

平衡施肥对大豆产量及土壤-作物系统养分收支平衡的影响

姬景红¹, 李玉影¹, 刘双全¹, 刘颖¹, 张明怡¹, 韩光¹, 史俊琴², 徐军生³

(¹黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; ²黑龙江省海门市农业科学技术研究所, 黑龙江 海伦 152300; ³沈阳军区空军司令部克山农副业基地, 黑龙江 克山 161600)

摘要:以合理利用黑龙江省土壤养分资源, 避免肥料浪费, 达到大豆高产、优质和高效为目的, 根据李比希最小养分率原理, 设计了最佳处理, 并在最佳处理的基础上做减素处理, 以田间小区试验方法研究了黑龙江省大豆主产区平衡施肥条件下, 大豆产量、各生育期养分吸收规律以及土壤-作物系统中氮磷钾三要素投入-产出平衡状况。结果表明: 平衡施肥对海伦、宝清、克山大豆产量有明显的正效应, 且有利于大豆植株对养分的吸收利用, 开花期~结荚期以及鼓粒期~成熟期是大豆养分需求的关键时期。黑龙江省大豆主产区施 N 52.5 kg·hm⁻² 不足; 施 P₂O₅ 75 kg·hm⁻² 过高; 施 K₂O 60 kg·hm⁻² 中部和西部地区不足, 东部地区基本能满足大豆高产对钾的需要。三地区氮肥利用率分别为 37.8%、39.8% 和 39.3%; 磷肥利用率分别为 16.8%、19.7% 和 18.6%; 钾肥利用率分别为 43.5%、40.5% 和 25.3%。可见, 黑龙江省大豆主产区大豆生产氮钾肥用量还有提高的空间, 磷肥用量过高。

关键词:平衡施肥; 养分平衡; 大豆; 产量

中图分类号: S158.3; S147.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2009)04-0678-05

Effect of Balanced Fertilization on Yield of Soybean and Nutrients Balance of Soil-crop System

Ji Jing-hong¹, Li Yu-ying¹, Liu Shuang-quan¹, Liu Ying¹, Zhang Ming-yi¹, Han Guang¹, Shi Jun-qin², Xu Jun-sheng³

(¹ Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, 150086, Heilongjiang; ² Institute of Agricultural Science and Technique of Hailun in Heilongjiang Province, Hailun 152300, Heilongjiang; ³ The Base of Keshan Agriculture Sideline Production of Shenyang Military Area Air Command, Keshan 161600, Heilongjiang, China)

Abstract: According to Liebig principle of minimum nutrient rate, the optimal treatment and nutrient omission treatments were designed in order to make soil nutrient resources used rationally. Soybean yield, the nutrients absorption characteristic at different growing stages as well as the three elements of N, P and K input-output balance in soil-crop system were studied under the condition of balanced fertilization by the method of field trial in the main soybean producing areas of Heilongjiang Province. The results showed that balanced fertilization had a significant positive effect to soybean yield of Hailun, Baoqing, Keshan, and was conducive to nutrients absorption and utilization of soybean plants. From florescence to pod-setting and pod-filling to mature stage were the two critical periods of soybean nutrients absorption. The amount of N 52.5 kg·ha⁻¹ could not satisfy the demand for high-yielding soybean; P₂O₅ 75 kg·ha⁻¹ could be able to meet high yield of soybean. The amount of K₂O 60 kg·ha⁻¹ was not enough to soybean for the central and western regions, but could satisfy for eastern regions of Heilongjiang Province. Fertilizer use efficiency of Hailun, Baoqing, Keshan were 37.8%, 39.8% and 39.3% for nitrogen; 16.8%, 19.7% and 18.6% for phosphorus; 43.5%, 40.5% and 25.3% for potassium, respectively. The amount of nitrogen and potassium fertilizer should be improved and phosphorus fertilizer be reduced in the main soybean producing areas of Heilongjiang Province.

Key words: Balanced fertilization; Nutrient balance; Soybean; Yield

农田系统养分循环与平衡是反映农田生产力状况的重要因素^[1]。早在 20 世纪初, 人们就从植物营

收稿日期: 2009-03-05

基金项目: 农业部植物营养与养分循环重点开放实验室和国际植物研究所 (IPNI) 资助, 国际合作项目 (NMBF-Heilongjiang-2008)。

作者简介: 姬景红 (1979-), 女, 助研, 博士, 研究方向为农业环境与生态。E-mail: jinghong_98@163.com。

养生理的角度开始了营养物质循环平衡的研究^[2-3]。只有通过养分循环研究,才能使有限的养分得到最大限度的利用;只有了解养分的平衡状况,才能对土壤养分水平的发展趋向进行预测,并采取合理的调控措施^[4]。因此,研究土壤-作物系统的养分收支及平衡状况,既可为合理施肥提供理论基础又可为农业生产提供实践指导。

黑龙江省自然条件优越,土壤肥力水平较高,生产潜力大,是我国重要的商品粮生产基地。其中海伦市、克山县和宝清县分别位于黑龙江省中部、西部和东部,是我省大豆主产区,大豆年播种面积均占各地区耕地面积的 50% 以上。然而,由于近些年来农民盲目施肥,从这些地区土壤养分供应状况看,已经出现不平衡现象,不但造成肥料资源的大量浪费,同时也严重影响大豆产量和品质的提高^[5]。因此,要在节约能源、保护生态环境的基础上进一步发挥农田土壤的生产潜力,提高大豆产量和品质,就必须注意养分平衡问题。通过合理施肥调节农田养分的循环和平衡是提高农田土壤肥力的主要手段^[6-7]。为此,对黑龙江省的大豆主产区采取平衡施肥,并研究了大豆产量、各生育期养分吸收规律以及土壤-作物系统中氮磷钾三要素投入-产出平衡状况,以使平衡施肥更趋合理化,为黑龙江省大豆生产中养分资源合理利用与高效管理提供科学的理论依据。

1 材料与方法

试验分别设在黑龙江省海伦市、宝清县和克山县。海伦市大豆试验设在东林乡长荣村,土壤类型为黑土。土壤基本化学性质为:pH 5.33、有机质 82.5 g·kg⁻¹、铵态 N 12.2 mg·kg⁻¹、速效 P 16.3 mg·kg⁻¹、速效 K 61.7 mg·kg⁻¹;大豆品种是品系 3283。宝清大豆试验设在宝清镇连丰村,土壤类型为草甸黑土,土壤基本化学性质为:pH 6.51、有机质 36.6 g·kg⁻¹、铵态 N 9.7 mg·kg⁻¹、速效 P 10.7 mg·kg⁻¹、速效 K 102.4 mg·kg⁻¹;大豆品种是垦丰 16。克山大豆试验设在克山镇农业技术推广中心试验地,土壤类型为黑土。土壤基本化学性质为:pH 5.92、有机质 34.2 g·kg⁻¹、铵态 N 11.9 mg·kg⁻¹、速效 P 17.1 mg·kg⁻¹、速效 K 84.5 mg·kg⁻¹;大豆品种是 7741。

共设 6 个处理,分别为 OPT(最佳处理),O-N

(减氮处理)、O-P(减磷处理)、O-K(减钾处理)、CK(不施肥对照处理)、FP(农民习惯施肥处理),每处理设 3 次重复,小区面积 30 m²,随机区组排列。氮肥用尿素(含氮 46%)、磷肥用重过磷酸钙(含 P₂O₅ 46%)、钾肥用氯化钾(含 K₂O 60%)。2008 年 5 月初播种,播种量 55~60 kg·hm⁻²,密度约 28~30 万株 hm⁻²。氮、磷、钾肥全部做种肥一次施入。大豆成熟后每小区采 3 点,每点 2 m²,测量籽粒产量和秸秆产量。试验处理及养分用量见表 1。

表 1 大豆平衡施肥小区试验处理养分用量

Table 1 Amount of applied nutrient in soil of planting soybean/kg·hm⁻²

处理 Treatments	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
最佳处理 Optimal treatment(OPT)	52.5	75	60
减氮处理 Nitrogen omission treatment(O-N)	0	75	60
减磷处理 Phosphorus omission treatment(O-P)	52.5	0	60
减钾处理 Potassium omission treatment(O-K)	52.5	75	0
不施肥对照 Check treatment(CK)	0	0	0
农民习惯施肥 Farmer usual practice treatment(FP)	65	90	45

2 结果与分析

2.1 平衡施肥对大豆产量的影响

海伦、宝清和克山试验结果表明,OPT 处理大豆产量最高,其它减素处理较 OPT 均有不同程度的减产(表 2),说明最佳处理设计较为合理。从各地大豆产量平均值比较来看,与最佳处理相比,不施氮肥平均减产 346 kg·hm⁻²,减产率 13.0%;不施磷肥减产 482 kg·hm⁻²,减产率 16.9%;不施钾肥减产 560 kg·hm⁻²,减产率 19.0%;农民习惯施肥减产 80 kg·hm⁻²,减产率 6.6%;不施肥大豆减产 658 kg·hm⁻²,减产率 23.0%。可见,在黑龙江省黑土上种植大豆必需施一定量的氮磷钾肥,这些营养元素缺乏和不均衡供给对大豆高产、稳产构成严重威胁,成为土壤养分限制因子和潜在限制因子,应该引起足够重视。

表2 海伦、宝清、克山地区大豆产量
Table 2 Soybean yield of Hailun, Baoqing and Keshan/kg·hm⁻²

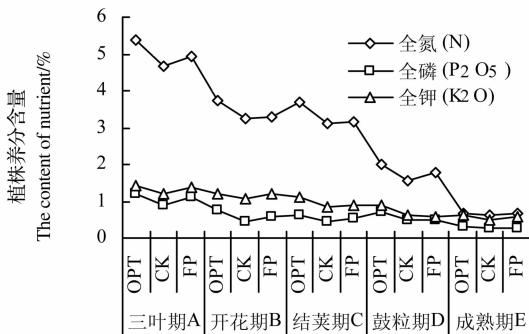
处理 Treatments	海伦 Hailun		宝清 Baoqing		克山 Keshan		平均 Mean	
	产量	减产率	产量	减产率	产量	减产率	产量	减产率
	Yield	Decrease/%	Yield	Decrease/%	Yield	Decrease/%	Yield	Decrease/%
OPT	3042 a A	-	3180 ab A	-	2398 a A	-	2873	-
O-N	2881 ab A	5.3	2900 bAB	8.8	1802 b A	24.9	2528	13.0
O-P	2827 b A	7.1	2430 c C	23.6	1917 ab A	20.1	2391	16.9
O-K	2276 c B	25.2	2570 c BC	19.2	2094 ab A	12.7	2313	19.0
CK	2081 d B	31.6	2710 c BC	14.8	1854 b A	22.7	2215	23.0
FP	3018 a A	0.8	3260 a A	-	2101 ab A	12.4	2793	6.6

由于克山地区在大豆鼓粒期严重干旱,使大豆产量偏低。

The low yield in Keshan region was caused by severe drought at soybean pod-filling stage.

2.2 平衡施肥对大豆养分吸收特性的影响

在海伦试验点,于主要生育时期采集大豆植株和籽粒样品,测定其生物量并分析其养分含量,从而计算其养分吸收量。分析结果表明,大豆植株氮、磷、钾养分含量在三叶期最高,三叶期~成熟期养分含量逐渐降低(图1)。随着生育期的推进,生物量逐渐增加,植株养分吸收量逐渐增大,开花期~结荚期大豆由营养生长转入生殖生长期,养分吸收形成一个小的峰值,由鼓粒期~成熟期是籽粒贮存养分旺盛期,养分吸收又形成一个大的峰值(图2)。因此在施肥上应注意这几个养分需求关键时期。从各施肥处理比较上看,在大豆生长的各个时期植株养分含量及养分吸收量均表现为OPT处理最大,FP处理其次,CK处理最小。说明,平衡施肥有利于大豆对氮磷钾养分的吸收利用。



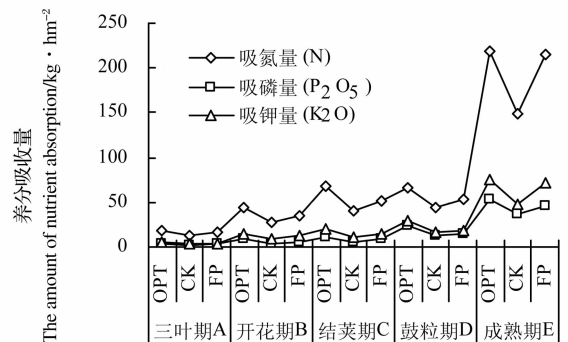
A: Trefoil stage B: Flowering stage; C: Pod-setting stage; D: Pod-filling stage; E: Mature stage

图1 不同生育期大豆植株养分含量

Fig. 1 The content of nutrient in soybean plant at different growing stages

2.3 平衡施肥对养分收支平衡的影响

氮、磷、钾是生长发育所必需的大量营养元素,掌握该三要素在作物与土壤体系中的循环对平衡施



成熟期大豆养分吸收量为秸秆与籽粒养分吸收量的和

The amount of absorbing nutrient in mature stage = The amount of absorbing nutrient by plant + Absorbing nutrient amount by grain.

图2 不同生育期大豆养分吸收量

Fig. 2 The amount of absorbing nutrient in soybean at different growing stages

肥具有重要的意义。在各试验点于大豆收获期取样分别测定各处理秸秆产量与籽粒产量,对植株和籽粒中全N、全P、全K进行化验分析,然后计算植株、籽粒养分吸收量和表观平衡系数。海伦市、宝清县和克山县三点试验结果表明,在最佳处理的基础上不施氮肥(O-N)除了会影响植株和籽粒对氮肥的吸收外,还会影响其对磷钾肥的吸收,同样在最佳处理的基础上分别不施磷肥(O-P)和钾肥(O-K),会影响大豆植株和籽粒对氮钾和氮磷的吸收(表3)。这进一步说明平衡施肥对大豆养分的均衡吸收利用是十分重要的。

表3是大豆种植中土壤-作物系统养分收支平衡概算,由表3可以看出,各地区氮的平衡系数均小于1,在0.3左右,说明N的投入量52.5 kg·hm⁻²不能满足大豆高产的需要,即使大豆生物固氮能提供大约50%的氮源^[8-9],本试验的氮肥用量也不能满足大豆高产的需要;磷的平衡系数均大于1,说明磷肥用

量 P_2O_5 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高于大豆正常生长发育需要量, 磷肥用量过高, 且连年施用在土壤中富集较多, 从经济效益和环境效益双方面考虑, 在 OPT 处理基础可以适当减少磷肥施用量; 海伦市和宝清县钾的平衡系数小于 1, 说明该两地区 K_2O $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 不能满足大豆高产的需要; 克山钾的平衡系数接近于 1, 说明 K_2O

$60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 基本能满足该地区大豆高产的需要。通过计算可知, 海伦、宝清、克山三地区氮肥利用率分别为 37.8%、39.8% 和 39.3%; 磷肥利用率分别为 16.8%、19.7% 和 18.6%; 钾肥利用率分别为 43.5%、40.5% 和 25.3%, 从肥料利用率数据上看, 也可知各地区大豆生产磷肥用量过高。

表 3 土壤养分收支平衡概算

Table 3 Nutrient balance budget of soil of planting soybean

地点 Place	处理 Treatments	养分投入 Nutrient input/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$			养分支出 Nutrient output/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$			平衡系数 Balance coefficient		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
海伦 Hailun	1. OPT	52.5	75	60	219.64	53.20	75.91	0.24	1.41	0.79
	2. O-N	0	75	60	199.78	43.14	68.20	0	1.74	0.88
	3. O-P	52.5	0	60	198.48	40.64	66.57	0.26	0	0.90
	4. O-K	52.5	75	0	162.90	32.63	49.81	0.32	2.30	0
	5. CK	0	0	0	148.28	37.33	48.44	0	0	0
	6. FP	65	90	45	215.74	46.45	71.47	0.30	1.94	0.63
宝清 Baoqing	1. OPT	52.5	75	60	233.32	53.54	83.28	0.23	1.40	0.72
	2. O-N	0	75	60	212.43	46.53	72.17	0	1.61	0.83
	3. O-P	52.5	0	60	179.58	38.79	58.83	0.29	0	1.02
	4. O-K	52.5	75	0	190.75	40.81	59.02	0.28	1.84	0
	5. CK	0	0	0	194.48	44.14	64.28	0	0	0
	6. FP	65	90	45	237.83	53.24	79.08	0.27	1.69	0.57
克山 Keshan	1. OPT	52.5	75	60	178.99	41.72	61.82	0.29	1.80	0.97
	2. O-N	0	75	60	158.34	31.67	48.94	0	2.37	1.23
	3. O-P	52.5	0	60	139.09	27.78	44.68	0.38	0	1.34
	4. O-K	52.5	75	0	153.63	33.86	46.67	0.34	2.22	0
	5. CK	0	0	0	134.70	29.68	44.86	0	0	0
	6. FP	65	90	45	155.87	35.35	49.80	0.42	2.55	0.90

“养分支出”为植株与籽粒养分吸收量的和; N 利用率 = [OPT 吸氮量 - (OPT-N) 吸氮量] / 施氮 $\times 100\%$; P 利用率 = [OPT 吸磷量 - (OPT-P) 吸磷量] / 施磷 $\times 100\%$; K 利用率 = [OPT 吸钾量 - (OPT-K) 吸钾量] / 施钾量 $\times 100\%$ 。

“Nutrient output” = Absorbing nutrient amount by plant + Absorbing nutrient amount by grain; N utilization = [The amount of absorbing N of OPT treatment - The amount of absorbing N of (OPT-N) treatment] / The amount of applied N of OPT treatment $\times 100\%$; P utilization = [The amount of absorbing P of OPT treatment - The amount of absorbing P of (OPT-P) treatment] / The amount of applied P of OPT treatment $\times 100\%$. K utilization = [The amount of absorbing K of OPT treatment - The amount of absorbing K of (OPT-K) treatment] / The amount of applied K of OPT treatment $\times 100\%$ 。

3 结论与讨论

平衡施肥主要指通过作物必需的各种营养元素的供应和协调, 满足作物生长、发育的需要, 从而达到提高产量和改善农产品品质, 减少肥料浪费, 防止环境污染的目的。通过对黑龙江省海伦市、宝清县和克山县等大豆主产区平衡施肥条件下, 大豆产量及土壤-作物系统养分收支平衡状况的研究, 得出主要结论如下:

黑龙江省大豆主产区大豆产量以 OPT 处理最高, 其它减素处理较 OPT 均有不同程度的减产, 说明, 最佳处理设计较为合理。开花期~结荚期以及鼓粒期~成熟期是大豆养分需求的关键时期, 且平

衡施肥有利于大豆对氮磷钾养分的吸收利用。黑龙江省大豆主产区土壤养分收支不平衡现象较为明显。总体而言, N 的投入量 (N $52.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 不能满足大豆高产的需要; 磷的投入量 (P_2O_5 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 过高; 钾的投入量 (K_2O $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 中部和西部地区不足, 东部地区基本能满足大豆高产对钾的需要量。

研究结果还表明氮磷钾各元素之间具有相互促进和相互制约的作用, 一种元素的缺乏会影响大豆对其它两种元素的吸收利用, 这与许多研究结果相一致^[10-12]。许多相关研究表明, 营养元素缺乏和不均衡供给会成为土壤养分限制因子和潜在限制因子, 影响土壤-作物系统养分收支平衡, 对作物高

产、稳产构成严重威胁,应该引起足够重视^[13-16]。研究结果能够说明黑龙江省大豆主产区土壤养分收支状况,为这些地区肥料的合理施用提供了重要的理论依据。但由于大豆产量及品质还受土壤类型、气候、施肥及品种等因素的影响,不同地区、不同品种之间肥料用量也应具有一定的差异,这还有待于进一步深入具体的研究。因此,应根据各地区的具体情况如气候、土壤肥力特征等选取适宜的大豆品种,采取平衡施肥措施,尤其要注意氮磷钾肥的合理施用,使最佳施肥处理不断优化,以避免肥料浪费,达到大豆高产、优质和高效的目的。

参考文献

- [1] 王英. 黑龙江省农田养分循环与平衡状况的初步探讨[J]. 土壤通报,2002,33(4):268-271. (Wang Y. Preliminary study on nutrients cycle and balance in farmland soil of Heilongjiang province [J]. Chinese Journal of Soil Science,2002,33(4):268-271.)
- [2] 卢兵友. 农业生态系统氮素循环研究概况[J]. 山东农业大学学报,1992,23(4):457-460. (Lu B Y. Situation of research on nitrogen cycling in agroecosystem [J]. Journal of Shandong Agricultural University,1992,23(4):457-460.)
- [3] 曹凑贵,张光远,王运华. 农业生态系统养分循环研究概况[J]. 生态学杂志,1998,17(4):26-32. (Cao C G,Zhang G Y,Wang Y H. Situation of research on nutrient cycling in agroecosystem [J]. Chinese Journal of Ecology,1998,17(4):26-32.)
- [4] 姜子绍,宇万太. 农田生态系统中钾循环研究进展[J]. 应用生态学报,2006,17(3):545-550. (Jiang Z S,Yu W T. Research advance in potassium cycling in agroecosystems [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2006,17(3):545-550.)
- [5] 史俊琴. 平衡施肥对大豆产量及其构成因子的影响[J]. 现代农业,2005(1):14-15. (Shi J Q. The effect of balanced fertilization on soybean yield and factor of yield [J]. Modernizing Agriculture, 2005(1):14-15.)
- [6] Drinkwater L E, Snapp S S. Nutrients in Agroecosystems: Rethinking the management paradigm [J]. Advanced Agronomy,2007, 92:163-186.
- [7] 鲁如坤. 土壤—植物营养学原理和施肥[M]. 北京:化学工业出版社,1998:79-349. (Lu R K. Principles of soil-plant nutrition and fertilization [M]. Beijing:Chemical Industry Press,1998:79-349.)
- [8] 张兴梅,蔡德利,王法清,等. 不同大豆品种在养分吸收及产量上的比较[J]. 土壤肥料,2004(3):41-42. (Zhang X M,Cai D L,Wang F Q,et al. Comparison of nutrient uptake and yield of different varieties of soybean [J]. Soils and Fertilizers,2004(3): 41-42.)
- [9] 赵秀芬,房增国. 大豆、花生固氮与施氮关系的研究进展[J]. 安徽农学通报,2005,11(3):48-49. (Zhao X F,Fang Z G. Progress of the relationship between nitrogen fixation by soybean,peanut and nitrogen application [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2005,11(3):48-49.)
- [10] 苗玉红,韩燕来,王宜伦,等. 钾对不同超高产小麦品种产量及氮、磷吸收效应的影响[J]. 土壤通报,2007,38(5):1022-1024. (Miao Y H,Han Y L,Wang Y L,et al. Effect of potassium on the yield and N and P absorption of different super-high yield wheat varieties [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(5): 1022-1024.)
- [11] Kohck,Mengel K. Effect of K on N utilization by spring wheat during grain protein formation [J]. Agronomy Journal, 1977, 69: 477-480.
- [12] 马磊,梅凤娟,郑少玲,等. 不同氮磷钾水平对生菜产量及体内养分的影响[J]. 仲恺农业技术学院学报,2006,19(4):13-16. (Ma L,Mei F X,Zheng S L,et al. Effects of different N,P and K levels on yield and nutrient content in lettuce [J]. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Technology, 2006, 19(4): 13-16.)
- [13] 孙文涛,汪仁,安景文,等. 平衡施肥技术对玉米产量影响的研究[J]. 玉米科学,2008,16(3):109-111. (Sun W T,Wang R,An J W. Study on effect of balanced fertilization technology on the yield of corn [J]. Journal of Maize Sciences,2008,16(3):109-111.)
- [14] 廖文华,刘建玲,贾可,等. 大白菜-辣椒轮作中土壤养分限制因子及平衡状况研究[J]. 华北农学报,2008,23(3):213-218. (Liao W H,Liu J L,Jia K,et al. Investigation of restrict yield nutrient and the balance of input and output N,P,K in rotation of Chinese cabbage and capsicum [J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2008,23(3):213-218.)
- [15] 李艳辉. 平衡施肥对稻田产量和土壤养分的影响[J]. 农业科技与装备,2008(1):17-19. (Li Y H. The effect of balanced fertilization on paddy output and soil nutrient [J]. Agricultural Science Technology Equipment,2008(1):17-19.)
- [16] 王振华,张林. 黑龙江省松嫩平原中南部玉米生产限制因素及对策[J]. 玉米科学,2008,16(5):147-149. (Wang Z H,Zhang L. Analysis on the limiting factors and countermeasures of maize production in Songnen Champaign South-central in Heilongjiang Province [J]. Journal of Maize Sciences,2008,16(5):147-149.)