

不同水氮处理对盐渍土水氮盐变化和燕麦产量的影响

张鹏¹, 蒋静^{1*}, 马娟娟¹, 杨治平^{2,3}, 王永亮^{2,3}

(1.太原理工大学, 太原 030024; 2.山西省农业科学院 农业环境与资源研究所, 太原 030031;
3.土壤环境与养分资源山西省重点实验室, 太原 030031)

摘要:【目的】针对内陆干旱冷凉地区盐渍土肥水超量施用问题,以合理调控根区水氮盐环境,保证粮食安全提供为目标,寻找较优的水氮耦合模式。【方法】试验设置了不同灌水量(充分灌溉W1和非充分灌溉W2)和施氮量(高氮N60,中氮N30和低氮N10)处理,通过燕麦盆栽试验,研究了不同水氮处理对盐渍化土壤水氮盐变化规律和燕麦产量的影响。【结果】施氮量的增加,导致土壤盐分增加;在盆栽条件下,非充分灌溉能降低生育期内的盐分积累量,并且保证土壤水分在适当的水平,减小生育期的盐分胁迫;节水减氮W₂N₁₀处理硝态氮和铵态氮供应保持在相对适宜的水平,硝态氮和铵态氮平均质量分数较充分灌溉W₁N₁₀处理分别增加了13.8%和34.2%。【结论】当施氮量由60 kg/hm²减少到10 kg/hm²时,燕麦干产量不会明显降低,施氮量为30 kg/hm²且灌水量为100~140 mm,可以保证该地区盐渍化土壤种植燕麦获得较高的产量。

关键词:燕麦; 硝态氮; 铵态氮; 电导率; 水氮耦合; 产量

中图分类号:S278

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0214

张鹏,蒋静,马娟娟,等. 不同水氮处理对盐渍土水氮盐变化和燕麦产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(5): 1-5,12.

0 引言

山西省由于受内陆地区地势、气候、地形等因素的影响,土地盐碱化面积较大。燕麦具有较强的抗逆性,在土地瘠薄、干旱以及盐渍化耕地上种植燕麦,可以获得较好的经济和生态效益。关于干旱区的盐渍土治理和燕麦种植,已有研究多集中在化学改良^[2-4]、地膜覆盖^[5]、秸秆覆盖^[6-7]、秸秆深埋^[8-9]和膜下滴灌^[10-11]等方面,但节水减氮技术在盐碱地利用方面鲜有报道。研究表明,水分和施氮合理配合不仅能促进作物生长发育,还可以提高产量^[12];冬小麦产量随水肥的增加而呈先增加后降低趋势,在土壤质量含水率为19.0%,施氮量为2.659 g/盆时产量最高^[13];节水25%、减氮50%处理0~60 cm土层硝态氮供应保持在相对适宜水平,过量施用氮肥则可能造成土壤次生盐碱化,进而可能加重盐分对作物生长的不利影响^[14];盐渍化农田传统的灌溉方法一直局限为大定额淋洗脱盐,该方法粗放,灌溉生产效率大幅度降低,当施氮量高于作物的需氮量,就会造成大量的氮肥残留在土壤中,致使土壤中NO₃-N大量盈余,导致地下水污染^[15]。因此,研究盐渍化农田不同灌溉水平和氮肥施用措施对土壤水、氮、盐耦合运移机理的影响,可为提高燕麦水氮利用率,合理调控根区水盐环境,保证粮食安全提供重要依据。为此,通过盆栽试验,研究节水减氮对盐渍化土壤的硝态氮、铵态氮积累和盐分的变化规律以及燕麦产量的影响,寻找较优的水氮耦合模式,研究结果将对指导盐渍化地区作物生产、解决灌区农业节水持续发展将起到一定的指导作用。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年4—7月在山西省朔州市怀仁县山西省农业科学院农业环境与资源研究所盐碱地改良试

收稿日期:2017-04-07

基金项目:山西省土壤环境与养分资源重点实验室开放课题(2014001);国家自然科学基金项目(51309174)

作者简介:张鹏(1992-),男,河北邯郸人。硕士研究生,主要从事盐碱地节水灌溉、土壤水氮盐运移等方面的研究。E-mail: 358804522@qq.com

通信作者:蒋静(1984-),女,山东枣庄人。副教授,博士,主要从事节水灌溉、水土资源与环境方面的研究。E-mail: jiangjing@tyut.edu.cn

验示范基地进行。怀仁县处于东经 113°10', 北纬 39°52', 位于大同盆地中部, 是苏打盐渍化分布较多的县区。2016 年 4—7 月试验区平均气温为 18.6 ℃, 降雨量为 285.6 mm, 分布不均, 属典型的内陆干旱、冷凉地区。供试作物为坝莜 1 号。

1.2 供试土壤

土壤样品主要采自山西省怀仁县有代表性的盐碱地, 取土时去除土中枯株落叶, 为尽可能减少土壤本底值对试验的干扰, 取土深度为 0~30 cm, 将各深度土壤样品混合, 样品中的石头、植物根系、易见的动物拣剔后, 以尽可能短的时间拿回实验室, 阴凉处风干后, 过 10 mm 筛、装盆。土壤体积质量为 1.552~1.603 g/cm³, 田间体积持水率为 32%, 试验区土壤质地为壤土, pH 值为 7.76, 有机质量为 10.78 g/kg, 初始电导率为 1 330 μS/cm, 全氮量为 0.8 g/kg, 全磷量为 0.33 g/kg, 全钾量为 14.72 g/kg, 按盐土分类为氯化物—苏打盐化潮土。

1.3 试验设计

试验设水氮二因素, 其中氮肥因素设计 5 个水平, 分别为 N90(尿素(含 N 量≥ 46.4%), 施量 90 kg/hm²)、高氮 N60(尿素施量 60 kg/hm²)、中氮 N30(尿素施量 30 kg/hm²)、低氮 N10(尿素施量 10 kg/hm²) 和不施氮 N0。每盆施 50 kg/hm² 磷酸二铵(总氮量≥18%)作为底肥; 水分因素设 2 个水平: 高水 W1(灌溉定额 140 mm)和低水 W2(灌溉定额 100 mm), 灌水下限为田间持水率的 60%。用直径为 10 mm 特制土钻取土, 每次取样 10 g, 取样土层深度为 10、20 cm, 取样完毕后, 在相应的位置标记并填土, 采用烘干法测定土壤含水率, 每隔 7 d 测 1 次, 当含水率下降到水分指标下限时, 及时补水, 维持处理水平。试验采用直径 38 cm、高 48 cm 的塑料盆进行, 每个处理 4 组重复, 随机排列。2016 年 4 月 1 日播种, 7 月 10 日收获, 留茬 5 cm, 每盆实收 0.1 m², 分别测定籽粒产量和秸秆产量, 考察小穗数、穗粒数和千粒质量。

1.4 测定项目和方法

每次取土后, 土样风干、过 1 mm 筛, 采用 1:5 的土水质量比制成土壤浸提液, 振荡、过滤, 利用 pH 计(Mettler-Toledo Five Easy20)测定土壤 pH 值。利用 SG-3 型(SG-ELK742, Mettler-Toledo International Inc, Switzerland)电导率仪测定土壤电导率 EC_{1:5}。鲜土取回后立即放入冰箱保存, 用靛酚蓝比色法和紫外分光光度计法测定铵态氮和硝态氮。

2 结果与分析

2.1 不同水氮处理对土壤盐分的影响

由表 1 可知, 出苗期, N90 处理的燕麦出苗率低于 20%, 这是由于 N90 处理施氮量多, 导致土壤盐分过大, 其中 W2N90 处理的土壤电导率达 2 980 μS/cm, 最终使燕麦种子大量死亡, 说明播种前施尿素量为 90 kg/hm², 在盐渍化地区并不适用, 故 N90 处理数据未在表中列出, 下同。在苗期到抽穗期, W1 处理下土壤电导率随土壤施氮量的增大而显著增大($p<0.05$), W1N60 处理的电导率在抽穗期可达 2 423.50 μS/cm。由方差分析可知, 苗期、拔节和成熟期, 与 W1N0 相比, 施氮处理的土壤电导率显著性增大; W1 水平下土壤电导率在抽穗期后呈降低趋势, W1N10、W1N60 处理在成熟期与出苗期相比分别降低了 7.91%、11.06%, 但差异不显著。低水处理下, 不同施氮处理之间对整个生育期平均电导率影响不大, 其中相差最多的 W2N60 与 W1N10 相比, 整个生育期平均电导率的仅高 9.51%。

表 1 燕麦不同生育期土壤电导率和 pH 值显著性检验结果

处理	出苗期		拔节期		抽穗期		成熟期	
	EC/(μS·cm ⁻¹)	pH 值	EC/(μS·cm ⁻¹)	pH 值	EC/(μS·cm ⁻¹)	pH 值	EC/(μS·cm ⁻¹)	pH 值
W1N0	1 442.25d	7.71b	1 439.25cd	7.56bcd	1 536.25b	7.46b	1 388.50b	7.44abc
W1N10	1 804.25cd	7.57def	1 860.25bc	7.44defh	2 185.00a	7.26c	1 663.25b	7.49ab
W1N30	1 986.75bc	7.60f	2 105.25ab	7.50bcde	2 099.00a	7.40b	2 068.00a	7.52a
W1N60	1 962.50bc	7.87f	2 121.75ab	7.72a	2 423.50a	7.45b	2 179.50a	7.52a
W2N0	1 358.25d	7.50a	1 711.50bc	7.52bcd	2 355.25a	7.61a	1 491.75b	7.35bc
W2N10	2 147.00bc	7.52de	2 092.75ab	7.33gh	2 142.75a	7.43b	2 220.00a	7.43abc
W2N30	2 129.00bc	7.62d	2 217.25a	7.43defh	1 992.25ab	7.46b	2 117.00a	7.41bc
W2N60	2 595.00a	7.73bc	2 223.25a	7.37efgh	1 986.25ab	7.43b	2 197.25a	7.42abc

注 同列不同小写字母表示处理间在 $p<0.05$ 水平上差异显著, 下同。

不同灌水处理对土壤的电导率影响不显著($p>0.05$)。N10和N30处理土壤电导率随灌水量的增大而降低。高氮处理下,不同灌水处理土壤电导率在苗期和拔节期相差不大,但在抽穗期差异显著($p<0.05$),其中,W1N60处理比W2N60处理高18.9%,这可能是由于在燕麦的抽穗期,室外温度升高,灌水量大的盆栽土壤蒸发作用大,造成土壤盐分向表层聚集的现象,导致土壤电导率增大。可见,灌水量较大时,施氮量过多将导致土壤盐分增大;而灌水量较少时,施氮量对盐分的影响不明显。

2.2 不同水氮处理对土壤pH值的影响

从表1可以看出,随着施氮量的增加,土壤pH值也随之增加,但是差异并不显著($p>0.05$)。W1水平下,施氮量越大,pH值越高,土壤表层的盐分越大,导致pH值也增大。W2水平下,苗期,土壤pH值随施氮量的增加而增加,抽穗期和成熟期,土壤pH值基本在7.4左右,这可能因为灌水量少,导致土壤中的盐分淋洗作用低,从而导致各处理pH值差异不明显。

苗期和拔节期,土壤pH值随灌水量的增大而增大;随着生育期的推进,土壤pH值逐渐减小,W1水平下土壤pH值显著下降($p<0.05$),而W2水平下pH值下降不显著($p>0.05$);抽穗期和成熟期,灌水量越多,土壤pH值越小;各处理收获时的pH值与播种前相比都有所降低,各处pH值在收获期均可降至7.52以下。

2.3 不同水氮处理对土壤铵态氮量的影响

由表2可知,土壤中铵态氮量随着施氮量的增加而增加,N60、N30与N10水平的铵态氮量仅在出苗期和拔节期相差显著($p<0.05$)。土壤铵态氮量的峰值都出现在苗期,N60、N30和N10水平的铵态氮量的平均值分别为6.80、2.45和1.45 mg/kg;随着时间的增加,铵态氮量随之减少,于抽穗期降到最低,这可能因为土壤吸持的铵态氮被作物根系接触交换而直接吸收,还有一部分挥发在空气中;而成熟期各处理铵态氮量差别不明显,均在0.75 mg/kg左右。

相同施氮条件下,灌水量越多,铵态氮量越少,但差异不显著($p>0.05$)。铵态氮容易被土壤吸附,随水迁移范围较小^[17],导致W1和W2水平都在土壤表层达到最大值,其中W1N60处理铵态氮量比W2N60处理的低19.8%。

2.4 不同水氮处理对土壤硝态氮量的影响

由表2可知,随生育期的推进,燕麦生长达到旺盛状态时,土壤硝态氮被植物大量吸收,土壤硝态氮在抽穗期达到最低值,其中W1N30处理的土壤硝态氮量最小,为1.65 mg/kg;到成熟期后,土壤硝态氮量有所增加,可见燕麦在抽穗期到成熟期对硝态氮的需求不大。相同灌水处理下,苗期不施氮处理硝态氮量与其他各处理之间差异显著($p<0.05$),而低氮、中氮、高氮处理的硝态氮量差异不显著($p>0.05$),可见施氮量的增加对土壤硝态氮量影响不大。

表2 燕麦不同生育期土壤铵态氮和硝态氮质量分数

处理	mg/kg							
	出苗期		拔节期		抽穗期		成熟期	
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
W1N10	1.00c	5.79ab	0.56cd	4.40bc	0.03bc	1.79a	0.76bc	2.10bd
W1N30	2.56b	6.46ab	1.91b	3.35c	0.17b	1.65b	0.74bc	2.05bc
W1N60	6.13a	5.40b	4.36a	2.65d	0.19b	1.93a	0.71bc	2.05bc
W2N10	1.68c	6.72a	0.91c	4.80ab	0.20b	1.90a	0.68c	2.33a
W2N30	2.38bc	6.53a	1.63b	4.30bc	0.14b	1.99ab	0.74bc	2.04bc
W2N60	7.41a	6.62a	4.79a	5.65a	0.36a	2.09ab	0.80a	2.11df
W1N0	0.96c	3.54c	0.31d	2.20d	0.15b	1.92a	0.69c	2.10bd
W2N0	0.87c	6.40ab	0.05e	3.15cd	0.15b	1.94a	0.69c	2.16d

注 同列不同小写字母表示处理间在 $p<0.05$ 水平上差异显著,下同。

相同施氮条件下,土壤硝态氮随灌水量的增加而显著降低($p>0.05$),在燕麦的苗期到抽穗期,土壤硝态氮不断被消耗,不同处理消耗量也不相同,高水处理的土壤硝态氮消耗量在1.39~3.12 mg/kg之间变化,低水处理土壤硝态氮的消耗量在0.98~2.24 mg/kg之间变化,且在N30水平下差异显著($p<0.05$)。可能是由于灌水量较少导致氮肥水解硝化受到影响,主要积累在表层大量挥发。而灌水较多,硝态氮随水被淋洗到土壤深层而浪费。

2.5 不同水氮处理对燕麦产量的影响

由方差分析(表3)得出,在N10和N30条件下,在N10和N30条件下,施氮量较少时,水分处理对燕麦产量影响不大,W1N10与W2N10相比鲜产量仅增加12.9%;当施氮量较多时,不同水分处理燕麦鲜产量相差显著,其中W2N60比W1N60的鲜产量要低33.5%。在N10条件下水分对燕麦干产量影响显著($p<0.05$),而在中、高氮条件下影响不显著($p>0.05$)。水分和施肥二者的交互作用对鲜产量和干产量的影响均不显著($p>0.05$)。其中,W₁N₆₀处理鲜产量和干产量均最大,分别为1.51 t/hm²和0.55 t/hm²。

表3 不同处理对燕麦籽粒产量及产量组分显著性检验结果

处理	穗数/(10 ⁴ 穗·hm ⁻²)	穗粒数	千粒质量/g	鲜产量/(kg·hm ⁻²)	干产量/(kg·hm ⁻²)
W1N0	201.2b	35.7d	11.3c	811.6a	414.6b
W1N10	199.5b	41.3c	12.6b	1 038.3b	399.0b
W1N30	233.8a	39.6b	10.8d	999.7c	435.6a
W1N60	226.2a	43.2a	14.4a	1 407.1d	504.8a
W2N0	192.2b	36.3b	12.1a	844.3b	331.7ab
W2N10	198.1b	38.7a	11.8c	904.5b	292.2b
W2N30	223.7a	39.2a	12.2a	1 069.7a	404.8a
W2N60	187.1b	36.8b	13.6b	936.6a	438.4a

W1水平时,鲜产量和干产量随施氮量的增大而增大,施氮处理对鲜产量影响显著,而对于干产量影响不显著,W1N10、W1N30、W1N60处理鲜产量较W1N0处理分别增加了21.8%、18.8%、42.3%,干产量仅增加了3.15%、5.25%、8.65%;W2水平时,施氮处理对鲜产量影响不显著,鲜产量均值表现为W2N30处理>W2N60处理>W2N10处理>W2N0处理,其中W2N30处理鲜产量为1.06 t/hm²,比W1N30处理的高8.5%;而干产量随施氮量的减少而显著性减少,其中W2N0、W2N10、W2N30处理干产量较W2N60处理分别减少了28.7%、19.8%、13.5%。

3 讨 论

施肥和灌水是影响土壤盐分的重要因素,土壤盐分受到水分和氮肥的双重作用,在土壤表层发生集聚或淋失的现象,表现为施肥量增加或灌水量减少可显著增加土壤表层电导率,这是因为施加过量的肥料,土壤积累大量养分,使土壤0~20 cm表土层盐分累积加速,这与已有结果^[16-17]一致。施氮量较少时,土壤电导率随灌水量的增大而降低,N0、N10处理成熟期的土壤电导率分别较N30处理降低了36.5%、23.6%;高氮处理下,土壤电导率随灌水量的增大而增大,不同灌水处理土壤电导率在苗期和拔节期相差不大,在抽穗期后差异显著($p<0.05$),其中,W1N60处理比W2N60处理高18.9%,这与前人研究结果^[12]不同。闫建文等^[12]发现,在小麦的各生育期内,灌水量越多,对土壤盐分淋洗作用越大,土壤表层盐分越低,这可能是由于在燕麦的抽穗期,室外温度升高,灌水量大的盆栽土壤蒸发作用大,造成土壤盐分向表层聚集,导致土壤电导率增大。

另一方面,通过监测燕麦关键生育期的土壤氮素,发现铵态氮和硝态氮的量随施氮量的减少和灌水量的增加而减少,这是因为降低施氮量,使得硝态氮在土体剖面上的积累量明显下降以及硝态氮具有移动性大,极易随水流失的特性^[17]。本研究结果与已有相关研究结果^[19-20]一致,说明合理控制关键生育期灌水量和施氮量,显著减缓了硝态氮向土壤深层迁移,表明水分和施氮管理可以调控硝态氮和铵态氮在土体上的分布,也能有效降低土壤氮素淋失。土壤中的铵态氮量随生育期的推进而呈现先降低后趋于平缓的趋势,在燕麦的抽穗期降到最低点,而文献[15]中研究结果为“土壤中铵态氮量在全生育期内呈现先显著降低后增加再降低的趋势”,结果不同可能是因为盆栽试验具有一定的局限性,土壤铵态氮被大量转换为硝态氮,且被植物吸收,又得不到深层土壤的补充,所以土壤中的铵态氮量基本为0。同时,施氮量较少时,灌水处理对产量构成3要素影响均不明显,表现为灌水越多,产量越大,但差异不显著;施氮量较多时,灌水处理对穗数影响显著,减少灌水量,导致产量显著降低;灌水量相同,鲜产量和干产量都随施氮量的增大而增大,但当灌水量较多时,施氮处理对穗粒数和千粒质量影响显著,施氮量的增大,导致鲜产量显著增大,但干产量

影响不显著。这与已有关于小麦产量的研究结果^[12]一致;此外,水分和氮肥存在着明显的交互效应,只有合理的水氮配比才能增加作物的产量,W2N30处理鲜产量和干产量都能保持较适宜的水平,其中鲜产量为1.06 t/hm²,干产量为0.45 t/hm²。

4 结 论

1)在燕麦的苗期和拔节期,增加灌水和减少施氮量能有效降低土壤盐分,在燕麦的抽穗期及成熟期,W2处理能降低土壤盐分,并且能保证土壤水分在适当的水平;

2)合理的水氮措施能有效降低氮素损失,减缓了硝态氮向土壤深层迁移,当施氮量超过10 kg/hm²时,施氮量对土壤铵态氮和硝态氮均没有显著影响,灌水量对硝态氮影响显著,表现为W1水平>W2水平,其中,节水减氮W2N30处理硝态氮和铵态氮供应保持在相对适宜水平,平均硝态氮量为6.74 mg/kg,平均铵态氮量为2.53 mg/kg;

3)当施氮量保持在10~30 kg/hm²时,燕麦产量、产量构成因素(穗粒数、千粒重及穗粒质量)对施氮量及灌水量均没有显著反应。

综上所述,当灌水量由140 mm减少到100 mm,施氮量为30 kg/hm²时,燕麦鲜产量和干产量不会明显降低,对环境造成潜在危险最小,节省了水肥投入,但本试验通过盆栽试验,有一定的局限性,需要结合大田试验,待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 赵建明,王晋民,王海景.山西省苏打型盐碱地特征及综合改良技术模式[J].中国农技推广,2016,32(8):63-64.
- [2] 张冰,阎永康,李建军,等.盐碱地土壤改良剂和覆膜栽培的增产效应与技术经济评价[J].山西农业科学,2011,39(6):549-551.
- [3] 郑普山,冯悦晨,郝保平,等.不同时期施用土壤改良剂对河灌区苏打盐碱地土壤及青贮玉米生长的影响[J].中国农学通报,2013,29(30):55-59.
- [4] 王立志,陈明昌,张强,等.脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J].中国农学通报,2011,27(20):241-245.
- [5] 王成宝,杨思存,霍琳,等.地面覆盖方式对新垦盐碱地的抑盐和增产效果研究[J].甘肃农业科技,2014(11):42-45.
- [6] 梁建才,史海滨,李瑞平,等.不同覆盖方式对中度盐渍土壤的改良增产效应研究[J].中国生态农业学报,2015,23(4):416-424.
- [7] 孙博,解建仓,汪妮,等.不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):246-250.
- [8] 王婧,逢焕成,任天志,等.地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J].农业工程学报,2012,28(15):52-59.
- [9] 赵永敢,李玉义,胡小龙,等.地膜覆盖结合秸秆深埋对土壤水盐动态影响的微区试验[J].土壤学报,2013,50(6):1 129-1 137.
- [10] 麦提尼亚孜·努尔,郑晓辉,巴特尔·巴克,等.干旱区盐碱地滴灌灌水后土壤水盐运移特征分析[J].山东农业大学学报,2011,42(4):551-554.
- [11] 谭军利,康跃虎,窦超银.干旱区盐碱地覆膜滴灌不同年限对糯玉米生长和产量的影响[J].中国农业科学,2013,46(23):4 957-4 967.
- [12] 闫建文,史海滨.氮肥对不同含盐土壤水盐和小麦产量的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(Z1):50-53.
- [13] 刘锁云.阴山北麓燕麦水氮耦合效应研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.
- [14] 李若楠,武雪萍,张彦才,等.节水减氮对温室土壤硝态氮与氮素平衡的影响[J].中国农业科学,2016,49(4):695-704.
- [15] 闫建文.盐渍化土壤玉米水氮迁移规律及高效利用研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [16] 王金辉,柳勇,徐润生,等.不同施肥水平对耕层土壤盐分迁移和分布的影响[J].中国土壤与料,2009(4):25-30.
- [17] 包雪莲.水氮联合调控对土壤盐分的研究进展[J].南方农业,2016,10(21):245-246.
- [18] 刘克峰.土壤、植物营养与施肥[M].北京:气象出版社,2006:192-206.
- [19] 于红梅,李子忠,龚元石.不同水氮管理对蔬菜地硝态氮淋洗的影响[J].中国农业科学,2005,38(9):1 849-1 855.
- [20] 李若楠,张彦才,黄绍文,等.节水控肥下有机无机肥配施对日光温室黄瓜-番茄轮作体系土壤氮素供应及迁移的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3): 677-688.

(下转第12页)