果 树 学 报 2018，35(8)：957-966
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20170461

西藏设施葡萄土壤酸化、盐渍化和养分特征

王 朔[1]，李帅霖[2,3]，曾秀丽[1*]，代安国[1]，张姗姗[1]，张 凯[1]，路贵龙[1]，李元会[1]

([1]西藏自治区农牧科学院蔬菜研究所•农业部青藏高原果树科学观测实验站，拉萨 850032；[2]中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室，陕西杨凌 712100；[3]中国科学院大学，北京 100049)

摘 要：【目的】调查西藏不同地区设施葡萄土壤施肥方法，研究土壤酸化、盐渍化和养分现状并探索其原因，为西藏设施葡萄合理施肥和土壤可持续利用提供科学依据。**【方法】**以西藏主要设施葡萄产区典型温室土壤为研究对象，以室外裸地土壤为对照，研究了不同地区、不同种植年限下土壤理化性质现状。拉萨地区为种植4 a(年)(LS4)、14 a(LS14)土壤和裸地土壤(LSB)，林芝地区为种植9 a土壤(LZ9)和裸地土壤(LZB)，山南地区为种植3 a土壤(SN3)和裸地土壤(SNB)。**【结果】**(1)各地区设施土壤pH均显著低于裸地，其中LZ9(4.48)和LS14(4.58)酸化严重，过量的尿素和磷酸二铵的输入是其主要原因。(2)SN3、LZ9和LS4属于低盐度等级，LS14属于超高盐度等级，次生盐化问题严重。大量羊粪和钾肥的投入是导致LS14盐渍化的直接原因，而过量的尿素与羊粪配施也是土壤盐渍化的潜在重要因素。(3)LS14，LZ9和SN3土壤养分含量远远超出速效养分的极高供应水平，肥料投入过量问题严重。**【结论】**西藏地区设施葡萄土壤面临着酸化和盐渍化威胁，其酸化的主要原因是由于过量氮肥、磷酸二铵和硫酸钾的输入，而大量的羊粪和钾肥的施用是LS14盐渍化严重的直接原因。因此根据西藏不同地区设施葡萄土壤现状，测土按需施肥，优化管理措施，建立合理高效设施栽培技术标准十分必要。

关键词：设施葡萄；土壤；施肥量；西藏；酸化；盐渍化；土壤养分

中图分类号：S663.1 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-9980(2018)08-0957-10

Soil acidification, salinization and nutrient characteristics in greenhouse vineyards in Tibet

WANG Shuo[1], LI Shuailin[2,3], ZENG Xiuli[1*], DAI Anguo[1], ZHANG Shanshan[1], ZHANG Kai[1], LU Guilong[1], LI Yuanhui[1]

([1]Institute of Vegetables, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences · The Ministry of Agriculture of Qinghai-tibet Plateau Fruit Trees Scientific Observation Test Station, Lhasa 850032, Tibet, China; [2]State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; [3]University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: 【Objective】Grape is one of the largest fruit trees in facility cultivation, which develops fast in China. The planting area of facility agriculture is increasing in Tibet. However, the relatively closed micro-ecological environment and the concept held by farmers that high yield depends on high input of fertilizer have created many problems in facility cultivation of grape and the problems are becoming more severe with years. Investigation of soil acidification, salinization and nutrients characteristic in grape greenhouses in different areas of Tibet provides guidance for reasonable fertilization and sustainable utilization of soil. 【Methods】The pH, electrical conductivity (EC) and nutrients in greenhouse vineyard soils in different regions were studied using the outdoor bare land soil as the controls. Lhasa's soils were sampled from the greenhouses planted with grape for 4 (LS4) and 14 years (LS14) and from bare land (LSB). Nyingchi’s soils were sampled from the greenhouses planted with grape for 9 years (LZ9) and from bare land (LZB). Shannan’s soils were sampled from the greenhouses planted with grape for

收稿日期：2017-12-01 接受日期：2018-05-11

基金项目：西藏自治区科技厅自然科学基金(2016ZR-NK-07)；西藏自治区科技厅重点研发及转化类项目(藏科发[2017] 72号)

作者简介：王朔，女，研究实习员，研究方向为果树栽培与生理。Tel：0891-6863203，E-mail：wshuo700@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel：0891-6863203，E-mail：562731771@qq.com

3 years (SN3) and from bare land (SNB). 【Results】(1) The 0-60 cm soils of the outdoor bare land in all the areas were neutral to alkaline (pH between 7.0 and 8.0), while pH values in the 0-60 cm soil in LS14, LS4 and LZ9 were below 7.0. The pH values of the surface (0-20 cm) soils of LS14 and LZ9 were 4.48 and 4.58, respectively, which were 40.44% and 41.21% lower ($p < 0.05$) than that of LSB and LZB, respectively. In addition, pH values of the 0-40 cm soil in LS14, LS4 and LZ9 ranged from 4.87 to 5.18, which were significantly lower ($p < 0.05$) than that of the bare soil at 20-40 cm. In general, there were serious soil acidification problems in the grape greenhouse soils in Lhasa and Nyingchi, and the Shannan is facing severe acidification risk. Excessive urea and diammonium phosphate input was the main cause for soils acidification. (2) The EC of the soil (0-60 cm) in the grape greenhouses was significantly higher ($p < 0.05$) than that of the bare soils and showed a decreasing trend with soil depth. The soil EC in LS14 was 0.75-2.48 $mS \cdot cm^{-1}$, which was significantly higher than in LSB by 15-31 times ($p < 0.05$). The EC in the surface soil of LS4 was 0.48 $mS \cdot cm^{-1}$, which was significantly higher than that of the LSB ($p < 0.05$). The soil EC of LZ9 and SN3 was less than 0.5 $mS \cdot cm^{-1}$ but still significantly higher than that of LZB and SNB. SN3, LZ9 and LS4 were mildly salinized and LS14 had high salinity. Large amount of potassium fertilizer and sheep manure application might have directly resulted in the salinization in LS14 soil. The combination of large amounts of urea and sheep manure might have exacerbated salinization. (3) The soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in Lhasa increased with the increase in planting years, and the organic carbon content in LS14 was 50.10 $g \cdot kg^{-1}$, which was 2.4 times higher than that in LSB ($p < 0.05$). Total nitrogen in LS14 was 3.0 times higher than in LSB ($p < 0.05$), and total phosphorus was 3.4 times higher ($p < 0.05$). Soil organic carbon content and total nitrogen content in LZ9 were not significantly different from those in LZB ($p > 0.05$), while total phosphorus and total potassium content were significantly higher than in LZB ($p < 0.05$). The organic carbon content in SN3 was 3.1 times higher than that in the control and was as high as 67.32 $g \cdot kg^{-1}$ ($p < 0.05$). The contents of soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in SN3 soil were significantly higher than those in SNB ($p < 0.05$), but there was no significant difference in total potassium content between SN3 and SNB. (4) The available soil nutrients in different areas showed different characteristics. The available nitrogen, phosphorus, and potassium contents of the greenhouse soils were significantly higher than those of the bare land ($p < 0.05$), with the exception that the available nitrogen content in LS4 was significantly lower than in LSB ($p < 0.05$). The available nitrogen, phosphorus and potassium in LS14 reached the highest level among all the treatments and were 1.26, 13.16, and 11.71 times higher than in LSB, respectively. 【Conclusion】(1) The soils in the grape greenhouses in Tibet are threatened by acidification and salinization. The pH in the greenhouse soils ranges from 4.49 to 6.71. Soils in LS14, LZ9 and LS4 are acidic, while that in SN3 is neutral. The main reason is the excessive use of urea and diammonium phosphate. (2) SN3, LZ9 and LS4 have low salinity levels, which may cause slight obstacle to crop growth, while LS14 is highly salinized and ad adverse to crop growth. The excessive use of potassium fertilizer and large amount sheep manure input might be one of the main factors to cause soil salinization in LS14. (3) The nutrient contents of the soils in the grape greenhouses have far exceeded the high level of the quick-acting nutrients. Excessive inputs of fertilizers have undoubtedly reduced the efficiency of nutrient utilization and increased production costs. Therefore, establishing reasonable and efficient fertilization methods based on the current status of the soil is extremely urgent.

Key words: Greenhouse vineyard; Soil; Fertilization; Tibet; Acidification; Salinization; Soil nutrients

葡萄是设施栽培规模最大的果树之一，我国设施葡萄生产发展速度迅猛，截至2011年底，全国葡萄设施栽培面积就已超过70 000 hm^2[1]。西藏具有独特的气候条件，无霜期平均130 d左右，露地栽培不能满足绝大多数葡萄正常生长需要的有效积温，发展设施葡萄栽培是西藏生态葡萄产业发展的唯一出路。近年来，西藏设施葡萄种植面积不断增加，给农民带来了可观的经济收入。但设施栽培较封闭的微生态环境加之农民高肥投入高产出的观念，使得设施葡萄随着种植年限的增加而显现诸多问题[1-2]。设施环境的恶化严重影响了葡萄的生长和结果[1]。设施栽培连年大量有机肥及化肥的施用导致土壤养分随着栽培年限的增加而增加，"肥害"增加生产成本，造成大量的资源浪费[2]。此外由于设施栽培长期处于高集约化、高复种指数且缺少雨水淋洗的生产状态，其特殊的生态环境与不合理的水肥管理措施导致设施土壤面临严重的酸化、盐渍化威胁[3-4]。针对这些问题，我国提出了"到2020年化肥使用零增长"的目标[5]。目前对多年生果树设施土壤环境的研究相对较少，对于西藏设施葡萄土壤酸化、盐渍化特征更是不甚了解。因此调查西藏设施葡萄土壤酸化、盐渍化现状并探明原因对于西藏设施葡萄产业健康发展十分重要。

研究表明，随着设施种植年限增加，土壤的养分含量及含盐量逐渐累积，pH逐年降低，且设施土壤的恶化与设施栽培年限呈明显的正相关[5-6]。马艳春等[1]研究了种植2、7、12 a的设施葡萄土壤理化性质，发现设施栽培土壤总孔隙度和通气孔隙度下降，种植7 a的土壤pH仅为5.0，电导率和总盐含量显著高于对照；随着设施种植年限的增加，土壤酸化、盐渍化、表层富营养化加剧，重金属Cu、Zn大量积累。类似的，周德平等[7]研究发现多年生芦笋在设施栽培3 a时就出现了土壤酸化和次生盐渍化状况。关于西藏拉萨设施蔬菜土壤理化性质的研究表明连续种植12 a的温室土壤的pH显著下降，全磷、速效磷和全钾含量显著增加，但全氮含量呈下降趋势[8]。

笔者以西藏主要设施葡萄产区典型温室土壤为主要研究对象，通过施肥措施调查及对土壤理化性状分析，旨在研究不同地区设施葡萄土壤酸化、盐渍化和养分特征并明晰原因，进而为高原设施果树产业可持续发展提供理论依据和技术支撑。

1　材料和方法

1.1　研究区概况

试验采样点分别位于西藏拉萨、林芝和山南地区。样点位置，气候条件和土壤质地见表1。拉萨地区土壤分别采于拉萨国家农业科技园区和拉萨曲水县国家现代农业示范区，样品分别为种植葡萄4 a（LS4）和14 a（LS14）的土壤，以附近裸地土壤为对照（LSB）。林芝地区采样点位于米林农场，系西藏林芝地区重点国有农垦企业，样品为种植9 a葡萄土壤（LZ9），以附近裸地土壤为对照（LZB）。山南地区样品采自西藏金禾农牧业发展有限公司，系目前山南地区唯一标准化栽培葡萄基地，样品为种植葡

表1　土壤采样地点、气候条件和土壤质地

Table 1 Soil sample sites, climatic conditions and soil properties

采样地点 Site	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude/m	年均温 Mean temperature/℃	质地 Texture	类型 Type	母质 Parent material	黏粒 Clay/%	粉粒 Silt/%	砂粒 Sand/%	pH	ω（有机质）Organic matter/(g·kg^{-1})
拉萨 Lhasa	E 90°56.79′	N 29°26.05′	3 608	9.053	砂质壤土 Sandy loam	山地灌丛草原土 Mountain shrubby steppe soil	浅色结晶岩石 Light crystalline rocks	6.47	30.38	63.15	7.87	14.82
林芝 Nyingchi	E 90°26.45′	N 29°24.73′	2 950	7.691	砂质黏壤土 Sandy clay loam	草甸土 Meadow soil	碎屑沉积岩 Clastic sedimentary rock	15.29	24.58	60.18	7.62	30.23
山南 Shannan	E 91°02.18′	N 29 °24.73′	3 489	9.355	粉砂质壤土 Silty loam	亚高山草甸土 Subalpine meadow soil	石灰质沉积岩 Calcareous sedimentary rock	12.75	52.88	34.36	8.03	16.51

注：质地分类采用国际制。年均温为各样点（温室种植期间）年平均气温。

Note: The soil textures are classified according international system. The annual temperature refers to the mean annual temperature during the planting years.

萄3 a的土壤(SN3),以附近裸地为对照(SNB)。

1.2 设施管理

基本概况:LS4种植'红地球'(*Eriobotrya japonica*),平均年产量为24.7 t· hm^{-2};LS14种植'玫瑰香'('Muscat'),平均年产量为7.5 t· hm^{-2};LZ9种植'红地球'(*Eriobotrya japonica*),平均年产量18.8 t· hm^{-2};SN3种植'夏黑'('Summer Black'),平均年产量为22.2 t· hm^{-2}。除LS4采用滴灌方式浇水外,其余样点所在设施均采用漫灌法。各地区设施葡萄具体施肥方法见表2。

表2 西藏设施葡萄施肥方法及化肥养分输入量

Table 2 Fertilization methods and the amount of nutrient inputs of chemical fertilizers used in grape greenhouses in Tibet

样点 Sites	肥料类型 Fertilizer type	肥料名称 Fertilizer name	年施用量 Annual amount/ (kg·hm^{-2})	次数 Times	深度 Depth/cm		N含量 N content/ (kg·hm^{-2})	P含量 P content/ (kg·hm^{-2})	K含量 K content/ (kg·hm^{-2})
拉萨 Lhasa	化肥 Chemical fertilizer	尿素 Urea	250	3	0~20		115	0	0
		磷酸二铵 Diammonium phosphate	250	5	0~20		45	50.21	0
		高钾复合肥 High-potassium compound fertilizer	2 500	5	0~20		300	65.49	871.28
						合计 Sum	460	115.70	871.28
	有机肥 Organic fertilizer	未腐熟羊粪 Unfermented sheep manure	62 500	1	10~30		-	-	-
林芝 Nyingchi	化肥 Chemical fertilizer	磷酸二铵 Diammonium phosphate	5 600	1	0~20		1 008	1 124.73	0
						合计 Sum	1 008	1 124.73	0
	有机肥 Organic fertilizer	发酵黄豆 Fermented soybean	7 500	1	10~30		-	-	-
山南 Shannan	化肥 Chemical fertilizer	尿素 Urea	150	3	0~20		69	0	0
		氮磷钾复合肥 NPK compound fertilizer	450	5	0~20		67.5	29.47	56.01
		硫酸钾复合肥 Potassium sulfate compound fertilizer	375	5	0~20		48.75	27.83	46.68
						合计 Sum	185.25	57.3	102.69
	有机肥 Organic fertilizer	菜籽饼 Fermented rapeseed	1 500	1	10~30		-	-	-
		腐熟猪粪 Fermented pig manure	60 000	1	10~30		-	-	-

注:表中 N、P 和 K 分别代表化肥中氮、磷和钾输入量。

Note: N, P and K refer to the amount of nitrogen, phosphate and potassium in chemical fertilizers.

1.3 采样方法

2017年5月依次采集西藏拉萨、林芝和山南地区设施葡萄土壤和对照土壤。利用内径50 mm的土钻,采用5点法取样,分别采集0~20、20~40和40~60 cm土壤,每20 cm土层混合为一个土样,每处理重复3次取样。将采集的土样风干后研磨过筛并保存待测。

1.4 理化分析

土壤测定采用常规分析方法[9]。土壤pH与电导率(EC)测定0~60 cm(每20 cm一层)样品。pH采用电位法测定,质量比1:2.5土水比浸提;EC采用1∶5土水比浸提,使用FE30梅特勒电导率仪测定;土壤养分测定0~20 cm土壤样品。土壤有机碳采用$K_2Cr_2O_7$-H_2SO_4消煮、$FeSO_4$容量法测定;全氮采用KDY-9820凯氏定氮仪测定;全磷采用$HClO_4$-H_2SO_4法测定;全钾采用NaOH熔融、火焰光度法测定;速效氮采用碱解扩散法测定;土壤速效磷用0.5 mol· L^{-1} $NaHCO_3$浸提法测定;速效钾用中性NH_4OAc浸提、火焰光度法测定。

1.5 数据处理与分析

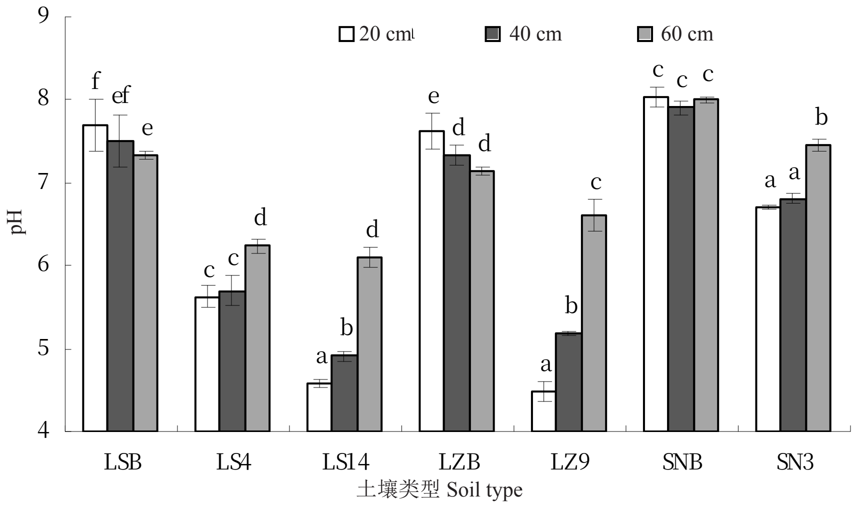
采用Excel 2010对测试数据进行整理,Origin 9.1软件作图,SPSS 20.0软件进行统计分析,Dancan

法进行显著性检验与多重比较($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同地区设施葡萄土壤酸化与盐渍化

2.1.1 土壤pH　如图1所示，拉萨、林芝和山南地区设施葡萄0~60 cm 土壤pH 均显著低于各地区裸地，表层土壤(0~20 cm)pH 降幅最高。西藏各地区裸地0~60 cm 土壤pH 为7.0~8.0，而LS14、LS4和LZ9的0~60 cm 土壤pH 均下降到7.0以下。LS14和LZ9表层土壤pH 值分别为4.48和4.58，比LSB 和LZB 分别下降了40.44% 和41.21% ($p < 0.05$)。此外，LS14、LS4和LZ9的0~40 cm 土壤pH 为4.87~5.18，显著低于裸地0~40 cm 土壤pH($p < 0.05$)。种植年限最短的SN3 0~40 cm 土壤pH 也下降1个单位左右。总体看来，西藏拉萨地区与林芝地区设施葡萄土壤已经存在严重酸化问题，山南地区也面临酸化风险。



不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

The different lowercases mean that the differences reach significant level ($p < 0.05$). The same below.

图1　西藏不同地区设施葡萄土壤pH

Fig. 1 Soil pH in grapes greenhouses in different area of Tibet

2.1.2 土壤EC　西藏各地区设施葡萄0~60 cm 土壤电导率(EC)均显著高于各地区裸地EC($p < 0.05$)，且表现出随着土层深度增加显著降低的趋势(图2)。LS14各层土壤EC分布在0.75~2.48 mS·cm^{-1}，均显著高于LSB 土壤EC 值15~31倍($p < 0.05$)。LS4表层土壤(0~20 cm)EC 为0.48 mS·cm^{-1}，显著高于LSB 5倍($p < 0.05$)。LZ9和SN3各层土壤EC 均小于0.5 mS·cm^{-1}，但分别显著高于LZB 和SNB(图2)。这说明LS14土壤盐渍化严重，而LS4、LZ9和SN3土壤也面临盐渍化风险。

2.2 土壤养分

西藏各地区设施葡萄表层土壤养分均处于较高水平，具体情况见表3。由于各地区施肥方法不同，土壤有机碳、全氮和全磷含量并未表现出一致的变化趋势。拉萨地区土壤有机碳、全氮和全磷含量表现出随着种植年限增加而升高的趋势，其中LS14有机碳含量(ω，后同)比LSB提高了2.4倍，高达50.10 g·kg^{-1}($p < 0.05$)，LS14全氮比LSB高3.0倍($p < 0.05$)，全磷比LSB高3.4倍($p < 0.05$)。LZ9土壤有机碳含量和全氮含量则与LZB无显著差异($p > 0.05$)，而全磷和全钾含量显著高于LZB分别达108.55%和9.78%($p < 0.05$)。SN3有机碳含量比对照提高了3.1倍，高达67.32 g·kg^{-1}($p < 0.05$)。SN3土壤有机碳，全氮和全磷含量均显著高于SNB($p < 0.05$)，而全钾含量则与SNB无显著差异($p > 0.05$)(表3)。

与全量养分类似，各地区设施葡萄土壤速效养分也表现出不同变化趋势。具体来看，除LS4速效氮含量显著低于LSB外($p < 0.05$)，其余设施土壤速效氮、磷和钾含量均显著高于各自裸地(表3)。LS14速效养分含量在所有样品中最高，其速效氮、磷和钾含量分别高于LSB的1.26、13.16和11.71倍。

2.3 肥料累积用量对土壤pH、EC和土壤养分的影响

2.3.1 方差分析与相关分析　方差分析结果表明，

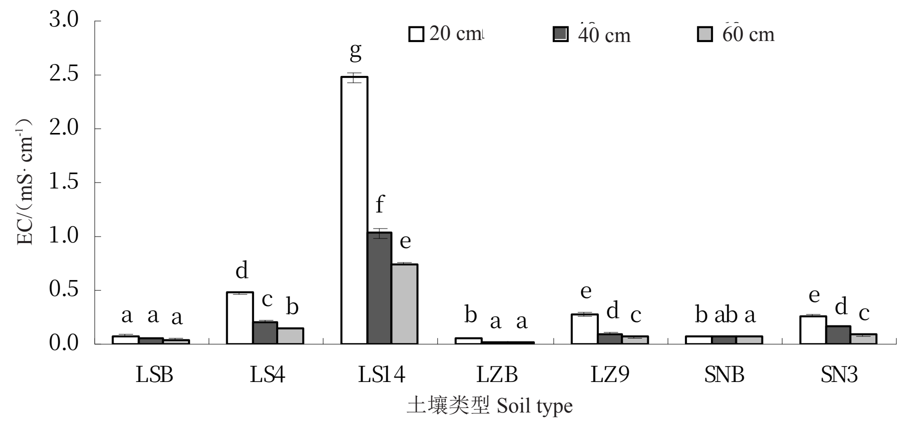


图2 西藏不同地区设施葡萄土壤电导率

Fig. 2 Soil EC in grape greenhouses in different areas of Tibet

表3 西藏各地区设施葡萄土壤养分

Table 3 Soil nutrients in greenhouse vineyards in different area of Tibet

地区 Area	站点 Site	ω(有机碳) Soil organic carbon content/(g·kg⁻¹)	ω(全氮) Total nitrogen content /(g·kg⁻¹)	ω(全磷) Total phosphorus content /(g·kg⁻¹)	ω(全钾) Total potassium content /(g·kg⁻¹)	ω(速效氮) Available nitrogen content /(mg·kg⁻¹)	ω(速效磷) Available phosphorus content /(mg·kg⁻¹)	ω(速效钾) Available potassium/(mg·kg⁻¹)
拉萨 Lhasa	LS14	50.10±4.65 b	25.57±0.91 c	3.70±0.14 c	18.09±0.47 a	204.95±17.82 c	375.50±28.25 c	1226.53±92.39 c
	LS4	18.68±0.42 a	8.40±0.08 b	1.05±0.04 b	17.67±0.51 a	68.01±6.50 a	124.92±10.89 b	429.70±16.84 b
	LSB	14.82±1.56 a	6.36±0.19 a	0.85±0.01 a	18.08±0.31 a	90.52±4.52 b	26.50±1.75 a	96.50±0.90 a
林芝 Nyingchi	LZ9	29.31±2.84 a	14.13±0.52 a	3.17±0.22 b	14.93±1.12 b	103.65±0.81 b	298.75±3.00 b	332.60±45.75 b
	LZB	30.23±2.05 a	14.63±0.44 a	1.52±0.05 a	13.60±0.95 a	68.47±1.62 a	57.42±7.01 a	178.10±3.50 a
山南 Shannan	SN3	67.32±2.36 b	32.41±1.32 b	2.86±0.07 b	14.58±0.06 a	208.71±28.15 b	344.00±23.75 b	265.27±12.46 b
	SNB	16.51±1.34 a	5.72±0.31 a	0.69±0.04 a	15.59±0.15 b	38.46±4.30 a	13.75±1.32 a	104.40±7.67 a

注：同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same column refer to significant difference at $p < 0.05$. The same below.

有机肥料和化肥氮磷钾累积输入量均显著影响土壤(0~60 cm)pH 和EC 及表层土壤(0~20 cm)养分(表4)。相关分析显示除40~60 cm 土壤pH 与化肥磷累积输入量无显著相关以外，有机肥和化肥累积用量均与各层土壤pH 呈显著负相关，其中化肥氮累积用量与表层土壤pH 相关系数高达0.906(表5)。土壤EC 与pH 相似，有机肥、化肥氮和钾的累积输入量均与土壤EC 显著正相关，其中有机肥和化肥钾累积输入量与土壤EC 相关系数均为0.979~0.988。土壤养分变量与肥料累积输入量的相关分析结果见表6。值得注意的是土壤有机碳和全氮只与有机肥累积输入量呈显著正相关。此外，有机肥累积输入量与土壤全量和速效养分含量之间均呈显著正相关，其中速效钾含量与有机肥和化肥钾累积输入量的相关系数高达0.981和0.974。

2.3.2 因子分析 因子分析采用降维思想把变量表示成各因子的线性组合，通过旋转后的因子载荷散点图可以更加直观的展示西藏葡萄设施土壤酸化、盐渍化最相关因素以及土壤参数之间的关系。从图3可以看出肥料的累积输入量和土壤养分含量均占据第一象限(磷肥和全钾除外)，而土壤pH 占据第三象限。此外，氮肥、钾肥和有机肥与土壤pH 距离较远，这表明土壤pH 与肥料累积输入量和土壤养分含量呈负相关，且氮肥、钾肥和有机肥累积用量与土壤pH 负相关关系紧密。相反，土壤EC 与肥料输入量和土壤养分含量同在第一象限且土壤EC 与有机肥和化学钾肥输入量距离最近。这表明肥料输入越多，养分含量越高，土壤EC 值可能越大。

3 讨 论

西藏各地区设施葡萄土壤面临酸化风险。各地区裸地均属于偏碱性土壤(pH: 7.62~8.02)，设施葡

表4　肥料累积用量对土壤pH、EC和养分的影响

Table 4 Main effects of cumulative amount of fertilizer on the soil pH，EC and nutrients

变量 Variables	有机肥 Organic fertilizer		化肥氮 Chemical fertilizer N		化肥磷 Chemical fertilizer P		化肥钾 Chemical fertilizer K	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
pH_20	235.77	**	235.77	**	235.77	**	3.55	*
pH_40	136.28	**	136.28	**	136.28	**	5.23	*
pH_60	21.84	**	21.84	**	21.84	**	10.24	**
EC_20	8 263.05	**	8 263.05	**	8 263.05	**	738.86	**
EC_40	1 027.16	**	1 027.16	**	1 027.16	**	894.14	**
EC_60	1 124.13	**	1 124.13	**	1 124.13	**	1 212.96	**
SOC	50.08	**	50.08	**	50.08	**	51.61	**
TN	44.27	**	44.27	**	44.27	**	43.26	**
TP	81.34	**	81.34	**	81.34	**	7.89	*
TK	3.50	*	3.50	*	3.50	*	4.52	*
AN	48.84	**	48.84	**	48.84	**	44.35	**
AP	289.42	**	289.42	**	289.42	**	9.68	*
AK	323.23	**	323.23	**	323.23	**	116.96	**

注：肥料累积用量为肥料年用量与种植年限之积。pH_20, pH_40 和 pH_60 分别代表 0~20 cm，20~40 cm 和 40~60 cm 土壤 pH。EC_20, EC_40 和 EC_60 分别代表 0~20 cm，20~40 cm 和 40~60 cm 土壤 EC。$F=MS/MS_e$，MS 和 MS_e 分别为因素和随机误差的平均平方和。* $p<0.05$; ** $p<0.001$。下同。

Note: The cumulative amount of fertilizer is the annual amount of fertilizer multiplied by the cultivation year. pH_20, pH_40 and pH_60 are the pH of 0-20 cm，20-40 cm and 40-60 cm layer soil, respectively. EC_20, EC_40 and EC_60 are the EC of 0-20 cm，20-40 cm and 40-60 cm layer soil, respectively. * $p < 0.05$; ** $p < 0.001$. $F=MS/MS_e$, MS is the mean square of factor, and MS_e is the mean square of random error. The same below.

表5　肥料累积输入量和土壤pH、EC的相关关系

Table 5 Correlations between soil pH，EC and the cumulative amount of fertilizer

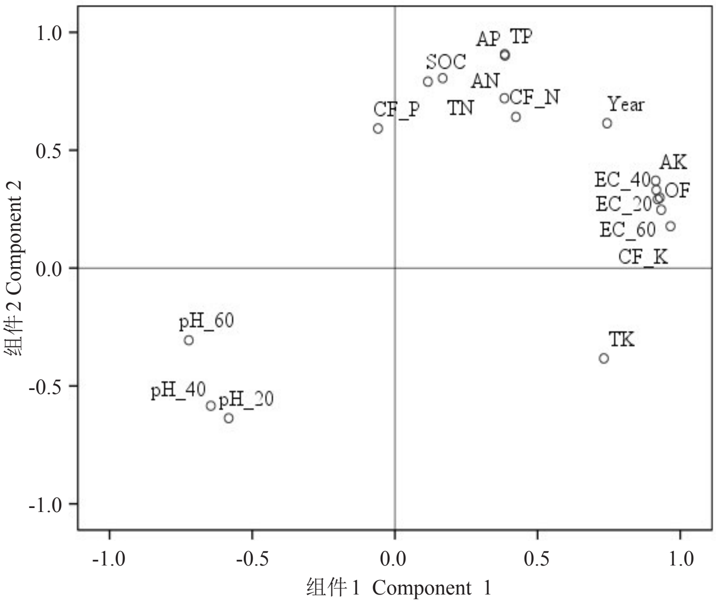
变量 Variables	pH_20	pH_40	pH_60	EC_20	EC_40	EC_60
有机肥 Organic Fertilizer	-0.649**	-0.698**	-0.677**	0.986**	0.988**	0.979**
化肥氮 Chemical fertilizer N	-0.906**	-0.863**	-0.660**	0.519**	0.480**	0.479**
化肥磷 Chemical fertilizer P	-0.668**	-0.589**	-0.352	0.027	-0.015	-0.016
化肥钾 Chemical fertilizer K	-0.599**	-0.659**	-0.691**	0.985**	0.983**	0.986**

表6　肥料累积输入量和表层土壤养分的相关关系

Table 6 Correlations between the nutrients of surface soil and the cumulative amount of fertilizer

变量 Variables	有机碳 Soil organic carbon	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	速效氮 Available nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
有机肥Organic Fertilizer	0.490*	0.536*	0.653**	0.494*	0.674**	0.668**	0.981**
化肥氮Chemical fertilizer N	0.183	0.231	0.754**	0.109	0.327	0.680**	0.585**
化肥磷Chemical fertilizer P	-0.007	0.019	0.523*	-0.182	0.042	0.440*	0.106
化肥钾Chemical fertilizer K	0.332	0.382	0.538*	0.561**	0.537*	0.530*	0.974**

萄土壤pH值为4.49~6.71，其中LS14，LS4和LZ9已属于酸性土壤，SN3属于中性土壤。此外，土壤酸化问题主要发生在表层，表现出土层愈深酸化程度愈低的趋势。本文研究结果与诸多关于设施栽培降低土壤pH值的结果较为一致[1, 10-11]，且与前人在西藏地区的研究结果类似，如朱荣杰等[8]研究表明拉萨连续种植12年蔬菜的设施土壤pH由初始的6.79降低到5.72。由于施肥方法不同，西藏各地区设施葡萄土壤酸化原因可能并不一致。相关分析结果显示土壤pH与化肥累积输入量均呈显著负相关，其中氮肥累积输入量与土壤pH的负相关程度最高。LS14和LS4每年以尿素(250 kg·hm^{-2})和磷酸二铵(250 kg·hm^{-2})的形式向土壤输入化肥氮素达460 kg·hm^{-2}，而LZ9单以磷酸二铵(5 600 kg·hm^{-2})形式每年向土壤输入



CF_N,CF_P 和 CF_K 分别是以化肥形式输入的氮、磷和钾累积量，OF 是有机肥累积输入量。

CF_N, CF_P and CF_K are the cumulative amount of nitrogen, phosphorus and potassium in the form of chemical fertilizer, OF is the cumulative amount of organic fertilizer.

图3　因子分析成分

Fig. 3 Component plot

氮素高达1 008 kg·hm^{-2}。尿素和磷酸二铵中氮元素均主要以NH_4^+形式进入土壤，NH_4^+的硝化使土壤中H^+增加[12]，另一方面由于植物总吸收量中阳离子量大于阴离子量，为了维持体内电荷平衡和细胞正常生长所需的pH环境，根系将分泌H^+使根-土界面pH下降[13]。因此，大量施用尿素和磷酸二铵是导致LS14、LS4和LZ9土壤酸化的主要原因。SN3同样面临土壤酸化风险，大量氮肥和酸性硫酸钾肥料的过量输入是导致土壤酸化的潜在因素。因为SO_4^{2-}等强酸性阴离子大量残留在土壤，从而使土壤中阴、阳离子失衡，土壤酸化[12]。值得注意的是本研究中有机肥累积输入量与土壤pH也呈显著负相关。一般来说，有机肥凭借有机官能团强化对H^+和Al^{3+}的吸附和引起有机阴离子脱羧基化和碱性物质释放效应对土壤酸度有中和缓冲作用[14]。但也有研究表明大量有机肥添加到碱性土壤会促进土壤pH下降[15]。研究样点土壤虽然偏碱性，但所用有机肥碱度为31.5~199.5 cmol·kg[14]，而酸化最为严重的拉萨设施葡萄土壤所用的未腐熟羊粪碱度最高。因此，有机肥是否会导致或加速西藏葡萄设施土壤酸化还有待进一步研究。目前缓解土壤酸化的首要措施是合理施用化肥，尤其是氮肥和酸性肥料，从根本上切断酸化的源头。

西藏设施葡萄土壤面临盐渍化威胁。供试设施葡萄表层土壤EC值为0.27~2.48 mS·cm^{-1}，表现出随着土层深度而降低的趋势。SN3、LZ9和LS4属于低盐度等级，对作物生长会产生轻微障碍，而LS14属于超高盐度等级，会对作物生长产生严重伤害，次生盐渍化问题严重[16]。这与前人研究结果类似，如马艳春等[1]研究发现设施葡萄栽培7 a和12 a的土壤盐分表层积聚明显，已达到轻度盐化，严重危害葡萄生长和品质。实际上，目前全国设施栽培土壤均面临次生盐渍化问题，黄绍文等[10]的研究结果表明全国主要菜区设施土壤高于蔬菜正常生长EC临界值（0.6 mS·cm^{-1}）的土壤占总土样的28.1%，居于超高盐度水平（≥1 mS·cm^{-1}）的土样占9.5%。目前认为设施土壤盐渍化原因之一是设施内空气温度高，辐射强，导致盐分离子随着土壤水分的快速蒸发而在表层大量富集。原因之二是过量施入的肥料大量残留在土壤中，提高了土壤溶液的浓度，引起土壤pH值降低，进而提高了Fe、Mn和Al等元素的可溶性，增加了土壤盐溶液浓度，土壤中盐分逐年积累[17]。原因之三是设施内高温高湿的环境促进了土壤固相物质的快速分解与盐基离子的释放，同时也提高了硝化细菌的活性，使土壤中残留的硝态氮含量增加[12]。本文中的相关分析与因子分析结果表明，有

机肥和化肥（尤其是钾肥）累积用量与EC显著正相关，这说明过量的有机肥和化肥输入可能是造成西藏设施葡萄土壤盐渍化的主要因素。如LS14每年施用高钾复合肥2 500 kg·hm^{-2}，未腐熟羊粪6.25 t·hm^{-2}。新鲜羊粪中Ca和Mg含量较高，其可能含有大量碱性盐基离子，而LS14土壤的酸性环境也会促进碱性盐基离子的释放，进而加剧土壤盐渍化[14]。此外，有研究表明设施土壤含盐量与有机肥施用量呈极显著正相关，显著增加了K^+、Na^+、Cl^-的含量，而施用尿素会不同程度增加了K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、NO^{3-}的含量[18]。因此，LS14大量的尿素和有机肥配施也是加速土壤盐渍化的重要因素。目前设施大棚多采用客土换土法、大水漫灌等传统措施进行洗盐，设施葡萄上利用采收后揭膜淋洗来解决部分盐渍化问题。此外有研究表明施用微生物菌剂可明显地改善土壤营养与环境状况，加速淋盐、抑制返盐，降低表层盐分含量[1]。而且已有研究表明向土壤中施加中度嗜盐菌可明显提高碱解氮、速效磷、速效钾和有机质的有效性，降低土壤pH，增加土壤酶活性和微生物的多样性，进而改善土壤质量[19]。

西藏设施葡萄土壤面临养分过量输入问题。高寒地区生态脆弱敏感, 高投入的种植管理体系的迅速介入将会对土壤质量以及环境造成影响[20]。虽然设施土壤养分丰缺指标存在差异，但多数学者提出，当耕层土壤矿质态氮大于120 mg·kg^{-1}、速效磷高于150 mg·kg^{-1}，速效钾高于250 mg·kg^{-1}时土壤氮、磷及钾的供应属于极高水平[2, 10]。还有学者明确中国基于瓜果菜产量的土壤速效磷阈值为58.0 mg·kg^{-1}，高于此值并不能有效提高作物产量[21]。西藏设施葡萄土壤养分含量远远超出速效养分的极高供应水平，如：LS14（速效氮：204.95 mg·kg^{-1}；速效磷：375.5 mg·kg^{-1}，速效钾：1 226.53 mg·kg^{-1}），LZ9（速效磷：298.75 mg·kg^{-1}；速效钾332.60 mg·kg^{-1}），SN3（速效氮：208.71 mg·kg^{-1}；速效磷：344.00 mg·kg^{-1}，速效钾：265.27 mg·kg^{-1}）。肥料的过量投入无疑会降低养分利用效率，增加生产成本导致经济损失，同时也是引起土壤酸化，盐渍化的重要原因之一，此外还会促进温室气体排放和养分淋失进而对生态环境构成严重威胁[22]。

综上，根据西藏不同地区设施葡萄土壤现状，测土按需施肥，减少化肥输入，建立合理高效施肥技术标准对于西藏设施葡萄产业的健康发展和土壤的可持续利用十分必要。

4 结　论

西藏各地区设施葡萄土壤均面临严峻的酸化、盐渍化和养分过量投入问题。LS14、LS4和LZ9过量施用尿素和磷酸二铵是导致土壤酸化的主要原因。SN3施用大量尿素和硫酸钾导致其土壤出现酸化趋势。LS14大量施用钾肥和羊粪是其高度盐渍化的最主要原因，而大量尿素与羊粪配施是土壤盐渍化的潜在因素。此外过量的肥料投入还导致西藏设施葡萄土壤养分（N、P、K）高于有效养分阈值，造成资源浪费和生态风险。

参考文献 References：

[1] 马艳春，姚玉新，杜远鹏，臧兴隆，翟衡 . 葡萄设施栽培不同种植年限土壤理化性质的变化[J]. 果树学报，2015，32（2）：225-231.
MA Yanchun，YAO Yuxin，DU Yuanpeng，ZANG Xinglong，ZHAI Heng. Changes of soil physical and chemical properties in greenhouse of different grapevine planting years [J]. Journal of Fruit Science，2015，32（2）：225-231.

[2] 刘岩，周建斌，刘占军，李惠霞，陈竹君 . 日光温室土壤养分含量及比例与种植年限的关系[J]. 土壤通报，2017，48（2）：420-426.
LIU Yan，ZHOU Jianbin，LIU Zhanjun，LI Huixia，CHEN Zhujun. Relationships between content and ratio of soil nutrient and cultivating years in solar greenhouse [J]. Chinese Journal of Soil Science，2017，48（2）：420-426.

[3] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, SHEN J L, HAN W X, ZHANG W F, CHRISTIE P, GOULDING K W T, VITOUSEK P M, ZHANG F S. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327（5968）：1008-1010.

[4] 常婷婷，张洁，吴鹏飞，郛刚. 设施土壤次生盐渍化防治措施的研究进展[J]. 江苏农业科学，2011，39（4）：449-452.
CHANG Tingting，ZHANG Jie，WU Pengfei，WU Gang. The research progress of prevention measures in secondary salinization of the greenhouse soil [J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2011，39（4）：449-452.

[5] 薛延丰，石志琦 . 不同种植年限设施地土壤养分和重金属含量的变化特征[J]. 水土保持学报，2011，25（4）：125-130.
XUE Yanfeng，SHI Zhiqi. Characteristics of soil nutrient and heavy metal content with the different years of cultivation [J]. Journal of Soil and Water Conservation，2011，25（4）：125-130.

[6] 曾希柏，白玲玉，苏世鸣，李莲芳 . 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.
ZENG Xibai，BAI Lingyu，SU Shiming，LI Lianfang. Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating

years from Shouguang City，Shandong[J]. Acta Ecologica Sinica 2010，30(7)：1853-1859.

[7] 周德平，褚长彬，刘芳芳，范洁群，姜震方，吴淑杭 . 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.
ZHOU Deping，CHU Changbin，LIU Fangfang，FAN Jiequn，JIANG Zhenfang，WU Shuhang. Effect of asparagu's cultivation years on physio-chemical properties，microbial community and enzyme activities in greenhouse soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2012，18(2)：459-466.

[8] 朱荣杰，赵贯飞，杨斌，王世彬，李宝海 . 种植年限对拉萨国家农业科技园区温室土壤理化性质的影响[J]. 北方园艺，2016(21)：183-187.
ZHU Rongjie，ZHAO Guanfei，YANG Bin，WANG Shibin，LI Baohai. Effect of continuous cultivating in plastic greenhouse on soil physicochemical properties in the Lhasa national park of agricultural science and technology[J]. Northern Horticulture 2016(21)：183-187.

[9] 鲍士旦 . 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京：中国农业出版社，1999：34-108.
BAO Shidan. Soil and agricultural chemistry analysis(the third edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press，1999：34-108.

[10] 黄绍文，王玉军，金继运，唐继伟 . 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(4)：906-918.
HUANG Shaowen，WANG Yujun，JIN Jiyun，TANG Jiwei. Status of salinity，PH and nutrients in soils in main vegetable production regions in China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2011，17(4)：906-918.

[11] 于群英，李孝良 . 皖北地区设施栽培土壤酸化特征研究 [J]. 安徽农业科学，2005，33(12)：2279-2280.
YU Qunying，LI Xiaoliang. Soil acidification characteristics in protected cultivation in north anhui province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2005，33(12)：2279-2280.

[12] 翟衡，马艳春 . 设施葡萄土壤酸化及盐渍化的形成机理与防治技术[J]. 落叶果树，2015，47(6)：1-5.
ZHAI Heng，MA Yanchun. The mechanism and control technology of soil acidification and salinization of the grapes facility [J]. Deciduous Fruits，2015，47 (6)：1-5.

[13] TUMMON I S，ALI A，PEPPING M E，RADWANSKA E，BINOR Z，DMOWSKI W P. Bone mineral density in women with endometriosis before and during ovarian suppression with gonadotropin-releasing hormone agonists or danazol [J]. Fertility & Sterility，1988，49(5)：792.

[14] 孟红旗，吕家珑，徐明岗，蔡泽江，王伯仁 . 有机肥的碱度及其减缓土壤酸化的机制[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18 (5)：1153-1160.
MENG Hongqi，LÜ Jialong，XU Minggang，CAI Zejiang，WANG Boren. The alkalinity of organic fertilizer and its reduction mechanism for soil acidification[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2012，18(5)：1153-1160.

[15] 王媛华，段增强，汤英，薛鹤，闫秋艳，李汛 . 不同施肥处理对碱性设施土壤酸化的影响[J]. 土壤，2016，48(2)：349-354.
WANG Yuanhua，DUAN Zengqiang，TANG Ying，XUE He，YAN Qiuyan，LI Xun. Effects of different fertilizations on acidification of a greenhouse alkaline soil [J]. Soils，2016，48(2)：349-354.

[16] 张乃明，常晓冰，秦太峰 . 设施农业土壤特性与改良[M]. 北京：化学工业出版社，2008.
ZHANG Naiming，CHANG Xiaobing，QIN Taifeng. Soil properties and improvement of greenhouse soil [M]. Beijing：Chemical Industry Press，2008.

[17] 刘磊 . 蔬菜温室大棚土壤盐渍化成因分析[J]. 山东农业科学，2012，44(7)：69-72.
LIU Lei. Causes analysis of soil salinization in vegetable greenhouse [J]. Shandong Agricultural Sciences，2012，44(7)：69-72.

[18] 刘媛媛，李廷轩，余海英，张锡洲 . 有机肥与尿素配施对设施土壤盐分含量与组成变化的影响[J]. 农业环境科学学报，2009，28(2)：292-298.
LIU Yuanyuan，LI Tingxuan，YU Haiying，ZHANG Xizhou. Effect of interaction between manure and inorganic fertilizers on salt content and ion composition in greenhouse soil[J]. Journal of Agro-environment Science，2009，28(2)：292-298.

[19] 田小明，李俊华，王成，褚贵新，危常州，郑倩，邓世伟 . 连续 3 年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 土壤，2014，46(3)：481-488.
TIAN Xiaoming，LI Junhua，WANG Cheng，CHU Guixin，WEI Changzhou，ZHENG Qian，DENG Shiwei. Effects of continuous application of bio-organic fertilizer for three years on soil nutrients，Microbial Biomass and Enzyme Activity [J]. Soils，2014，46(3)：481-488.

[20] 马丽娜，王喜明，代万安，潘剑玲，陈晓鹏，尚占环，郭瑞英 . 西藏高原日光温室菜地土壤碳、氮矿化特征研究[J]. 中国生态农业学报，2013，21(11)：1340-1349.
MA Lina，WANG Ximing，DAI Wan'an，PAN Jianling，CHEN Xiaopeng，SHANG Zhanhuan，GUO Ruiying. Comparative analysis of carbon and nitrogen mineralization in soils under alpine meadow, farmland and greenhouse conditions in Tibet [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture，2013，21(11)：1340-1349.

[21] YAN Z J，LIU P P，LI Y H，MA L，ASHOK A，DOU Z X，CHEN Q，ZHANG F S. Phosphorus in China's intensive vegetable production systems: overfertilization，soil enrichment, and environmental implications [J]. Journal of Environmental Quality，2013，42(4)：982-989.

[22] JIN Z W，CHEN X M，CHEN C，TAO P C，HAN Z Q，ZHANG X L. Biochar impact on nitrate leaching in upland red soil，China [J]. Environmental Earth Sciences，2016，75(14)：1109.