

减氮量尿素、控释氮肥配施紫云英对早稻产量及氮素吸收利用的影响

鲁艳红 廖育林 聂军* 谢坚 周兴 杨曾平 吴浩杰

(湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)



摘要: 通过田间小区试验, 研究减量尿素或控释氮肥配施紫云英对早稻产量、农艺性状、植株干物质积累量、氮素养分吸收利用及土壤氮素养分的影响。结果表明, 在减氮量 20% 和 40% 条件下, 尿素或控释氮肥配施紫云英促进早稻稻谷增产, 增加有效穗数、千粒重和每穗实粒数。80% 尿素配施紫云英和 60% 控释氮肥配施紫云英处理的氮素养分持续供应优势在水稻生长中后期得到体现, 有利于促进植株氮素养分吸收积累和提高氮肥利用效率, 同时提高了水稻生长中后期土壤碱解氮含量。

关键词: 紫云英; 控释氮肥; 早稻产量; 氮素吸收利用

氮素是影响水稻生长发育最重要的营养元素, 在现代农业生产中发挥着重要作用^[1]。近几十年来, 我国氮肥施用量快速增加^[2]。长期大量施用氮肥提高稻谷产量的同时, 产生的问题也日益凸显, 如我国氮肥利用率较低、施用氮肥造成的环境风险增加等^[3-4]。

施肥的最终目的除了提高作物产量、改善作物品质和培肥土壤同时, 还要考虑养分资源的高效利用及施肥对环境的影响^[5]。适当减少化肥氮施用量、施用缓控释氮肥及有机无机氮合理配施都是提高作物产量和氮肥利用率的良好途径^[6-7]。本试验研究了紫云英与减氮量尿素和缓控释氮肥的配合施用对早稻产量、产量构成因素、不同生育期植株干物质积累动态变化、不同生育期植株氮素养分含量和积累量动态变化、稻谷和稻草氮素养分吸收积累特性、氮素吸收利用效率和不同生育期土壤碱解氮的动态变化的影响, 现将试验结果总结如下。

1 材料和方法

1.1 试验地点及材料

试验于 2013 年在湖南省华容县万庾镇塌西湖村进行。试验区属亚热带湿润气候, 年均降水量 1232 毫米, 年均

气温 17.8 °C。供试土壤为河湖沉积物母质发育的潮泥田。试验前 0-20 厘米耕层土壤 pH 5.7, 有机质 51.2 克/公斤, 全氮 3.09 克/公斤, 全磷 0.89 克/公斤, 全钾 23.1 克/公斤, 碱解氮 275 毫克/公斤, 有效磷 1.9 毫克/公斤, 速效钾 200 毫克/公斤。

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理: (1) GM (不施化肥氮条件下翻压紫云英鲜草 1000 公斤/亩); (2) 100% Ur (施用尿素, 施氮量 10 公斤/亩); (3) 80% Ur (施用尿素, 施氮量 8 公斤/亩); (4) GM+80% Ur (施氮量 8 公斤 N/亩的尿素配施紫云英鲜草 1000 公斤/亩); (5) 60% CRNF (施氮量 6 公斤 N/亩的控释氮肥); (6) GM+60% CRNF (施氮量 6 公斤 N/亩的控释氮肥配施紫云英鲜草 1000 公斤/亩)。各处理磷肥、钾肥施用量均相同, 施磷 (P_2O_5) 5 公斤/亩, 施钾 (K_2O) 6 公斤/亩。紫云英于早稻抛秧前一周异地还田翻压; 尿素 50% 做基肥施入, 余下 50% 做分蘖肥于抛秧后 10 天施用; 控释氮肥做基肥一次性施入; 磷肥用过磷酸钙, 做基肥一次性施入; 钾肥用氯化钾, 50% 的钾肥做基肥施入, 余下 50% 做分蘖肥于抛秧后 10 天施用。各处理基肥部分均于抛秧前 1 天施入, 基肥施入后, 立即

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 资助项目 (Hunan-19)。

作者简介: 鲁艳红 (1974—), 女, 湖北武穴人, 博士, 副研究员, 主要从事植物营养与作物施肥方面的研究。

E-mail: luyanhong6376432@163.com

* 通讯作者: 聂军 (1972—), 男, 湖南沅江人, 博士, 研究员, 主要从事土壤与施肥原理方面的研究。E-mail: junnie@foxmail.com

用铁齿耙耖入 5 厘米深的土层内。通过紫云英投入的养分分别为 N 3.2 公斤 / 亩, P₂O₅ 0.6 公斤 / 亩、K₂O 3.1 公斤 / 亩。每处理 3 次重复, 小区面积 20 平方米, 随机区组排列。小间距用高 20 厘米、宽 30 厘米的泥埂覆膜隔离, 实行单独排灌。早稻品种 (组合) 为湘早籼 45 号, 于 4 月 18 日抛秧, 每公顷抛 37.5 万株, 7 月 11 日收获。为获得的数据与实际生产情况相一致, 试验田采用大田常规管理模式。

1.3 样品采集与测定方法

试验开始前采集 0-20 厘米土层基础土样用于基本理化性状测定。分别采集早稻 5 个生育期 (分蘖期、拔节期、孕穗期、乳熟期和蜡熟期) 的植株样品, 测定各时期的植株干物质产量、植株全氮含量。成熟期取植株样种并测定各小区的稻草产量、稻谷产量及样品中的全氮含量。采集早稻 5 个生育期的 0-20 厘米土层土壤样品用于碱解氮含量测定。土样和植株样品均采用常规方法分析测定^[8]。

1.4 计算方法与数据处理

氮肥利用率、氮肥偏生产力、氮肥农学效率和氮收获指数计算方法^[9]如下:

氮肥利用率 (NUE, %) = (施肥区作物地上部氮素积累量 - 对照区作物地上部氮素积累量) / 施肥区施氮量 × 100。

氮肥偏生产力 (PFP, 公斤 / 公斤) = 施肥区作物经济产量 / 施氮量。

氮肥农学效率 (ANUE, 公斤 / 公斤) = (施肥区作物经济产量 - 对照区经济产量) / 施氮量。

氮收获指数 (NHI, %) = 籽粒氮素积累量 / 植株氮素积累量 × 100。

在本试验中由于没有设置既不施氮肥也不施紫云英的处理, 计算氮肥利用效率和氮肥农学效率时均以 GM 处理为对照。

数据处理及分析采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.5 等数据处理系统。

2 结果与分析

2.1 产量和产量构成因素

产量结果表明不同施肥对早稻稻谷产量有明显的影响 (表 1)。GM+80% Ur 处理获得最高产量, 其次是 GM+60% CRNF 处理, 分别较 100% Ur 处理增产 7.5% 和 6.7%, 产量差异分别达到极显著 (p < 0.01) 和显著水平 (p < 0.05); 无机氮配施紫云英的 GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理较相应的单施无机氮肥 80% Ur 和 60% CRNF 处理分别增产 9.9% 和 7.3%, 差异均达到极显著水平 (p < 0.01); 80% Ur 和 60% CRNF 处理较 100% Ur 处理有所减产, 但 60% CRNF 处理稻谷产量略高于 80% Ur 处理; 产量最低的是 GM 处理, 较 100% Ur 减产 14.0%。

稻草产量最高的是 100% Ur 处理, 其次是 GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理, 其差异均未达到显著水平。100% Ur 处理的稻草产量最高, 但其稻谷产量低于 GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理, 其原因可能是由于该处理水稻生长前期氮素养分释放过多, 产生了较多的损失导致后期氮素养分供应相对不足。

稻谷产量较高的 GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理单位面积有效穗、每穗实粒数和千粒重均较高, 其水稻株高也较高 (表 1)。不施化肥氮仅翻压紫云英的 GM 处理早稻株高和单位面积有效穗数均极显著低于其它施肥处理 (p < 0.01), 每穗实粒数也低于其他施肥处理,

表 1 不同处理的早稻产量和产量构成因素

处理	株高 (厘米)	单位面积有效穗数 (万穗/公顷)	每穗实粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (克)	稻谷产量	
						(公斤/亩)	
GM	81.3bB	20.12dC	74.1cB	83.4aA	23.3bB	372.3cD	286.4cB
100% Ur	84.1aA	25.42abA	74.4cB	79.1cC	23.4abAB	432.7bBC	373.1aA
80% Ur	83.9aA	24.84bAB	74.2cB	81.1bB	23.3bB	423.3bC	352.7bA
GM+80% Ur	84.3aA	25.67aA	75.5bA	81.2bB	23.5abAB	465.3aA	372.2aA
60% CRNF	83.9aA	24.12cB	75.9abA	81.5bB	23.5abAB	430.2bC	349.8bA
GM+60% CRNF	84.1aA	24.86bAB	76.2aA	81.8bAB	23.6aA	461.6aAB	357.9abA

注: 同列不同大小写字母表示处理间差异分别达 1% 和 5% 显著水平。下同

说明当季仅翻压紫云英鲜草 1000 公斤 / 亩而不施化肥氮抑制了水稻生长, 降低了稻谷和稻草的产量。80% Ur 和 60% CRNF 处理的单位面积有效穗和每穗实粒数显著 ($p < 0.05$) 低于相应的配施紫云英的 GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理, 说明这两种施肥模式也不能完全满足水稻作物生长对氮素营养的需求。

2.2 地上部干物质积累量

从不同生育期早稻地上部干物质积累量来看(表 2), 早稻分蘖期干物质积累量以 100% Ur 处理最高, 其次为 GM+80% Ur 和 80% Ur 处理; 孕穗期水稻地上部干物质积累量以 GM+80% Ur 处理最高, 其次为 100% Ur 和 80% Ur 处理; 乳熟期的干物质积累量以 GM+80% Ur 处理最高, 其次为 100% Ur 和 GM+60% CRNF 处理; 蜡熟期地上部干物质积累量以 GM+80% Ur 处理最高, 其次为 GM+60% CRNF 和 100% Ur 处理; GM+80% Ur 处理地上部干物质积累量在分蘖期低于 100% Ur 处理, 但孕穗期后地上部干物质积累量以该处理最高; GM+60% CRNF 处理在早稻分蘖期至孕穗期植株干物质积累量低于 100% Ur 处理和 80% Ur 处理, 至水稻生长中后期也显现出紫云英和控释氮肥养分释放的持续性的优势, 至蜡熟期成为仅次于 GM+80% Ur 处理的处理。GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理各生育期地上部干物质积累量均大于相应的单施化学氮肥处理; 说明紫云英与化学氮肥配施能促进水稻生长, 从而增加植株干物质质量的积累。所有处理中在早稻各生育期均以单施紫云英 GM 处理的地上

部干物质积累量最低, 其干物质积累量与 100% Ur 处理的比值范围为 0.53 - 0.82, 说明早稻不施氮肥, 仅靠翻压 1000 公斤 / 亩紫云英鲜草中的氮素营养不能满足水稻作物生长对氮素的需要。

2.3 不同生育期植株氮素养分含量和氮素养分积累量

水稻养分吸收受不同品种、肥料结构和管理方式等影响, 通常水稻产量高其养分吸收量也高。从早稻不同生育期植株氮含量结果(表 3)可以看出, 分蘖期至孕穗期植株全氮含量最高的为 100% Ur 处理, 最低的为不施化肥氮的 GM 处理; 分蘖期至拔节期 GM+80% Ur 处理植株全氮含量也较高, 仅次于 100% Ur 处理, 而 60% CRNF 处理植株全氮含量较低, 仅高于 GM 处理。由于尿素为速效氮肥, 而施入的紫云英、控释氮肥的氮素释放速率与尿素不同, 随着生育期的推进水稻植株的氮含量状况也发生了变化, 至孕穗期由于控释氮肥的氮素在水稻中后期的释放和紫云英腐解氮素营养的释放, GM+60% CRNF 处理植株氮素含量与 100% Ur 处理之间的差距减小, 到早稻生长后期, 控释氮肥和紫云英绿肥的养分释放对水稻中后期养分持续供应的优势进一步得到体现: 早稻乳熟期 GM+60% CRNF 处理植株氮素养分含量最高, 其次为 GM+80% Ur 处理; 蜡熟期 GM+80% Ur 处理最高, 其次为 GM+60% CRNF 处理。

从表 4 可见早稻不同生育期植株氮素积累量的变化, 分蘖期至孕穗期每蔸水稻植株氮素积累量均以 100% Ur 处理最高, 极显著高于其他处理 ($p < 0.01$); 至乳

表 2 不同施肥处理早稻不同生育期地上部干物质积累量 (克 / 蔸)

处理	分蘖期	拔节期	孕穗期	乳熟期	蜡熟期
GM	0.31cC	6.88bB	15.24cC	20.81dE	26.38dC
100% Ur	0.58aA	10.51aA	19.78aA	27.73aAB	32.28bAB
80% Ur	0.42bBC	9.79aA	18.42bB	24.56cCD	31.08cB
GM+80% Ur	0.51aAB	9.92aA	20.05aA	28.62aA	33.49aA
60% CRNF	0.35bcBC	9.71aA	17.94bB	23.38cD	31.17cB
GM+60% CRNF	0.38bcBC	9.77aA	18.06bB	26.13bBC	32.80abA

表 3 各施肥处理早稻不同生育期植株中全 N 含量的动态变化 (克 / 公斤)

处理	分蘖期	拔节期	孕穗期	乳熟期	蜡熟期
GM	35.6	21.7	14.8	12.2	10.8
100% Ur	44.5	30.9	23.4	13.4	12.7
80% Ur	42.6	25.2	18.8	13.1	11.3
GM+80% Ur	43.4	27	21.4	13.7	12.9
60% CRNF	38.4	22.5	20.5	13.3	11.2
GM+60% CRNF	40.2	24.2	22.5	14.4	12.8

表4 各施肥处理早稻不同生育期植株氮素积累量的动态变化(克 N/ 莖)

处理	分蘖期	拔节期	孕穗期	乳熟期	蜡熟期
GM	0.01cC	0.15eD	0.22fE	0.25eC	0.28dD
100% Ur	0.03aA	0.33aA	0.46aA	0.37bA	0.41bB
80% Ur	0.02bB	0.25cBC	0.35eD	0.32cB	0.35cC
GM+80% Ur	0.02bB	0.27bB	0.43bB	0.39aA	0.43aA
60% CRNF	0.01cC	0.22dC	0.37dC	0.31dB	0.35cC
GM+60% CRNF	0.02 bB	0.24cdBC	0.41cB	0.38abA	0.42abAB

熟期和蜡熟期植株氮素积累量最高的为 GM+80% Ur 处理, 极显著高于 100% Ur 处理 ($p < 0.01$); GM+60% CRNF 处理植株氮素积累量也高于 100% Ur 处理, 但二者之间差异不显著。GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理在早稻全生育期的植株氮素积累量均高于相应的无机氮肥处理(80% Ur 和 60% CRNF 处理), 但在早稻生长前期差异不显著, 随着生育期的推移差异变得显著。早稻不同生育期水稻植株氮素养分积累量的这种变化可能还是与尿素为速效肥料, 而紫云英、控释氮肥的养分释放特性与尿素不同有关, 到早稻生长中后期, 控释氮肥和紫云英绿肥的养分持续供应的优势得到体现。结合早稻的产量状况分析, 可能孕穗期至成熟期氮素供应是水稻高产的关键时期之一。

2.4 不同施肥处理对植株氮素养分含量及吸收积累量的影响

不同施肥处理对早稻成熟期稻草和稻谷中全氮含量有明显影响(表5)。稻谷全氮含量以 100% Ur 和 GM+60% CRNF 处理最高, 其次是 GM+80% Ur 处理, 仅翻压紫云英不施化肥氮的 GM 处理最低; 稻草全氮含量以 GM+80% Ur 处理最高, 其次为 GM+60% CRNF 处理, GM 处理最低。

不同处理间稻谷、稻草和植株总氮素积累量有明显差异(表6)。稻谷氮素养分积累量最高的是 GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理, 其次是 100% Ur 处理; GM 处

理稻谷氮素养分吸收量极显著低于其他处理 ($p < 0.01$)。稻草氮素养分吸收量最高的为 GM+80% Ur 处理, 其次为 100% Ur 处理, GM 处理稻草氮素养分吸收量也极显著低于其他处理 ($p < 0.01$)。各处理植株氮素养分总吸收量顺序与稻谷氮素养分积累量一致, 从高到低为: GM+80% Ur > GM+60% CRNF > 100% Ur > 80% Ur > 60% CRNF > GM。

2.5 不同施肥处理对氮素养分吸收利用效率的影响

减量施用化肥、施用控释氮肥及有机无机氮肥配施均能提高氮肥利用率(表6)。与 100% Ur 处理相比, 80% Ur 处理的氮肥利用率提高 2.8%, 60% CRNF 处理的氮肥利用率提高 16.7%, 减氮量尿素配施紫云英和减氮量控释氮肥配施紫云英处理的氮肥利用率提高程度更显著, GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理氮肥利用率较 100% Ur 处理分别提高 51.9% 和 87.1%, 差异均达到极显著水平 ($p < 0.01$)。

不同施肥处理间氮肥偏生产力差异均达到极显著水平 ($p < 0.01$)。减氮量氮肥、减氮量氮肥配施紫云英处理的氮肥偏生产力均较 100% Ur 处理极显著提高 ($p < 0.01$); GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理的氮肥偏生产力分别较施用相应的无机氮肥 80% Ur 和 60% CRNF 处理极显著提高 ($p < 0.01$)。表明适当降低氮肥用量、施用控释氮肥或尿素配施紫云英均可以提高单位氮肥对产量的贡献。

表5 各施肥处理早稻氮素养分吸收利用

处理	全氮含量(克/公斤)		氮素养分吸收量(克/亩)		植株氮素养分总吸收量(克/亩)
	稻谷	稻草	稻谷	稻草	
GM	12.5dD	9.2dD	4.65dD	2.63eD	7.28dD
100% Ur	15.1aA	9.7bcBC	6.53bAB	3.62bAB	10.15bAB
80% Ur	14.7bAB	9.7bcBC	6.22cBC	3.42cdBC	9.64cBC
GM+80% Ur	15.0aAB	10.2aA	6.98aA	3.79aA	10.77aA
60% CRNF	13.9cC	9.5cCD	5.98cC	3.32dC	9.30cC
GM+60% CRNF	15.1aA	9.9bAB	6.97aA	3.55bcBC	10.51abA

表 6 不同施肥处理对早稻氮素养分吸收利用效率的影响

处理	氮肥利用率 (%)	氮肥偏生产力 (公斤稻谷 / 公斤 N)	氮肥农学效率 (公斤稻谷 / 公斤 N)	氮收获指数 (%)
GM	--	--	--	63.9aA
100% Ur	28.7cC	43.3eE	6.0dC	64.4 aA
80% Ur	29.5cC	52.9dD	6.4cdC	64.5 aA
GM+80% Ur	43.6bAB	58.2cC	11.6abAB	64.8aA
60% CRNF	33.5cBC	71.7bB	9.6bcBC	64.3aA
GM+60% CRNF	53.7aA	76.9aA	14.9aA	66.3aA

不同施肥处理间氮肥农学效率有明显差异 (表 6), 3 个无机氮肥处理中氮肥农学效率高低顺序为: 60% CRNF > 80% Ur > 100% Ur, 相邻 2 处理间差异不显著, 但 60% CRNF 处理氮肥农学效率显著高于 100% Ur ($p < 0.05$)。GM+80% Ur 和 GM+60% CRNF 处理的氮肥农学效率较相应的 80% Ur 和 60% CRNF 处理极显著提高 ($p < 0.01$), 表明无机氮肥与紫云英配施有利于提高单位氮肥用量的增产效果。

GM+60% CRNF 处理氮收获指数高于其他处理 (表 6), 表明该施肥方式在本试验条件下有利于氮素在籽粒中的分配; GM 处理氮收获指数最低, 表明不施化肥氮仅翻压 1000 公斤 / 亩紫云英不利于氮素从植株叶片转移到籽粒中; 各处理间氮收获指数差异不显著。

2.6 不同施肥处理对土壤养分含量的影响

早稻不同生育期土壤碱解氮结果表明 (表 7) 从分蘖期至乳熟期, 100% Ur 处理土壤碱解氮含量最高, 蜡熟期土壤碱解氮含量下降, 仅高于不施化学氮肥的 GM 处理; GM+80% Ur 处理的土壤碱解氮含量在早稻全生育期一直较高, 生长前期至中期 (分蘖期至孕穗期) 仅低于 100% Ur 处理, 蜡熟期仅低于 GM+60% CRNF 处理; GM+60% CRNF 处理在早稻生长前期至中期 (自分蘖期至孕穗期) 土壤碱解氮含量较低, 但随生育期的推延, 至乳熟期该处理土壤碱解氮含量仅低于 100% Ur 处理, 至

蜡熟期其土壤碱解氮含量在所有处理中最高。在早稻各生育期, 不施化学氮肥仅翻压紫云英的 GM 处理土壤碱解氮含量始终最低, 说明在此模式下氮素营养供应在早稻生长的整个生育期均是不够的。

3 结论

(1) 本试验在常规施氮量基础上减 20% 尿素氮或减 40% 控释氮与紫云英配合施用均能显著增加早稻稻谷产量, 稻谷产量的增加主要通过提高单位面积有效穗数、千粒重和每穗实粒数实现。

(2) 减 20% 尿素氮与紫云英配合施用能持续供氮, 有利于早稻整个生育期水稻生长, 促进植株氮素吸收; 减 40% 控释氮肥与紫云英配合施用在早稻生长中后期氮素养分供应充分, 有利于水稻生长和氮素养分向籽粒中转运, 从而也获得较高产量。100% Ur 分蘖期至乳熟期氮素供应较高, 尤其在早稻生长前期氮素供应显著高于其他处理, 而乳熟期后氮素供应相对较低, 造成前期营养生长过旺而后期生殖生长不足, 导致该处理稻草产量较高而稻谷不高。

(3) 减 20% 尿素氮或减 40% 控释氮与紫云英配合施用由于增加了早稻产量、促进了植株氮素吸收同时降低化肥氮用量, 从而提高氮肥利用率和氮肥农学效率。减 40% 控释氮与紫云英配合施用由于早稻生育后期供氮充足有利于氮素向籽粒转运从而提高氮素收获指数。

表 7 早稻不同生育期各处理土壤碱解氮含量 (毫克 / 公斤)

处理	分蘖期	拔节期	孕穗期	乳熟期	蜡熟期
GM	291	244	230	220	218
100% Ur	379	315	273	284	261
80% Ur	351	276	267	250	266
GM+80% Ur	379	293	272	266	276
60% CRNF	328	261	259	263	269
GM+60% CRNF	333	266	265	272	287

综上所述, 在本试验条件下减 20% 尿素氮或减 40% 控释氮与紫云英配合施用提高了早稻产量和氮素利用效率。但是, 施用过程中阻控氮素损失和其对环境的影响

的最适紫云英用量及其与尿素或缓控施肥氮肥的最适配比等尚不清楚, 均有待于进一步研究。



参考文献

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778-783.
- [2] 张卫峰, 马林, 黄高强, 等. 中国氮肥发展、贡献和挑战 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(15):3161-3171.
- [3] 赵宏伟, 沙汉景. 我国稻田氮肥利用率的研究进展 [J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(2):116-122.
- [4] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 等. 农田氮素的气态损失与大气氮湿沉降及其环境效应 [J]. 土壤, 2005, 37(2):113-120.
- [5] 巨晓荣. 理论施氮量的改进及验证——兼论确定作物氮肥推荐量的方法 [J]. 土壤学报, 2015, 52(2):1-13.
- [6] 向秀媛, 刘强, 荣湘民, 等. 有机肥和无机肥配施对双季稻产量及氮肥利用率的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2014, 40(1):72-77.
- [7] 鲁艳红, 纪雄辉, 郑圣先, 等. 施用控释氮肥对减少稻田氮素损失和提高水稻氮素利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3):490-495.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [9] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4):861-868.