.67 ± 0.23cd	缺	0.58 ± 0.24b	中等	0.48 ± 0.06cd	缺
空台里克7斗1号地	3.62 ± 0.19d	缺	16.27 ± 0.63a	丰富	0.40 ± 0.06b	中等	0.76 ± 0.01bc	中等
9团14连十支703号地	7.17 ± 0.64bcd	中等	3.23 ± 0.34d	缺	0.44 ± 0.07b	中等	0.49 ± 0.08cd	缺
空台里克7斗3号地	4.10 ± 0.55cd	缺	12.00 ± 0.31b	中等	0.40 ± 0.01b	中等	1.04 ± 0.07b	丰富
10团8连621-4号地	16.27 ± 2.14a	丰富	5.17 ± 0.54c	中等	0.95 ± 0.19ab	中等	2.30 ± 0.23a	丰富
9团14连803-1号地	8.03 ± 0.80bc	中等	3.43 ± 0.15cd	缺	0.45 ± 0.11b	中等	0.49 ± 0.04cd	缺
9团14连803-4号地	6.50 ± 0.46bcd	中等	3.23 ± 0.38d	缺	0.41 ± 0.04b	中等	0.45 ± 0.05cd	缺

花的抗逆性密切相关,能够参与酶代谢调节,对生长素合成、作物生长发育、种子萌发有十分重要的影响^[19]。10团8连621-4号地的土壤有效铜含量显著高于其他试验地,为2.30mg/kg,土壤有效铜含量丰富。

2.3 土壤氮、磷、钾、有机质含量及微量元素与产量的相关性分析 通过对阿拉尔垦区各试验地土壤氮、磷、钾、有机质含量及微量元素与产量的相关性分析发现,全氮含量与有效磷含量呈显著正相关,与有机质、有效铁、有效铜含量呈极显著正相关。有效磷与有机质含量呈显著正相关,与有效锰含量呈显著负相关。速效钾与有效锰、有效铜呈极显著正相关。有机质与有效铁、有效铜呈极显著正相关。有效铁与有效锌、有效铜呈显著正相关,与有效锰呈极

显著负相关。有效铁与产量呈极显著负相关,过量有效铁与磷、锌等养分拮抗,阻碍作物吸收,成为产量抑制因子(图1)。

2.4 土壤养分含量综合评价 对阿拉尔各棉田试验地土壤中的全氮(A₁)、有效磷(A₂)、速效钾(A₃)、有机质(A₄)及有效态的铁(A₅)、锰(A₆)、锌(A₇)、铜(A₈)四大微量元素含量进行主成分分析,结果见表5。以特征值大于1为标准,提取了3个主成分,累计贡献率为92.487%,能够代表各试验地土壤养分含量的基本情况。主成分1主要反映了全氮、有机质、有效铁、有效铜的含量特征,主成分2主要反映了速效钾、有效锰的含量特征,主成分3主要反映了有效锌的含量特征。



*,** 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在显著、极显著相关性

图1 土壤养分指标相关性分析

表 5 土壤养分含量的主成分分析

因子	主成分		
	F ₁	F ₂	F ₃
A ₁	0.49	0.14	-0.07
A ₂	0.26	-0.18	-0.70
A ₃	0.03	0.63	-0.02
A ₄	0.50	0.11	-0.09
A ₅	0.42	-0.18	0.32
A ₆	-0.21	0.56	0.14
A ₇	0.25	-0.21	0.61
A ₈	0.41	0.38	0.02
特征值	3.886	2.43	1.083
贡献率(%)	48.573	30.375	13.539
累计贡献率(%)	48.573	78.948	92.487

特征向量与相应指标的标准化数据乘积再相加,可得到3个得分表达式: $F_1=0.49A_1+0.26A_2+0.03A_3+0.5A_4+0.42A_5-0.21A_6+0.25A_7+0.41A_8$; $F_2=0.14A_1-0.18A_2+0.63A_3+0.11A_4-0.18A_5+0.56A_6-0.21A_7+0.38A_8$; $F_3=-0.07A_1-0.7A_2-0.02A_3-0.09A_4+0.32A_5+0.14A_6+0.61A_7+0.02A_8$ 。将主成分贡献率作为权数,建立各试验地土壤中养分含量的综合评价方程: $F=48.573\%F_1+30.375\%F_2+13.539\%F_3$,以此计算综合得分并进行排名。如表6所示,10团8连621-4号地的综合得分最高,说明此地的土壤养分含量最优,此地的产量为512.6kg/667m²。

表 6 各试验地养分情况综合评价

试验地	F ₁	F ₂	F ₃	F	排名
大林床3号地	1.684	-0.533	0.894	0.777	2
9团14连501号地	-0.692	-1.874	1.744	-0.669	8
9团14连601号地	-0.616	-1.032	0.498	-0.545	5
空台里克7斗1号地	-2.164	2.381	0.259	-0.293	4
9团14连十支703号地	-0.390	-0.891	-1.383	-0.648	7
空台里克7斗3号地	-1.363	2.209	0.309	0.051	3
10团8连621-4号地	4.521	1.356	-0.120	2.592	1
9团14连803-1号地	-0.291	-0.840	-1.252	-0.566	6
9团14连803-4号地	-0.689	-0.775	-0.948	-0.699	9

3 讨论

土壤既是宝贵的农业资源和重要的生产资料,也是国家粮食安全的基础。李佳欣等^[20]通过主成分分析法确定了指标权重,根据指数和法划分土壤肥力等级,发现胶州市李哥庄镇北部18个村整体土壤肥力呈现东侧丰富、西侧缺乏的特点,为当地提出了合理的施肥建议。颜芳等^[21]研究发现,北京不同耕地土壤养分水平及其空间变异特征以及不同土壤类型、地形部位对土壤养分及肥力的影响效果明显,为北京市耕地土壤肥力评价提供了参考依据。

本研究发现,10团8连621-4号地在土壤养分综合评价中表现最好,其土壤全氮、有机质、有效铜含量均显著高于其他试验地,分别为0.83g/kg、14.17g/kg、2.30mg/kg,有效铁和有效磷含量也较高,养分均属于中上水平,但因该地块土壤长期连作,加之土壤中黄萎病菌大量累积,且田间管理措施未能及时有效落实,产量仅为512.6kg/667m²,在后续田

间管理的过程中需减施氮肥,及时补充磷钾肥和有机肥,播种前补充底肥。空台里克7斗1号地的土壤速效钾与有效锰含量较高,田间管理需控施钾锌肥、重点补充氮磷肥。9团14连十支703号地的有效磷含量较高,9团14连501号地的有效锌含量较高,这2个地块需维持优势养分供给,按需补充氮钾等缺失养分,同时避免过量施肥,确保养分均衡支撑棉花高产。9团14连803-4号地产量最高,土壤养分搭配均衡,磷含量较高,养分均匀,田间管理措施落实到位。因此,在今后的种植栽培过程中需注重土壤养分均衡供给,针对性补充缺失养分、避免过量施肥,防控连作病害,强化田间管理,为棉花高产筑牢基础,实现高产栽培。

参考文献

[1] 张卫峰,马文奇,王雁峰,张福锁. 中国农户小麦施肥水平和效应的

(下转第118页)

元化发展。本试验在临夏州和政县高寒阴湿区开展了14个鲜食蚕豆品种(系)的筛选试验,综合分析各品种(系)生育期、农艺性状、鲜荚产量、食味口感等表现。生育时期方面,引进的冬性品种(系)能够正常开花、成熟,但是与春性品种(系)在开花期、终花期、生育期天数等方面存在较大差异。冬性品种(系)花期(开花期至终花期)较短,且冬性品种(系)生育期为93~100d,与春性品种(系)相比,表现为早熟。产量方面,14个参试品种(系)中,鲜荚产量和干籽粒产量最高的是长荚选-3,其次是长荚选-2、云豆选抗病大粒,这3个品种(系)株高109.00~117.00cm、有效分枝数1.33~2.10个、单株荚数14.00~18.70个、单株粒数35.67~50.80粒、荚长为10.57~13.93cm、鲜荚产量1875.00~1901.60kg/667m²、干籽粒产量360.18~380.28kg/667m²,具有株高适中、单株荚数和单株粒数多、荚长、产量高的特性,田间综合性状表现好,适宜在临夏州高寒阴湿区推广种植。食味评价方面,引进的冬性品种(系)通蚕鲜11号、通蚕鲜12号、通蚕鲜13号、通蚕鲜20号、通蚕鲜21号、通青1号在甜味、鲜味、香味、糯性、硬度、

种皮厚度6个方面口感得分较高,可作为高品质鲜食蚕豆品种(系)在临夏地区适度推广种植。

参考文献

- [1] 石晗,邹丹蓉,陈子义,周德尧,龚玮,陈珏,杨华. 蚕豆种质资源成熟籽粒营养成分及氨基酸组成分析. 中国种业, 2025(2): 73-83
- [2] 朱正梅,吕学高,石丽敏,宋费玲,卢华兵. 我国鲜食蚕豆育种概况. 农业科技通讯, 2020(7): 14-16
- [3] 周瑶,姚梦楠,缪亚梅,金建华,顾春燕,赵娜,汪凯华,王学军. 中国鲜食蚕豆产业发展研究. 农学学报, 2022, 12(2): 80-84
- [4] 周瑶,周恩强,姚梦楠,赵娜,缪亚梅,魏利斌,王永强,王学军. 我国鲜食蚕豆品种发展现状及趋势. 浙江农业科学, 2023, 64(10): 2423-2428
- [5] 李艳兰,普光发,张娜,徐学忠,胡新洲,柴梦婷,张雪松,刘坚坚,李祥,陈梦丽,张斌,任晶梅,杨进成. 稀植鲜食蚕豆品种产量与农艺性状相关性分析. 农学学报, 2024, 14(3): 28-33
- [6] 王琳琳,钟洋敏,李汉美,马瑞芳,刘娜,刘庭付. 基于定量描述法的鲜食蚕豆资源食味品质感官评价与分析. 浙江农业学报, 2024, 36(11): 2482-2489
- [7] 邵扬,郭延平,李强,张芸,黄青岩,李龙,汪学英. 粮菜兼用型春蚕豆新品种临蚕13号. 中国种业, 2020(8): 107-108

(收稿日期:2025-11-03)

(上接第112页)

- 评价. 土壤通报, 2008, 39(5): 1049-1055
- [2] 白雪纯,张君红,冯魁亮,王涛,夏宇康,马超然,龙明秀,何树斌. 化肥减量配施有机肥对青贮玉米产量、营养价值及土壤微生物活性的影响. 草业科学, 2020, 37(2): 348-354
 - [3] 张占琴,张力,田海燕,杨相昆. 不同前茬作物对小麦田土壤养分及小麦光合性能的影响. 干旱地区农业研究, 2022, 40(1): 30-41
 - [4] 黄雅茹,马迎宾,郝玉光,辛智鸣,徐军,董雪,刘禹廷,赵英铭. 乌兰布和东北部典型土地利用的土壤养分特征. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 123-129
 - [5] 陶吉杨,谭军利,郑飞龙,王西娜,张维江. 宁南山区植被恢复模式对土壤主要酶活性、微生物多样性及土壤养分的影响. 干旱地区农业研究, 2022, 40(3): 207-217
 - [6] 王红阳. 晋西南黄土残塬区特色经果林种植下主要土壤养分及产量特征研究. 临汾:山西师范大学, 2022
 - [7] 吴勇. 河西灌区紫花苜蓿高效生产的施肥效应研究. 兰州:甘肃农业大学, 2021
 - [8] 张正峰. 土地整治可持续性的标准与评估. 农业工程学报, 2012, 28(7): 1-7
 - [9] 刘素华,李新林,彭延,彭小峰,张选. 南疆陆地棉机采适宜性评价及农艺性状与产量相关性研究. 中国种业, 2023(7): 55-60
 - [10] 涂保华,符菁,赵远,赵利华,肖娴,张晟,卫国华,吉昕华. 基于光合菌剂的复合微生物菌肥对土壤速效养分含量及微生物群落结

构多样性的影响. 西南农业学报, 2019, 32(12): 2878-2884

- [13] 刘金山,张世民. 2023年兵团棉花品种纤维品质监测结果分析. 新疆农垦科技, 2024, 47(4): 57-62
- [14] 于京湖. 精准施肥技术在甘薯种植中的应用. 中国种业, 2025(9): 185-186
- [15] 徐昕. 增温条件下土壤不同粒级有机碳和全氮的分布及对微量元素锌的吸附研究. 南京:南京农业大学, 2018
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京:中国农业出版社, 1998
- [17] 张子琦,焦菊英,陈同德,陈玉兰,林红,徐倩,程玉卓,赵文婷. 拉萨河流域中下游洪积扇土壤养分评价. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(11): 2082-2096
- [18] 买买提江·依明,张聪,李天乐,翟云龙. 新疆巴楚县域农田土壤微量元素含量分布特征. 寒旱农业科学, 2024, 3(7): 660-665
- [19] 高飞,范珊珊,刘继远,季卫,陈素贤,张新刚. 北京市各区县耕地建设保护实验室现状与建议. 智慧农业导刊, 2022, 2(14): 40-42
- [20] 李佳欣,盖伟玲,孙昱显,赵昕,张晓光,崔德杰. 基于GIS的土壤养分空间分布特征及肥力评价. 中国农学通报, 2023, 39(25): 94-101
- [21] 颜芳,张蕾,焦扬庆,王胜涛,李娟,张敬锁. 北京市耕地土壤养分分异特征及肥力评价. 北方园艺, 2025(7): 107-113

(收稿日期:2025-11-21)