

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201907056

SODm 尿素氮减量对河西绿洲灌区春玉米产量 效益及氮利用效率的影响*

崔云玲^{1,2}, 张立勤^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院 土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
2. 农业农村部 甘肃耕地保育与农业环境科学观测实验站, 甘肃 武威 733017)

摘要:【目的】探明新型 SODm 尿素氮替代普通尿素氮减量对春玉米氮素吸收利用的影响。【方法】通过田间小区试验, 以不施氮(CK)和当地常规施氮(CFN)为对照, 研究等氮量 SODm 氮(SODmN)、SODm 氮减量 10%(SODmN-10%)、SODm 氮减量 15%(SODmN-15%)、SODm 氮减量 20%(SODmN-20%)和 SODm 氮减量 25%(SODmN-25%)对春玉米产量效益和氮利用效率的影响。【结果】与 CFN 处理相比, 当 SODmN 施用量减少 15% 并继续降低时, 玉米产量呈下降趋势, SODmN-15% 处理籽粒产量和生物量均相对较高, 玉米产量随着氮减量程度的增加表现为先增加后降低, 呈二次多项式关系; 经拟合, 玉米最高产量对应的施氮量为 313 kg/hm², 最高纯收益所对应的施氮量为 292 kg/hm²。氮素的吸收总量表现为先增加后降低, 氮收获指数、氮素平衡和氮利用效率(SODmN-25% 除外)均随着氮减量程度的增加而增大。【结论】河西绿洲灌区玉米施肥量较高, 用 SODm 尿素氮替代普通尿素氮后出现明显的氮过量, 随着氮减量程度的加大, 春玉米籽粒产量表现为先增加后降低的趋势, 当氮减量超过常规施氮量的 20% 时产量开始下降, 但氮减量 25% 以内对玉米的产量并没有造成明显影响。在常规施肥基础上用 SODm 尿素氮替代普通尿素氮, 可实现减少氮用量 20% 的目标, 此时产量效益最大化, 且氮的利用效率也显著提高。

关键词: 绿洲灌区; 春玉米; 减量施氮; 产量效益; 氮利用效率

中图分类号: S 513.062

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2021) 02-0353-06

Effect of SODmN Reduction Application on the Yield, Profit and Nutrient Utilization of Spring Maize in Hexi Oasis Irrigation Area

CUI Yunling^{1,2}, ZHANG Liqin^{1,2}

(1. Institute of Soil Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Province Cultivated Land Conservation and Agricultural Environmental Science Observation Experiment Stations of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuwei 733017, China)

Abstract: [Purpose] In order to find out the reduction degree of spring maize after replacement of ordinary nitrogen with new SODmN and the absorption and utilization of nitrogen. [Method] Through the field plot experiment, with no nitrogen application (CK) and local traditional nitrogen application rate (CFN) as the control, the effect of equivalent nitrogen amount SODm nitrogen

收稿日期: 2019-07-27

修回日期: 2020-12-04

网络首发时间: 2021-03-08 14:17:28

*基金项目: “十三五”国家重点研发计划子课题 (2016YFD0200404-3)。

作者简介: 崔云玲 (1972—), 女, 甘肃永靖人, 本科, 副研究员, 主要从事植物营养与土壤肥料方面的研究工作。E-mail: tfscyl@163.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20210305.1651.001.html>



(SODmN), SODmN decrement 10% (SODmN-10%), SODmN decrement 15% (SODmN-15%), SODmN decrement 20% (SODmN-20%) and SODmN decrement 25% (SODmN-25%) on spring maize yield profit and nitrogen use efficiency was studied. [Results] Compared with the CFN treatment, when the SODmN application rate was reduced by 15% and continued to decrease, the maize yield showed a downward trend. SODmN-15% treatment brought about relatively high grain yield and biological yield, and the maize yield first increased and then decreased with the increase in the degree of nitrogen reduction, showing a quadratic polynomial relationship. After fitting, the nitrogen application rate corresponding to the highest maize yield was 313 kg/hm^2 , and the nitrogen application rate corresponding to the highest net income was 292 kg/hm^2 . The total amount of absorbed nitrogen was manifested by increase firstly and then decrease. The nitrogen harvest index, nitrogen balance, and nitrogen use efficiency (except SODmN-25%) all increased with the increase in nitrogen reduction. [Conclusion] The fertilizing amount of maize in the Hexi oasis irrigation area was relatively high. After replacement of ordinary nitrogen with SODm nitrogen, significant nitrogen excess appeared. With the increase in nitrogen reduction, the yield of spring maize grains was manifested by a trend of first increase and then decrease. The yield began to decrease when the nitrogen reduction exceeded the conventional nitrogen application rate by 20%, but the nitrogen reduction within 25% did not cause a significant impact on maize yield. Replacement of ordinary urea N with SODmN on the basis of traditional fertilization can achieve the goal of reducing nitrogen rate by 20%, maximizing the yield benefit and significantly improving the nitrogen use efficiency.

Keywords: oasis irrigation area; spring maize; reduced nitrogen application; yield and profit; nitrogen efficiency

玉米是甘肃省种植面积最大的粮食作物之一,其稳产增收对甘肃农业的发展至关重要。增加水肥特别是氮肥投入是河西绿洲灌区多年来玉米产量不断提高的重要措施。但一味追求高产而超量施氮使得大量的氮素流失到环境中,不仅利用率低下,还引发了一系列的环境问题^[1-3]。减量施氮正是在这种背景下发展起来的一种高效施肥方式,即在保证作物产量稳定的前提下,尽量减少氮肥的投入量,以提高氮肥的利用效率,降低环境污染^[4-7]。关于施氮对玉米生长、产量及氮肥利用效率的影响国内外已有许多研究^[8-13],但多为普通尿素不同氮肥梯度下适宜用量的筛选,而普通尿素常规施氮量和 SODm 尿素(将超氧化物歧化酶加在尿素溶液中混合造粒而成,兼有 SOD 酶活性和氮的双重作用,简称 SODm 尿素)氮减量施用对玉米生长及产量的变化情况研究少有报道。本研究拟通过普通尿素常规施氮量和 SODm 尿素氮减量施用对玉米产量及氮素利用的差异研究,以期为 SODm 尿素在玉米及其他作物上的科学合理施用提供依据,从而促进和推动新型肥料

在农业生产中的快速推广和应用。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站,位于 $E100^{\circ}26'$, $N38^{\circ}56'$,地处黑河上游大满灌区,海拔 $1\,570 \text{ m}$,年平均蒸发量 $2\,047 \text{ mm}$,降水量 130 mm ,干旱指数达 10.3 。

播前 $0\sim 25 \text{ cm}$ 土壤养分状况:有机质含量为 17.47 g/kg ,碱解氮含量为 93.8 mg/kg ,有效磷含量为 23.2 mg/kg ,速效钾含量为 115.3 mg/kg ,pH 值 8.50 ,全盐含量为 0.467 g/kg ,土壤肥力处于中等水平。试验地土壤属绿洲灌漠土类,前茬为玉米。玉米生育期内,即 4 月中旬至 9 月底自然降水量为 110 mm 。

1.2 供试材料

供试肥料为 SODm 尿素(含氮量 $\geq 46.4\%$, $\text{SODm} \geq 0.05\%$,用 SODmN 表示)、普通尿素(含氮量 $\geq 46.4\%$)、普通过磷酸钙(P_2O_5 含量 $\geq 12.0\%$)和硫酸钾(K_2O 含量 $\geq 50\%$)。供试玉米品种为武

科2号,种植密度8.25万株/hm²。

1.3 试验设计

试验设7个处理:(1)不施氮肥(CK);(2)常规施氮量施普通尿素氮(CFN):375.00 kg/hm²;(3)常规施氮量施SODm 尿素氮(SODmN):375.00 kg/hm²;(4)SODm 尿素氮减量10%(SODmN-10%):337.50 kg/hm²;(5)SODm 尿素氮减量15%(SODmN-15%):318.75 kg/hm²;(6)SODm 尿素氮减量20%(SODmN-20%):300.00 kg/hm²;(7)SODm 尿素氮减量25%(SODmN-25%):281.25 kg/hm²。小区面积24 m²,随机区组排列,重复3次。

2017年4月17日播种,行距为50 cm,株距为24 cm,播深4 cm。对各处理种植的玉米采取相同的农业田间管理:人工除草、中耕及病虫害防治。10月8日收获,其他田间管理措施与当地大田一致。

各处理磷、钾肥用量一致,施磷(P₂O₅)120 kg/hm²,钾(K₂O)45 kg/hm²。其中20%氮及全部的磷钾肥结合耕地基施。80%的氮在玉米生长期分3次追施,分别为拔节期20%、喇叭口期30%、吐丝期30%,均于灌水前按株穴施。各处理灌溉定额均为6 000 m³/hm²,分4次灌溉,分别于拔节、大喇叭口、吐丝和灌浆中期进行,每次灌水定额均为1 500 m³/hm²,水表量水,实施定额灌溉。

1.4 数据处理与分析

收获时每个试验小区取2株植株样品,在

105 ℃下杀青0.5 h后于60 ℃烘干至恒质量,粉碎过1 mm筛用于分析全氮。植株全氮用浓硫酸消煮,全自动定氮仪测定。

表征氮肥利用效率参数按下列公式^[14]计算:

氮肥利用率=(施氮区玉米地上部吸氮量-无氮区玉米地上部吸氮量)/施氮量×100%;

N收获指数=籽粒吸氮量/总吸氮量×100%;

N素表观平衡=N投入量-N吸收量;

纯收益(元/hm²)=经济产量×玉米价格-肥料投入-其他投入(包括种子、地膜和农药等)。

试验数据均采用Excel软件进行计算,用SAS软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 SODm 尿素氮减量对玉米产量及效益的影响

表1显示:不施氮肥处理玉米产量均最低,所有施氮肥处理较不施氮肥处理均有显著的增产效果,增施氮肥仍是玉米高产的关键。施用氮肥能显著提高玉米籽粒产量,与CK相比,增产20.6%~31.6%;与CFN处理相比,SODmN处理产量显著下降,但SODmN减量处理与其无显著差异,SODmN-15%还表现为增产。用SODmN替代CFN,适度减少施用量,玉米产量呈增加的趋势,当施氮量减少15%并继续降低时,玉米产量呈下降趋势。施氮对春玉米的生物量也有显著的影响,其变化趋势与产量变化趋势不尽相同,过量的氮更有利于秸秆产量的增加而对籽粒产量不利,SODmN处理春玉米地上部生物量较CFN

表1 SODm 尿素氮减量对春玉米产量及效益的影响

Tab. 1 Effect of SODmN reduction application on the yield and profit of spring maize

处理 treatment	生物量/(kg·hm ⁻²) biomass	籽粒产量/(kg·hm ⁻²) grain yield	纯收益/(元·hm ⁻²) profit
CK	25 003 cB	11 472 dB	18 085 dC
CFN	34 570 abA	15 921 abA	24 781 bcB
SODmN	36 542 bA	15 680 cA	24 347 cB
SODmN-10%	36 560 bA	15 701 bcA	24 516 bcB
SODmN-15%	36 614 aA	16 531 abA	26 074 aA
SODmN-20%	35 137 abA	15 904 bcA	25 012 bB
SODmN-25%	33 861 bA	15 775 abcA	24 845 bcB

注:CK.不施氮肥;CFN.常规施氮,375.00 kg/hm²;SODmN、SODmN-10%、SODmN-15%、SODmN-20%和SODmN-25%分别为施SODm 尿素氮375.00、337.50、318.75、300.00和281.25 kg/hm²;下同。N 3.5元/kg, P₂O₅ 5.0元/kg, K₂O 7.0元/kg, 玉米1.8元/kg, 其他投入1 650元/hm²。同列不同小写字母表示差异达5%显著水平;不同大写字母表示差异达1%显著水平。

Note: CK. no nitrogen application; CFN. local traditional nitrogen application, 375.00 kg/hm²; SODmN, SODmN-10%, SODmN-15%, SODmN-20% and SODmN-25% mean that the application rates of SODmN are 375.00, 337.50, 318.75, 300.00 and 281.25 kg/hm², respectively; the same as below. N 3.5 Yuan/kg, P₂O₅ 5.0 Yuan/kg, K₂O 7.0 Yuan/kg, maize 1.8 Yuan/kg, other inputs 1 650 yuan/hm². Different normal and capital letters in same column indicate significant at P=5% and P=1%, respectively.

处理高 5.7%。各 SODmN 减量施肥处理中, 氮减量在 20% 以内 (即施用量在 300~375 kg/hm²) 变化时, 随着氮用量的减少玉米地上部生物量变化不大, 但当氮减量超过 20% 即为 SODmN-25% 时春玉米地上部生物量降幅最大。

玉米籽粒产量以 SODmN-15% 处理最高, 与 CFN 处理产量相当, 较 SODmN 处理增产 5.4%, 随着氮肥用量的减少, 玉米产量逐渐降低, 但 SODmN 处理与 SODmN-25% 处理间差异并不显著。上述分析结果表明: 用 SODmN 替代 CFN 后 SODm 促进了玉米对氮素的吸收利用, 氮减量 25% 以内对玉米的产量并没有造成显著影响。

方差分析结果显示: 各施氮处理与 CK 间产量差异达极显著水平; 各施氮处理之间相互比较, CFN 处理除与 SODmN 之间达差异显著水平外, 与其他氮减量处理间不显著, 表明只有在适宜的氮水平下玉米籽粒产量才能达到最高, 而过量的氮则会导致营养生长与生殖生长失调, 容易造成籽粒减产。依据籽粒产量 (y , kg/hm²) 与施氮量 (x , kg/hm²) 的关系建立拟合方程: $y = -0.046 2x^2 + 28.913x + 1 1468$ ($R^2 = 0.975 6$), 计算得到最高产量 15 992 kg/hm² 下的施氮量为 313 kg/hm²。

春玉米的纯收益是评价施肥效果的重要参数。从表 1 还可见: 施氮量与籽粒产量的高低直接影响着春玉米的纯收益, 与不施氮 (CK) 相比, SODmN-15% 处理纯收益最高, 其他施氮处理间纯收益相差不大, 表明适宜的施氮量是增加春玉米纯收益的关键, 施肥不足或过量, 均不能带来高效益。纯收益与不同氮肥施用量之间的关系可表示为: $y = -0.083 1x^2 + 48.544x + 18 077$ ($R^2 = 0.967 1$)。由此求得最高纯收益施氮量为 292 kg/hm², 此时纯收益为 25 166 kg/hm²。

2.2 SODm 尿素氮减量对春玉米氮素吸收和利用的影响

施氮水平对春玉米氮吸收、氮收获指数、氮平衡及氮肥利用效率均有一定影响, 结果如表 2 所示。氮吸收量随着施氮量的减少表现为先增加后降低的趋势, 不施氮处理的氮吸收总量最低, 为 176.5 kg/hm², SODmN 处理氮吸收总量最高, 为 320.3 kg/hm², 较 CFN 处理氮吸收总量增加 4.9%。就氮收获指数而言, 不同氮肥施用量表现不一, 所有施氮处理的氮收获指数均较 CK 下降, 但随着氮减量程度的加大氮收获指数呈增加趋势。从氮表观平衡看, SODmN-15% 基本能满足氮素平衡, 低于此施氮量, 氮素平衡处于亏缺状态, 高于此量则处于盈余状态。本试验获得的最高产量施氮量为 318.75 kg/hm², 氮素平衡盈余 11.02 kg/hm², 当 SODmN 减量超 15% 时, 氮素平衡处于亏缺状态。就氮肥利用效率而言, SODmN-20% 处理 (300 kg/hm²) 取得最高的氮肥利用效率, 为 43.1%; 施氮量超过 318.75 kg/hm² 时明显下降, 普通尿素和 SODm 尿素氮供应时氮肥利用效率明显降低, 但 SODmN 处理的氮肥利率较 CFN 处理提高了 11.6%, 充分显示出 SODm 对玉米的生长产生了促进作用; SODmN-15% 处理的氮肥利用效率为 41.2%, 故 SODmN-15% 处理可以实现高产、高效, 同时氮肥利用效率也实现较高的目标。结果表明: 在河西绿洲灌区用新型 SODm 尿素氮肥替代普通尿素氮肥可达到减肥增效的目的, 玉米在适当减量施氮情况下可实现稳产优质, 并提高肥料利用率, 保持较好的氮平衡, 这对土地的可持续利用有重要作用。

表 2 SODmN 减量对春玉米氮吸收和利用的影响
Tab. 2 Effect of SODmN reduction application on the N uptake and utilization of spring maize

处理 treatment	N 吸收总量/(kg·hm ⁻²) N uptake	N 收获指数/% N harvest index	N 投入量/(kg·hm ⁻²) N application rate	N 平衡/(kg·hm ⁻²) N balance	N 利用效率/% N utilization efficiency
CK	176.50	64.3	0	-176.50	—
CFN	305.38	59.9	375.00	69.62	34.4
SODmN	320.27	56.4	375.00	54.73	38.3
SODmN-10%	307.27	60.4	337.50	30.23	38.7
SODmN-15%	307.73	60.7	318.75	11.02	41.2
SODmN-20%	305.91	60.6	300.00	-5.91	43.1
SODmN-25%	286.82	62.7	281.25	-5.57	39.2

3 讨论

作物减量施肥应以土壤肥力状况为基础,综合考虑作物生长发育规律和需肥特性,做到养分供需平衡,减少肥料的浪费。金继运等^[15]研究表明:氮素过量可使营养体生长过旺,与籽粒竞争光合产物,叶片中的氮向籽粒转运减少,不利于籽粒碳的积累。OSAKI 等^[16]和 SPIERTZ 等^[17]研究表明:营养体过量的氮素转移将导致叶片早衰及光合能力下降,造成籽粒碳水化合物供应不足,降低灌浆速率,对玉米后期碳氮代谢互作及粒质量形成不利。本研究结果表明:常规施氮量水平下用 SODm 尿素氮替代普通尿素氮,在一定范围内减少施氮量(即 SODmN 减量 20% 以内)并未对玉米产量造成显著影响,减少施氮量 25% 时虽有减产趋势但与常规施肥间未达到显著差异水平,这主要是由于 SODm 尿素中含有 SOD 酶,可有效抑制土壤中金属离子与磷形成不溶性沉淀,且 SOD 酶可促进作物根系的生长发育,增强作物对养分的吸收,同时也促进了对氮素的吸收利用,使玉米前期营养生长过旺,从而影响其籽粒产量。

减量施肥同时还在一定程度上提高了氮肥利用效率,这与前人研究结果^[18-19]一致。赵士诚等^[18]对华北地区春玉米氮肥减量的研究结果均表明:氮肥减量后玉米产量没有显著降低,肥料利用率反而略有增加;段然等^[19]对湖垵旱地玉米和油菜减量施氮研究结果也表明:在现有施肥水平下,减量施肥对玉米和油菜产量没有显著影响。

在中国不同地区玉米的施肥量差异较大,众多学者也提出了因地制宜的施肥建议。叶东靖等^[12]研究指出:吉林省玉米施氮适宜用量应在 180~240 kg/hm²;王俊忠等^[20]利用¹⁵N 标记研究了河南地区施氮量,结果表明:施氮量在 300 kg/hm² 以内可保证夏玉米高产,过量施氮并没有表现出持续增产的效果。

确定作物的合理施肥量是一个复杂的问题,除了与肥料投入和作物产出相关外,还与植株全生育期内土壤养分的矿化量、当季降水量及土壤有机质含量等密切相关。有研究指出:植株全生育期土壤氮素矿化加上播前无机氮数量,土壤自身供氮量可高达 347 kg/hm²,足够植株生长发育所需^[6, 21-22],这大大弱化了施肥量差异对作物产量

带来的影响。

甘肃河西绿洲灌区春玉米种植区域过量不合理施肥问题普遍存在,在现有玉米施肥水平下,采取适宜的减量施肥方式并配合施用新型的氮肥品种,在减少化肥投入的同时能保证玉米产量和有效提高氮肥的利用效率,可避免因施肥过量对环境造成的潜在威胁。

4 结论

在本试验条件下,用新型 SODm 尿素氮替代普通尿素氮,在氮肥用量较常规施氮量减少 25% 以内时玉米产量不会明显下降,但会造成土壤氮平衡的亏缺;而氮肥用量较常规施氮量减少 15% 时,在保证稳产高效的同时肥料利用率也相对较高。

[参考文献]

- [1] 孙占祥,邹晓锦,张鑫,等.施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响[J].玉米科学,2011,19(5): 119. DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.2011.05.015.
- [2] 刘宏斌,李志宏,张维理,等.露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3): 286. DOI: 10.3321/j.issn:1008-505X.2004.03.013.
- [3] 蒋会利,温晓霞,廖允成.施氮量对冬小麦产量的影响及土壤硝态氮运转特性[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1): 237. DOI: 10.11674/zwf.2010.0136.
- [4] 刘学军,巨晓棠,张福锁.减量施氮对冬小麦-夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J].应用生态学报,2004,15(3): 458. DOI: 10.13287/j.1001-9332.2004.0100.
- [5] 邹晓锦,张鑫,安景文.氮肥减量后移对玉米产量和氮素吸收利用及农田氮素平衡的影响[J].中国土壤与肥料,2011(6): 25. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6257.2011.06.004.
- [6] 赵冬,颜廷梅,乔俊,等.稻季田面水不同形态氮素变化及氮肥减量研究[J].生态环境学报,2011,20(4): 743. DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2011.04.018.
- [7] 杨文亨,李志贤,舒磊,等.甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响[J].生态学报,2011,31(20): 6108.
- [8] 肖桂秀,李传俊,王蕾,等.玉米减量施肥研究[J].土壤肥料,2003(6): 37. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6257.2003.06.009.
- [9] 梁二,王小彬,蔡典雄,等.不同肥料和N减量施用对早作玉米生产的影响[J].中国农业气象,2007,28(4): 371. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2007.04.005.
- [10] 向圣兰,刘敏,陆敏,等.不同施氮水平对水稻产量、吸氮量及土壤肥力的影响[J].安徽农业科学,2008,36(19): 8178. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2008.19.068.

- [11] 王爽, 孙磊, 陈雪丽, 等. 不同施氮水平对玉米产量、氮素利用效率及土壤无机氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(3): 387. DOI: [10.16258/j.cnki.1674-5906.2013.03.009](https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2013.03.009).
- [12] 叶东靖, 高强, 何文天, 等. 施氮对春玉米氮素利用及农田氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 552. DOI: [10.11674/zwyf.2010.0306](https://doi.org/10.11674/zwyf.2010.0306).
- [13] 云鹏, 高翔, 陈磊, 等. 冬小麦-夏玉米轮作体系中不同施氮水平对玉米生长及其根际土壤氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 567. DOI: [10.11674/zwyf.2010.0308](https://doi.org/10.11674/zwyf.2010.0308).
- [14] 张福锁, 王激清, 张卫锋, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915. DOI: [10.3321/j.issn:0564-3929.2008.05.018](https://doi.org/10.3321/j.issn:0564-3929.2008.05.018).
- [15] 金继运, 何萍. 氮钾营养对春玉米后期氮代谢与粒重形成的影响[J]. 中国农业科学, 1999, 32(4): 55. DOI: [10.3321/j.issn:0578-1752.1999.04.010](https://doi.org/10.3321/j.issn:0578-1752.1999.04.010).
- [16] OSAKI M, IYODA M, TADANO T. Ontogenetic changes in the contents of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, phosphoenolpyruvate carboxylase, and chlorophyll in individual leaves of maize[J]. Soil Science & Plant Nutrition, 1995, 41(2): 285. DOI: [10.1080/00380768.1995.10419585](https://doi.org/10.1080/00380768.1995.10419585).
- [17] SPIERTZ J H J, VOS J. Grain growth of wheat and its limitation by carbohydrate and nitrogen supply[M]// DAY W, ATKIN R K. Wheat growth and modeling. New York: Plenum Press, 1986.
- [18] 赵士诚, 裴雪霞, 何萍, 等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 492. DOI: [10.11674/zwyf.2010.0234](https://doi.org/10.11674/zwyf.2010.0234).
- [19] 段然, 汤月丰, 文炯, 等. 减量施肥对湖垵旱地作物产量及氮磷径流损失的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 536. DOI: [1671-3990\(2013\)05-0536-08](https://doi.org/10.1671-3990(2013)05-0536-08).
- [20] 王俊忠, 黄高宝, 张超男, 等. 施氮量对不同肥力水平下夏玉米碳氮代谢及氮素利用率的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2045. DOI: [10.3321/j.issn:1000-0933.2009.04.051](https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-0933.2009.04.051).
- [21] 石玉, 于振文. 施氮量及底追比例对小麦产量、土壤硝态氮含量和氮平衡的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3661. DOI: [10.3321/j.issn:1000-0933.2006.11.019](https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-0933.2006.11.019).
- [22] 易镇邪, 王璞, 刘明, 等. 不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表观盈亏[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 63. DOI: [10.13870/j.cnki.stbxb.2006.01.015](https://doi.org/10.13870/j.cnki.stbxb.2006.01.015).

责任编辑: 何承刚

(上接第 329 页)

- [14] 巩垠熙, 高原, 仇琪, 等. 基于遥感影像的神经网络立地质量评价研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(10): 42. DOI: [10.14067/j.cnki.1673-923x.2013.10.023](https://doi.org/10.14067/j.cnki.1673-923x.2013.10.023).
- [15] 张晓丽, 游先祥. 应用“3S”技术进行北京市森林立地分类和立地质量评价的研究[J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 292. DOI: [10.11834/jrs.19980411](https://doi.org/10.11834/jrs.19980411).
- [16] 丰绪霞, 刘兆刚. 基于RS和GIS帽儿山林场森林立地分类及质量评价[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 27. DOI: [10.13759/j.cnki.dlxb.2010.08.029](https://doi.org/10.13759/j.cnki.dlxb.2010.08.029).
- [17] 周光亚, 董文泉, 夏立显. 关于数量化理论 I、II 的数学模型[J]. 吉林大学自然科学学报, 1979(1): 11.
- [18] 庄晨辉, 严思钟, 李闽丽. 福建柏立地质量评价研究[J]. 林业资源管理, 1998(2): 51. DOI: [10.13466/j.cnki.lyzygl.1998.02.012](https://doi.org/10.13466/j.cnki.lyzygl.1998.02.012).
- [19] 易长权, 杨新忠. 公安县杨树人工林数量化立地指数表的编制及应用[J]. 绿色科技, 2013(9): 63. DOI: [10.3969/j.issn.1674-9944.2013.09.027](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9944.2013.09.027).
- [20] 于玉芳, 李静, 刘东. 昌宁县华山松数量化立地指数表编制[J]. 南方林业科学, 2015, 43(2): 36. DOI: [10.16259/j.cnki.36-1342/s.2015.02.011](https://doi.org/10.16259/j.cnki.36-1342/s.2015.02.011).
- [21] 郭艳荣, 刘洋, 吴保国. 福建省宜林地立地质量的分级与数量化评价[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(10): 54. DOI: [10.13759/j.cnki.dlxb.20140721.062](https://doi.org/10.13759/j.cnki.dlxb.20140721.062).
- [22] 李艳洁, 周来, 靳爱仙, 等. 东京城林业局落叶松人工林立地质量评价[J]. 林业资源管理, 2017(2): 53. DOI: [10.13466/j.cnki.lyzygl.2017.02.010](https://doi.org/10.13466/j.cnki.lyzygl.2017.02.010).

责任编辑: 何承刚